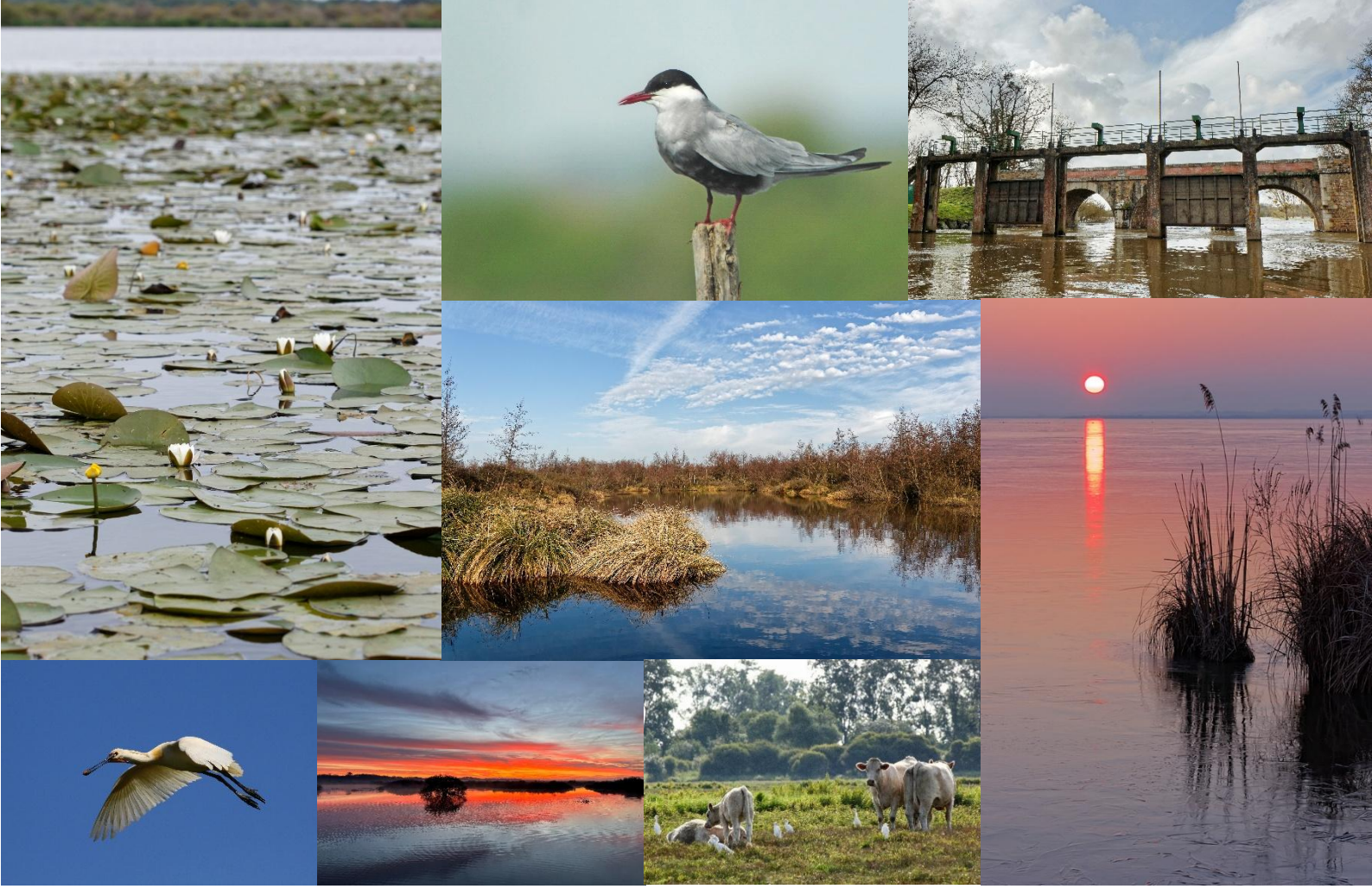
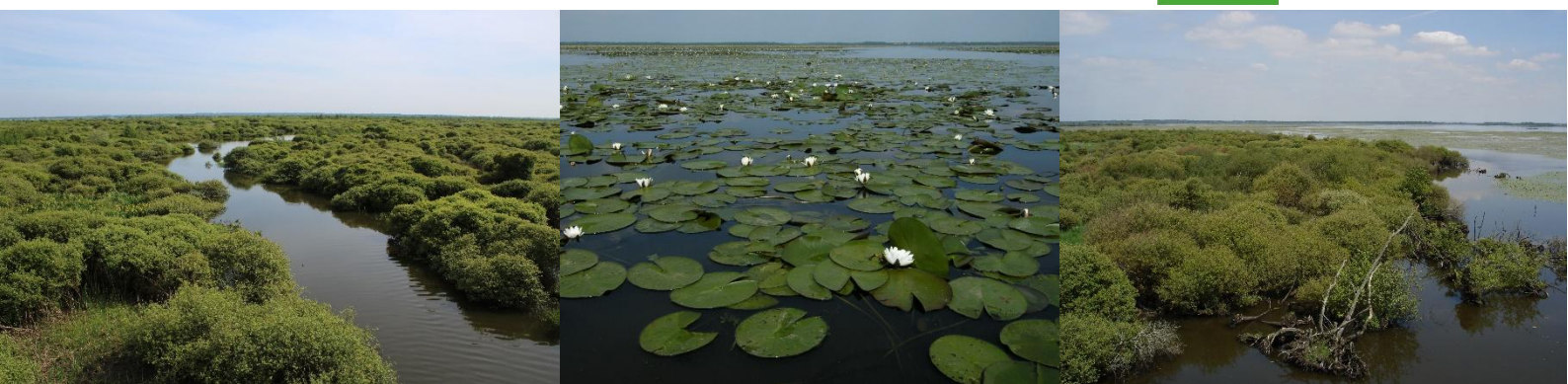


[DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE ET D'OPPORTUNITES DU LAC DE GRAND-LIEU FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES]

Lisa Alcaraz – SNPN, RNN du lac de Grand-Lieu

Août 2026

Photos : JM Gillier, S Reeber et L Alcaraz



Auteur

Lisa ALCARAZ – Société Nationale de Protection de la Nature, Réserve Naturelle Nationale du lac de Grand-Lieu

Relecture

Jean-Marc GILLIER – Société Nationale de Protection de la Nature, Réserve Naturelle Nationale du lac de Grand-Lieu, Youenn PIERRE – Syndicat Grand-Lieu Estuaire, Christophe SORIN – Fédération départementale des chasseurs de Loire Atlantique, Réserve Naturelle Régionale du lac de Grand-Lieu.

Remerciements

Nous remercions d'une part les membres du comité technique ainsi que les participants aux différents ateliers pour vos réflexions et la richesse des échanges. Tout particulièrement, merci à Audrey CADOU (Maison du lac de Grand-Lieu), Maïwenn JOARY (Chambre régionale d'Agriculture), Youenn PIERRE (Syndicat Grand-Lieu Estuaire) et Christophe SORIN (Fédération départementale des chasseurs) pour l'organisation des ateliers et le suivi de la démarche Natur'Adapt.

D'autre part, nous tenons à remercier les membres du comité consultatif pour les nouvelles perspectives apportées et les regards neufs portés sur la démarche.

Merci également aux membres du conseil scientifique de la RNN du lac de Grand-Lieu pour vos retours et vos conseils.

Je tiens à remercier personnellement l'équipe interne de la RNN pour les échanges riches et les connaissances partagées, ainsi que Christine COUDURIER et Ombeline CHIDAINE de Réserves Naturelles de France pour leurs conseils avisés et leur accompagnement.

Enfin, nous remercions la DREAL Pays de la Loire, pour son soutien financier qui nous a permis de réaliser ce travail.

Citation de l'ouvrage

ALCARAZ L., 2026. Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités du lac de Grand-Lieu face aux changements climatiques. Rapport SNPN – RNN du lac de Grand-Lieu. 150 p.

Table des matières

I. Introduction : pourquoi Natur'Adapt ? 5

II. Le site du lac de Grand-Lieu 8

1. L'histoire du site au fil du temps 8

2. Entre richesse et fragilité 9

3. Les aires protégées du site 12

4. Les acteurs socio-économiques 13

III. Mise en place de la démarche à l'échelle du lac de Grand-Lieu 14

1. Périmètre d'analyse 14

2. Gouvernance 15

3. Objets d'analyse 16

IV. Synthèse de l'histoire climatique du lac de Grand-Lieu 18

1. Rappels sur le changement climatique global 18

2. Rappels méthodologiques 19

3. Synthèse de l'analyse climatique 19

a. Les températures augmentent fortement et vont continuer sur cette tendance 19

b. L'impact de la saisonnalité sur les précipitations 20

c. Vers une intensification des évènements extrêmes 20

d. Une instabilité de la ressource en eau pour l'écosystème 20

e. Combinaison de la hausse du niveau marin et des évènements extrêmes : vers un risque accru d'inondation ? 21

f. Comparaison avec des résultats régionaux locaux 22

4. 2026, cas d'école du changement climatique 23

V. Méthodologie pour le diagnostic 26

1. Caractérisation des activités humaines 26

2. Caractérisation du patrimoine naturel 26

3. Méthodologie 27

a. Analyse de la vulnérabilité des activités humaines 27

b. Analyse de la vulnérabilité du patrimoine naturel 29

VI. Résultats du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités 31

1. Résultats des évaluations 31

2. Résumés des analyses 33

VII. Et qu'en est-il des potentiels nouveaux arrivants ? 38

VIII. Récit prospectif du lac de Grand-Lieu sous l'effet du changement climatique 40

IX. Conclusion 42

1. Le climat futur à l'image de 2026, année des extrêmes 42
2. Le site du lac de Grand-Lieu fortement vulnérable au changement climatique dans l'ensemble .. 43
3. Un récit prospectif mitigé, dépendant des décisions politiques territoriales 43

X. Perspectives de la démarche 47

Bibliographie 48

Annexes : fiches du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités 54

I. Introduction : pourquoi Natur'Adapt ?

Le changement climatique dû aux activités anthropiques est un fait. D'après le 6e rapport d'évaluation du GIEC (IPCC, 2023), la décennie 2011-2020 est la plus chaude depuis 125 000 ans, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère a atteint 410 ppm (parties par millions) en 2019 pour la première fois depuis 2 millions d'années, et les effets se sont déjà fait ressentir sur les populations et les écosystèmes (difficulté d'accès à l'eau et à l'alimentation, maladies vectorielles, vagues de chaleur, fonte des glaciers, acidification de l'océan…).

Le changement climatique fait partie des changements globaux que l'on connaît sur Terre, englobant les évolutions climatiques, environnementales ou sociales d'origine anthropique et interdépendantes. En effet, le seul changement climatique n'explique souvent pas à lui seul la disparition d'une espèce ou d'un habitat, mais il faut également considérer le changement d'usage des sols, les changements de pratiques agricoles, le développement de la population humaine, les pollutions… L'espèce humaine est ainsi devenue elle-même le facteur majeur des changements que l'on observe aujourd'hui sur Terre, et notamment du changement climatique en cours (Gaffney & Steffen, 2017; Ruddiman, 2013).

La démarche d'adaptation au changement climatique Natur'Adapt a été développée dans le cadre d'un projet européen LIFE par Réserves Naturelles de France (RNF) entre 2018 et 2023. Le but de ce projet a donc été de développer des outils pratiques et des méthodes issues du terrain pour accompagner la prise en considération du changement climatique dans la gestion des aires protégées en France et en Europe (Coudurier *et al.*, 2023).

La démarche Natur'Adapt est une opportunité pour :

- Monter en compétence sur le climat.
- En tant que gestionnaire : mieux connaître son aire protégée et le territoire environnant, et porter un autre regard dessus.
- S'interroger sur les vulnérabilités et les opportunités provoquées par le changement climatique.
- Développer une vision prospective, à partager, de l'évolution de l'aire protégée sous l'effet du changement climatique.
- Anticiper les évolutions et réfléchir à ses pratiques de gestion face au changement climatique.
- Lancer une dynamique interne et locale autour du changement climatique et poser les premiers jalons d'un diagnostic de vulnérabilité et d'un plan d'adaptation.
- Faire évoluer ses relations avec les acteurs locaux, adopter un nouveau positionnement et réfléchir ensemble aux usages, présents et à venir.
- Communiquer différemment sur son aire protégée et (ré)affirmer son rôle au sein du territoire.

En revanche, la démarche Natur'Adapt n'est pas :

- Une étude scientifique ni une modélisation précise de l'évolution du climat et de la nature : il s'agit d'identifier des tendances et d'appréhender les incertitudes.
- Un travail exhaustif et figé : la démarche d'adaptation est un processus continu !
- Un catalogue d'actions nouvelles et innovantes : 90% des mesures d'adaptation sont des actions déjà en cours ou envisagées dans d'autres objectifs, l'innovation réside dans le changement d'approche de la gestion.
- Un livre de recette : chaque territoire doit construire sa démarche en fonction de son contexte.

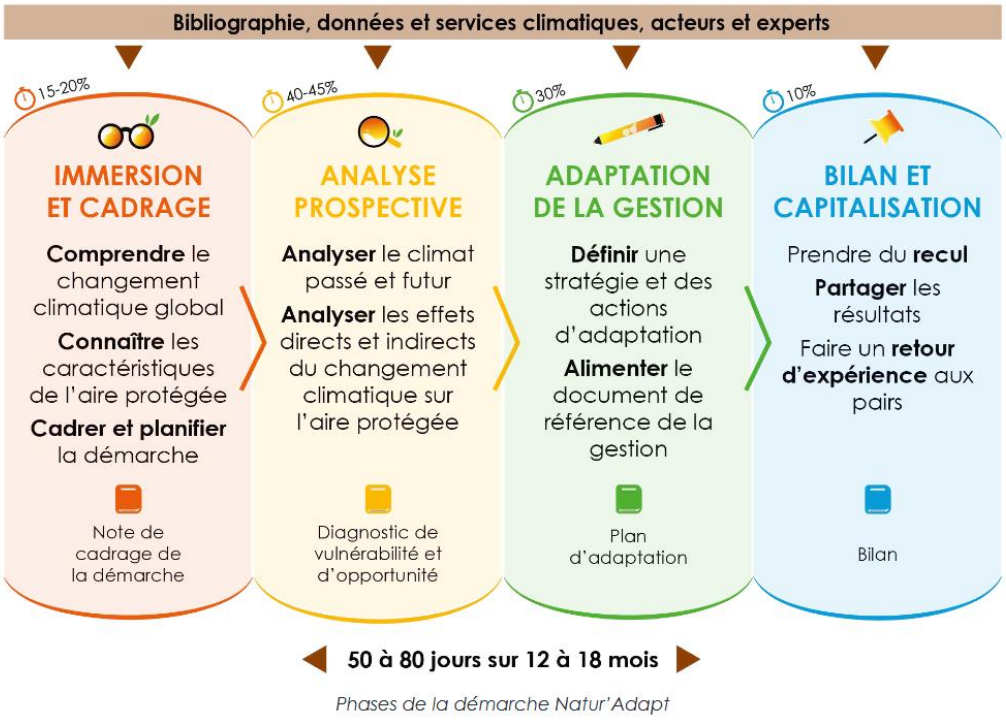
Dans ce contexte, la démarche Natur'Adapt propose d'effectuer ce travail d'adaptation au changement climatique en quatre grandes phases :

1) **Une première phase d'immersion et de cadrage**, qui permet de s'acculturer sur le changement climatique au niveau global comme local, puis de mobiliser les acteurs que l'on souhaite intégrer à la démarche en planifiant le travail sur l'année.

2) **Une phase d'analyses prospectives**, composée d'un **récit climatique** et d'un **diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités**. Le récit climatique correspond à l'analyse des données du climat passé, présent et des modélisations du climat futur. Il sert de base de travail pour le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités. Ce dernier (appelé aussi DVO), issu d'un travail commun avec les acteurs locaux, permet de réfléchir sur le devenir potentiel des espèces, habitats, activités humaines et pratiques de gestion (appelés « objets ») face aux changements climatiques, en se basant sur le récit climatique.

3) **Une phase d'adaptation de la gestion**, qui aboutit à **un plan d'adaptation**, basé sur les résultats du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités. Il est composé de mesures d'adaptation concrètes pour l'aire protégée. Ce document sera à intégrer aux documents de gestion. Il pourra servir également aux acteurs socio-économiques impliqués pour adapter et anticiper l'évolution de leurs activités.

4) **Une dernière phase de bilan et de capitalisation**, permet de prendre du recul sur la démarche et de réaliser un retour d'expérience auprès des acteurs locaux.



Phases de la démarche Natur'Adapt

Grandes phases de la démarche Natur'Adapt (Coudurier *et al.*, 2023)

La démarche d'adaptation aux changements climatiques Natur'Adapt part donc d'un constat simple : **même les aires protégées sont impactées** par les changements globaux, dont le changement climatique fait partie. Il est alors nécessaire de réagir face à ce constat, en cherchant à s'adapter.

Le site du lac de Grand-Lieu ne fait pas exception : du changement climatique à la pollution de l'eau, en passant par la dégradation des zones humides dans le bassin versant, les variations du niveau de l'eau et de sa gestion, les invasions d'espèces exotiques… **les facteurs d'impact (climatiques et non climatiques) sont nombreux**.

Cette démarche au niveau du site du lac de Grand-Lieu vise alors à considérer ces impacts actuels et futurs sur les composantes du socio-écosystème, et à déterminer des moyens d'adaptation de la gestion du site **pour conserver un patrimoine naturel riche, écologiquement fonctionnel et en bonne santé.**

II. Le site du lac de Grand-Lieu

Situé en Loire-Atlantique à 14 km au sud-ouest de Nantes, le lac de Grand-Lieu fait partie du vaste complexe de zones humides du Grand-Ouest, comprenant l'estuaire de la Loire, le Marais breton, la Brière, l'Erdre ou encore le Marais de Goulaine (Figure 1).

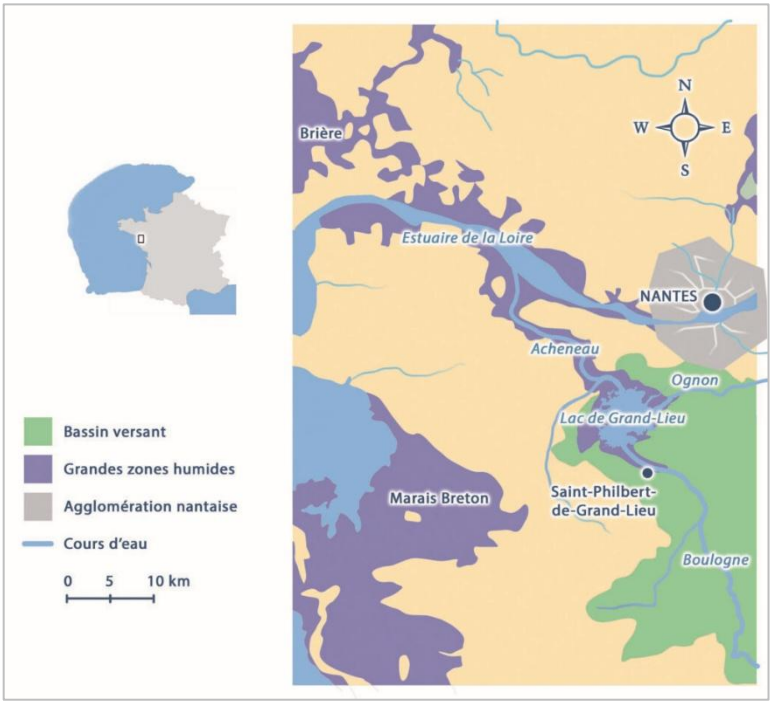


Figure 1 : Carte de l'environnement géographique et hydrographique du lac de Grand-Lieu (SNPN).

Contenu dans une dépression peu profonde et très ancienne, il est situé à l'aval d'un bassin versant de **850 km²**, connecté à la Loire par le cours d'eau de l'Acheneau, son exutoire. En amont, le lac est alimenté par deux cours d'eau principaux : l'Ognon et la Boulogne, qui apportent les eaux de pluie du bassin versant. La nappe d'accompagnement, dite « des sables », alimente également le lac et permet un soutien lors des périodes d'étiage. Le lac de Grand-Lieu est finalement très peu profond, avec un maximum moyen de **1,5** m en été et **3,5 m** en hiver. Sa surface varie alors fortement, de **2200 ha** en été à **6300 ha** en hiver, faisant de lui le plus grand lac de plaine français durant cette saison.

1. L'histoire du site au fil du temps

Le lac de Grand-Lieu, avant d'être protégé par des statuts de protection, était intégré à divers projets d'asséchement mais aussi de contrôle hydraulique, la zone du lac étant utilisée pour la pêche et le transport fluvial, du Moyen-Âge jusqu'à la fin du 19e siècle. Au XVIIIe siècle, la Société du canal de Buzay a permis la construction du **canal de Buzay** entre l'Acheneau et la Loire, débutant les travaux pour maîtriser l'eau du lac. De ce fait, l'Acheneau est déconnecté de la Loire et ne subit plus les remontées du front de marée, l'évacuation de l'eau du lac est facilitée.

S'en sont suivis d'autres ouvrages jusque dans les années 1960, avec entre autres la construction du **vannage de Bouaye** (Figure 2) entre le lac et l'Acheneau pour gérer les niveaux d'eau du lac et conserver de l'eau en été, vannage encore présent aujourd'hui. Depuis, **les niveaux d'eau du lac sont maîtrisés par l'humain** et artificialisés, des arrêtés préfectoraux renouvelés permettant de fixer les règles de gestion, qui sont d'ailleurs vastement débattues entre les usagers du site.



Figure 2 : vannage de Bouaye (JM Gillier)

En parallèle, le lac, propriété d'abord d'une famille puis d'une SCI, avait failli être asséché par les projets de ses propriétaires qui se sont succédé. Le parfumeur Jean-Pierre Guerlain est ensuite devenu le propriétaire du lac, et en a fait un **haut lieu de chasse** le préservant ainsi des projets d'assèchement ou d'aménagement. La chasse aux canards avec de nombreux lâchers de Canards colvert était pratiquée par M. Guerlain et ses proches.

A la fin des années 1970, M. Guerlain a fait don du lac à l'Etat pour assurer sa protection durable, à condition que la **Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN)** soit le gestionnaire de la nouvelle réserve naturelle et que la **pêche artisanale** soit maintenue au profit de la Société Coopérative des pêcheurs du lac de Grand-Lieu. La **réserve naturelle nationale (RNN) du lac de Grand-Lieu** a ainsi été créée en 1980, avec pour seule activité économique la pêche. La chasse n'y est plus autorisée depuis 2000 et est pratiquée maintenant sur les zones périphériques des deux réserves (nationale et régionale). Quasiment tout le lac est alors **protégé et interdit d'accès** (sauf pour les pêcheurs et les gestionnaires des réserves), favorisant la tranquillité du site pour la faune et la flore.

2. Entre richesse et fragilité

Grâce à sa protection et son emplacement géographique, le lac de Grand-Lieu est aujourd'hui reconnu comme **l'un des principaux sites naturels protégés de France**. Il constitue un site Ramsar d'importance internationale et accueille plus de **320 espèces d'oiseaux**. En effet, situé sur l'une des grandes voies de migration de la façade atlantique, le lac est une zone incontournable de nidification pour les uns, de migration ou d'hivernage pour les autres. La connexion entre l'Acheneau et la Loire permet en outre à des poissons amphihalins à forte patrimonialité (comme **l'Anguille européenne**) de remonter dans le lac ou de repartir en mer.

Ces conditions particulières ont permis la formation d'une **mosaïque d'habitats riche et importante** pour la biodiversité locale et patrimoniale, des roselières aux saulaies-aulnaies, en passant par les herbiers aquatiques ou encore les prairies inondables sur les pourtours (Figure 3). 705 espèces de plantes vasculaires ont été inventoriées sur le lac de Grand-Lieu, dont 42 espèces à enjeux considérées

comme patrimoniales. On peut citer le Jonc des tonneliers sur la zone centrale, l'ensemble de Nénuphars blancs, Nuphars jaunes, Châtaignes d'eau et Limnanthèmes faux-nénuphar constituant un **ensemble unique d'herbiers flottants** en Europe de l'Ouest, les roselières de Phragmites ou encore l'ensemble remarquable de Piment royal et Saules roux.

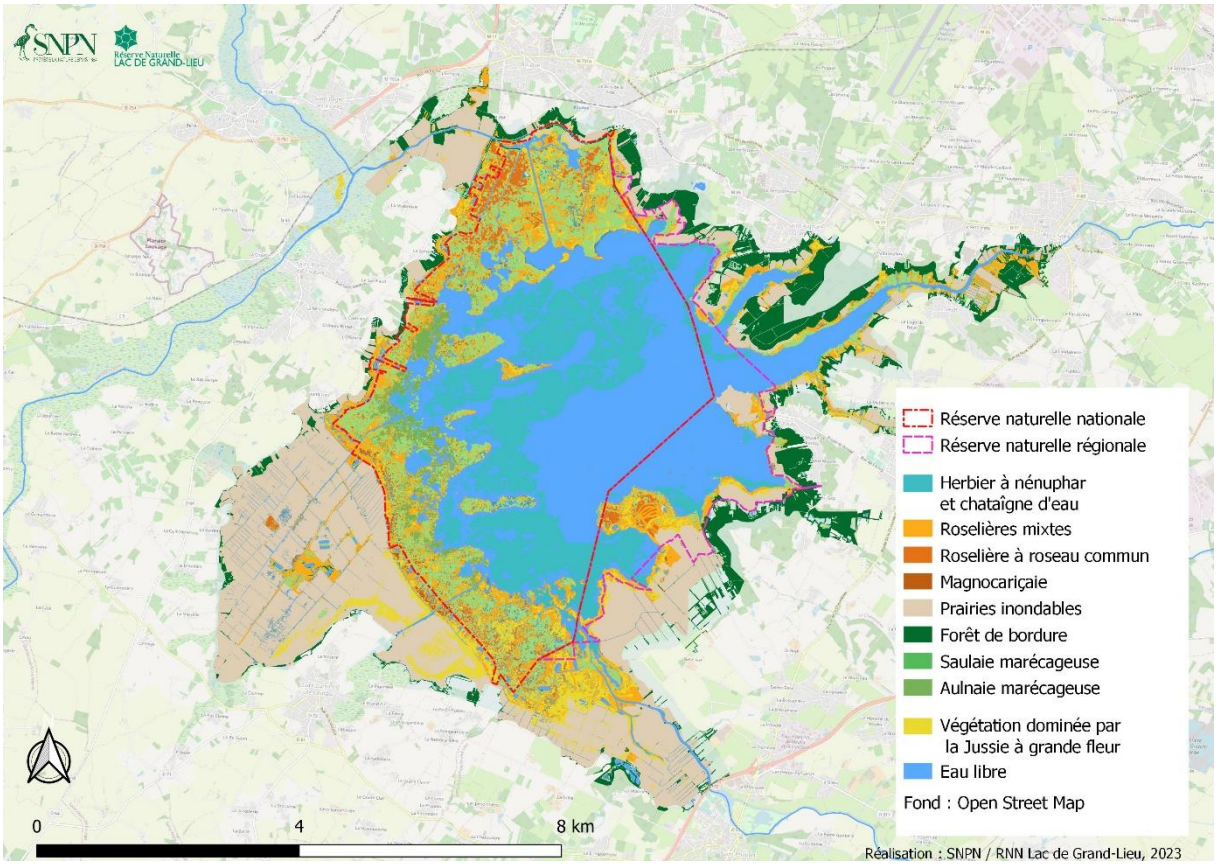


Figure 3 : Carte des habitats naturels du lac de Grand-Lieu (SNPN)

Les conditions géographiques et la tranquillité du site grâce à sa protection permettent le maintien d'une **bonne zone de quiétude pour l'avifaune**, qui s'exprime alors à travers sa grande richesse. On peut alors citer :

- Les grands échassiers nicheurs (Spatules blanches, Aigrettes, Hérons, Ibis…) ;
- Les anatidés hivernants (Canard souchet, Sarcelle d'hiver, Fuligule milouin - le lac étant **l'un des 5 premiers sites français d'hivernage** pour ces oiseaux), en migration prénuptiale (Canard pilet, Canard siffleur, Canard souchet…) ou nicheurs (Fuligule milouin, Canard souchet, Sarcelle d'hiver, Canard chipeau…) ;
- Les laridés (**25-40% de la population française** de Guifette moustac niche sur le lac) ;
- Les limicoles (Echasse blanche, Vanneau huppé, Bécassine des marais…) ;
- Et les passereaux paludicoles (Phragmite aquatique, Rousserolle effarvatte…).

En outre, le lac est aussi riche d'autres taxons ayant une forte valeur patrimoniale, comme certains poissons (Anguille européenne, Brochet…), les odonates (mais en forte régression), les syrphes, abeilles sauvages, hyménoptères, diptères, coléoptères (avec peu de recul sur ces taxons), ou encore

les chauves-souris (le lac étant un site majeur d'alimentation pour la Noctule commune, les Pipistrelles commune, de Nathusius ou de Kuhl, ou encore le Murin de Daubenton).

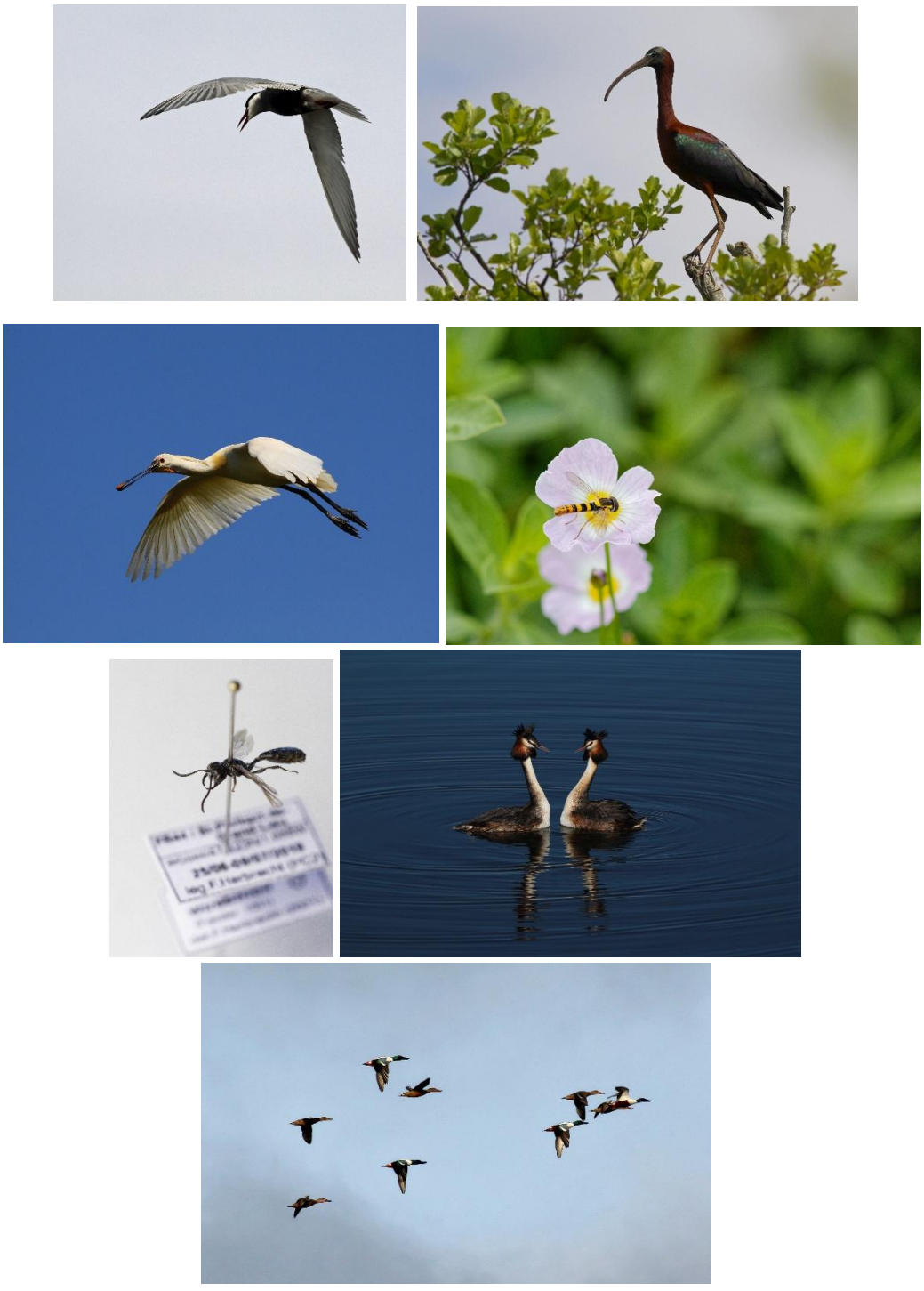


Figure 4 : De haut en bas et de gauche à droite : **Guifette moustac** (JM Gillier)**, Ibis falcinelle** (S Reeber)**, Spatule blanche** (S Reeber)**, Syrphe porte-plume** (JM Gillier)**, *Lasioglossum ankoui*, nouvelle espèce d'abeille pour la science trouvée au lac de Grand-Lieu** (JM Gillier)**, Grèbes huppés** (S Reeber)**, Canards souchet** (JM Gillier).

Malgré la protection locale importante, le lac de Grand-Lieu subit des **pressions et dégradations directes à cause des changements climatiques**, ou **indirectes** du fait de sa position en aval du bassin versant.

En effet, le lac connait une importante **problématique de qualité d'eau** venant du bassin versant. L'eutrophisation de l'eau du lac est due à la pollution diffuse venant des terres agricoles en amont et à un assainissement trop léger des eaux usées, enrichissant le lac d'azote, de phosphore, de pesticides et d'autres polluants. On peut noter d'importants épisodes d'**anoxie** (2,29 mg/L d'oxygène en moyenne en août 2022) en été dus aux **blooms de cyanobactéries** à cause de l'**eutrophisation** (un maximum de 317,9 µg/L de chlorophylle *a* de cyanobactérie, enregistré en juillet 2022, et un maximum de 450 µg/L de chlorophylle *a* totale en juillet 2023). Les températures en hausse n'arrangent rien, avec une eau à 26,6°C en moyenne en juillet 2022 avec un maximum de 36,1°C atteint durant l'été 2026.

L'installation **d'espèces exotiques envahissantes** (EEE) provoque également de nombreux dégâts : en 2022, 330 ha était envahis de Jussie (*Ludwigia grandiflora* et *L. peploides*) sur le site de Grand-Lieu, et la prolifération du Ragondin, du Rat musqué et de l'Ecrevisse de Louisiane dégrade les végétations emblématiques du lac. Enfin, des crises de **botulisme** déciment des populations d'oiseaux sur le lac certaines années.

3. Les aires protégées du site

La RNN du lac de Grand-Lieu a été créée en 1980, sous la gestion effective de la SNPN en 1985, et recouvre la grande majorité du lac. Recouvrant une surface importante (2694 ha) avec des milieux difficiles d'accès et étant sous l'influence forte de nombreux facteurs extérieurs, sa gestion repose finalement sur le **principe de naturalité**, avec peu d'interventions pour laisser évoluer les dynamiques naturelles.

La RNR du lac de Grand-Lieu, classée en 2008, est gérée par la Fédération Départementale des Chasseurs de Loire-Atlantique (FDC 44) et recouvre les 655 ha restant du lac sur la rive droite. En étroite collaboration avec la RNN, sa gestion repose aussi sur le principe de naturalité, tout en gérant des parcelles agricoles présentes sur la réserve.

Enfin, la **zone Natura 2000 du lac de Grand-Lieu**, composée d'un Site d'Intérêt Communautaire (SIC FR5200625) et d'une Zone de Protection Spéciale (ZPS 5210008) créés en 2002 et 2004, recouvre au total environ 6000 ha. L'animation du document d'objectifs Natura 2000 est assurée par le Syndicat mixte Grand-Lieu Estuaire, en partenariat avec les exploitants agricoles des marais périphériques, pratiquant la fauche et le pâturage, et la Chambre d'agriculture des Pays de la Loire. Ce syndicat assure également la gestion du vannage de Bouaye, unique ouvrage de régulation des niveaux d'eau du lac.

De plus, ces aires protégées s'additionnent à la qualité de **site classé** au titre des grands paysages (Loi de 1930) et **site inscrit** (concernant les locaux de la RNN) (voir Figure 5).

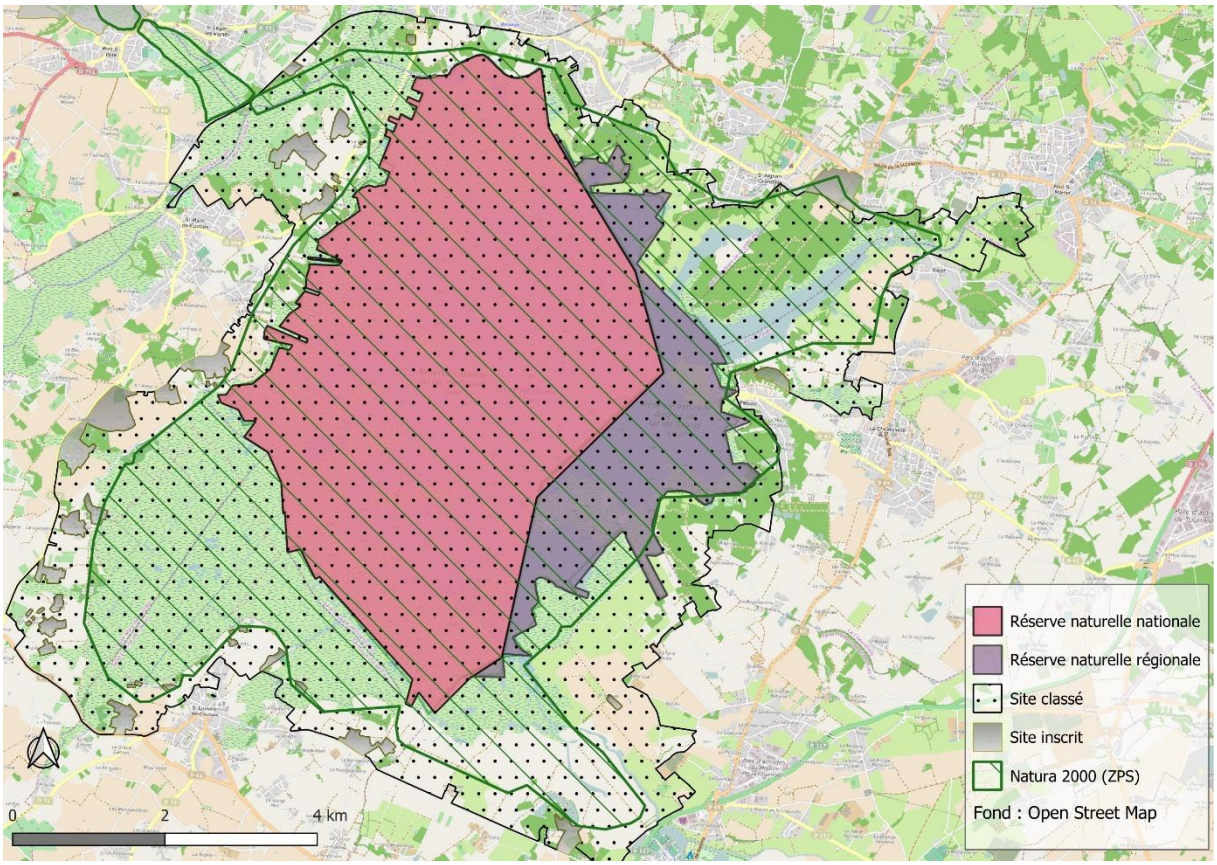


Figure 5 : Statuts de protection du lac de Grand-Lieu (SNPN)

4. Les acteurs socio-économiques

Outre les gestionnaires cités plus haut, d'autres activités sont exercées sur ou autour du lac de Grand-Lieu.

Sept **pêcheurs professionnels** représentent la seule activité économique autorisée sur le lac, au sein de la Société Coopérative des Pêcheurs de Grand-Lieu. La **chasse de loisir** sur le gibier d'eau est pratiquée en périphérie du lac (hors aires protégées). Enfin, la **Maison du Lac de Grand-Lieu** assure un travail de sensibilisation et d'éducation à l'environnement autour du lac et représente un partenaire important de la RNN. D'autres activités de tourisme sont exercées en périphérie du lac pour découvrir le patrimoine naturel et culturel du site.

III. Mise en place de la démarche à l'échelle du lac de Grand-Lieu

La Réserve Naturelle Nationale du lac de Grand-Lieu a engagé cette démarche à l'échelle du lac, pour :

- **Prendre en compte le changement climatique dans la gestion du site du lac de Grand-Lieu**, dont les effets sont déjà visibles et vont continuer d'impacter le lac et ses pourtours dans le futur. En effet, le changement climatique n'est que peu, voire pas, pris en compte dans les actuels documents de gestion des trois aires protégées.
- **Anticiper l'évolution des écosystèmes, des activités humaines et de la gestion du site du lac face au changement climatique, à l'échelle de tous les acteurs locaux**. Les relations sont étroites entre les différents acteurs, qui dépendent tous du bon état écologique et de conservation du lac.
- **Ancrer les aires protégées localement** pour favoriser l'atteinte de leurs objectifs de conservation, fortement dépendantes entre elles, de l'extérieur et des acteurs locaux.

1. Périmètre d'analyse

La démarche Natur'Adapt est menée à l'échelle des trois aires protégées du lac de Grand-Lieu (RNN, RNR et site Natura 2000), le périmètre de l'étude correspondant alors aux limites du site Natura 2000 englobant les deux réserves (Figure 6).

Le **périmètre d'étude** comporte donc une grande diversité d'acteurs : agriculteurs, pêcheurs professionnels, chasseurs de loisir, acteurs du tourisme et de l'éducation à l'environnement, gestionnaires d'aires protégées. La **zone d'interdépendance** du site comprend le bassin versant de Grand-Lieu, car ce qui est déversé dans les eaux ou sur le sol à l'amont du lac se retrouve dans l'eau du lac en aval, par pollution diffuse. La qualité de l'eau du lac est directement impactée par le bassin versant, ce qui influence alors toute la biodiversité du lac.

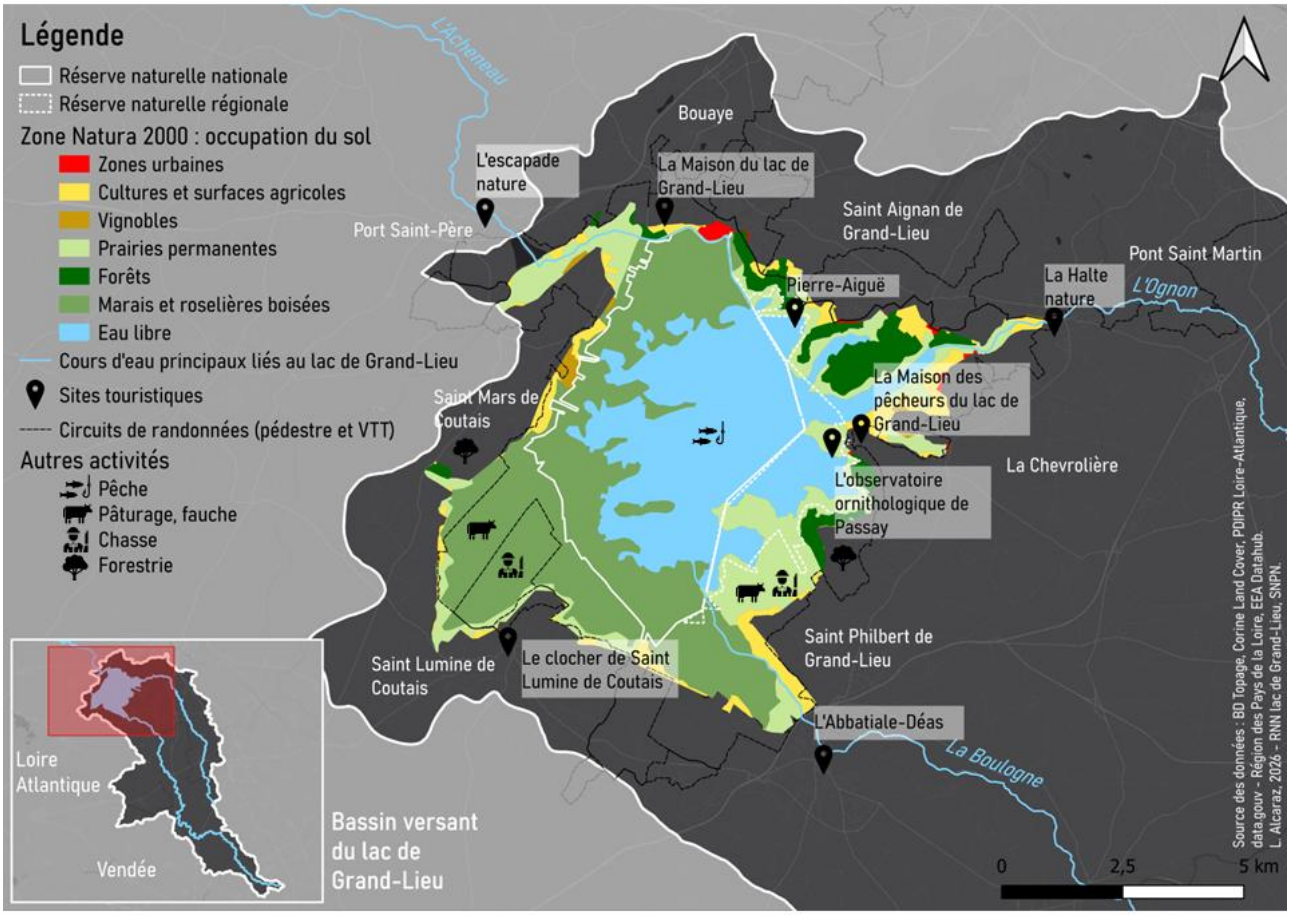


Figure 6 : Carte des activités et des zones de protection du lac de Grand-Lieu dans le périmètre d'étude Natur'Adapt au sein de la zone d'interdépendance

2. Gouvernance

Etant donné la grande superficie du bassin versant (850 km²) et la grande diversité d'acteurs de ce large territoire, il a été choisi de travailler sous deux comités :

- **Un comité technique**, composé des professionnels agissant au plus près du site et exerçant au sein des aires protégées, est sollicité pour **concertation et codécision** tout au long de la démarche. Le travail est ainsi construit et mené localement, à l'échelle des aires protégées. Le comité technique est constitué de l'équipe gestionnaire de la RNN, du conservateur gestionnaire de la RNR et représentant des chasseurs, de l'animateur Natura 2000 des prés-marais, de la responsable de médiation scientifique de la Maison du Lac, d'une chargée de mission de la Chambre d'Agriculture régionale, de deux exploitants de marais ainsi que d'un pêcheur professionnel.

- **Un comité consultatif** permet par ailleurs de **sensibiliser** les acteurs de la zone d'interdépendance du lac de Grand-Lieu au changement climatique et à l'adaptation nécessaire à celui-ci. Il permet aussi de **mobiliser leurs connaissances** et de les **informer** sur l'avancement de la démarche, ainsi que de les **consulter** à certaines étapes du travail,

notamment sur des sujets concernant le bassin versant. Sont intégrés au comité consultatif des associations, des administrations telles que la DREAL et la DDTM, le Conservatoire du littoral qui est propriétaire de la RNN et d'autres parcelles autour du lac, le Syndicat Grand-Lieu Estuaire (gestionnaire du vannage de Bouaye et des sites Natura 2000, entre autres), des élus, d'autres acteurs socio-professionnels tels que les forestiers ou les pêcheurs loisir, ou encore des membres du conseil scientifique de la RNN.

3. Objets d'analyse

Les objets d'analyse sélectionnés pour le lac de Grand-Lieu sont répertoriés dans le schéma ci-dessous (Figure 7), et sont analysés dans le présent diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités. Leur sélection a fait l'objet d'un atelier spécifique avec le comité technique au début de la démarche.

Les objets d'analyse permettent d'avoir une représentation simplifiée du socio-écosystème, car il est impossible d'être exhaustif dans ce genre de travail. L'essentiel est d'être le plus représentatif tout en ayant une analyse efficace et juste.

- ➔ Les **paramètres climatiques** sélectionnés sont ceux qui peuvent avoir **la plus grande influence sur le lac de Grand-Lieu** : le lac est alimenté par les eaux de pluie, et le niveau d'eau baisse drastiquement en été par évapotranspiration et par un déficit pluviométrique. Les évènements climatiques extrêmes impactent la biodiversité générale du lac, en particulier avec l'évolution des températures atmosphériques, ces dernières influençant directement la température de l'eau du lac (sa profondeur étant faible). La montée du niveau marin est une problématique qui inquiète certains riverains du lac, et qui peut impacter l'importance des inondations autour de Grand-Lieu.
- ➔ Les **activités humaines** choisies sont celles ayant **la plus forte influence sur le patrimoine naturel** de Grand-Lieu et dans les décisions locales qui concernent le lac. On y retrouve l'exploitation extensive des marais en site Natura 2000, la pêche professionnelle artisanale, la chasse de loisir en périphérie des réserves et la fréquentation des pourtours du lac pour le tourisme ou l'éducation à l'environnement.
- ➔ Les objets du **patrimoine naturel** ont été choisis pour leur **patrimonialité**, leur **rôle important** dans le fonctionnement de l'écosystème ou pour la lutte contre le changement climatique, mais aussi pour leur **importance en termes d'impact** (telles que les espèces exotiques envahissantes).
- ➔ Enfin, les moyens de gestion ont été choisis avec les gestionnaires mais n'ont pas été analysés lors de cette première phase. Il a en effet été jugé plus judicieux dans notre contexte de les analyser en même temps que la phase d'adaptation de la gestion.

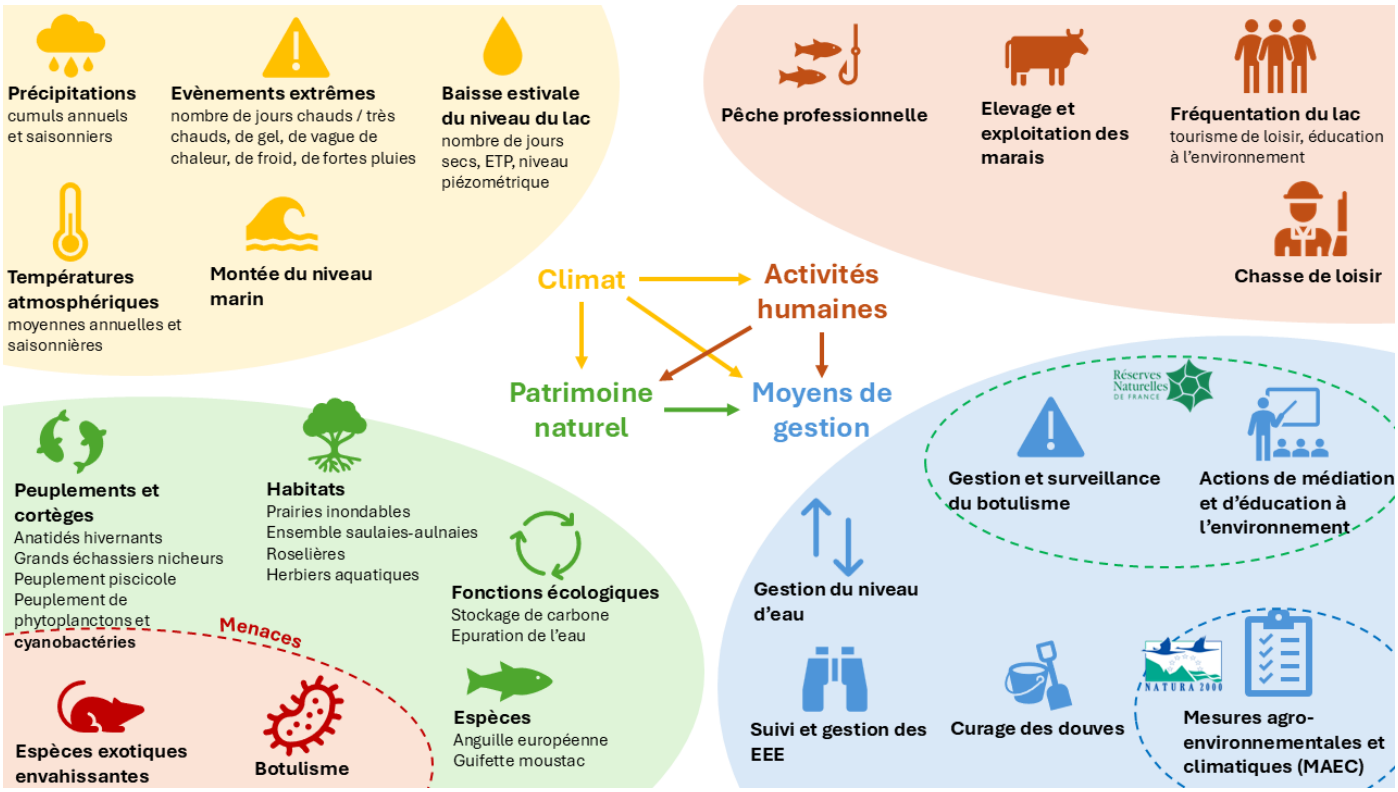


Figure 7 : Objets d'analyses choisis pour représenter le socio-écosystème du lac de Grand-Lieu. Les flèches représentent l'impact d'une composante sur une autre. Les moyens de gestion encerclés ne concernent que le type d'aire protégée cité. Les autres moyens de gestion sont communs aux trois aires protégées.

IV. Synthèse de l'histoire climatique du lac de Grand-Lieu

Ici est présenté une synthèse de l'analyse du climat passé, présent et futur à l'échelle du site du lac de Grand-Lieu. Pour rappel, un document complet et plus exhaustif a été rédigé et est disponible sur le site de la SNPN : ***Récit climatique : petite histoire climatique du lac de Grand-Lieu.*** https://www.snpn.com/recit-climatique-petite-histoire-climatique-du-lac-de-grand-lieu/

1. Rappels sur le changement climatique global

Le climat a toujours varié sur Terre, et des changements climatiques ont déjà eu lieu il y a des milliards d'années. Ces changements climatiques ont pu être expliqués par divers **forçages naturels**, modifiant la composition chimique de l'atmosphère au fil des milliards d'années, jusqu'à la composition actuelle : le volcanisme, l'érosion des roches continentales, le déplacement des continents et chaînes de montagne, l'activité solaire ou encore l'activité biologique (Ramstein, 2017).

Depuis le début du Quaternaire il y a 2,6 millions d'années, il existe une **alternance de cycles glaciaires-interglaciaires**, provoquée par les paramètres orbitaux dits de Milankovitch (excentricité de l'orbite, obliquité de l'axe de rotation de la Terre et précession) qui contrôlent le rythme de ces cycles (Maslin, 2016). Ces différents forçages (biogéochimiques et orbitaux) provoquent des **changements de composition chimique dans l'atmosphère et d'exposition radiative**, augmentant ou diminuant l'effet de serre, menant vers un réchauffement ou une glaciation (Ramstein, 2017).

Depuis 11 000 ans, nous sommes dans une ère interglaciaire appelée l'Holocène. Mais de plus en plus de scientifiques indiquent que notre système aurait basculé dans une nouvelle ère : **l'Anthropocène**. Le début de cet Anthropocène reste débattu, de même que son nom, certains argumentant qu'il aurait déjà commencé il y a 7 000 ans avec l'apparition de l'agriculture et la déforestation (Ruddiman, 2013). D'autres estiment que ce changement s'est opéré dans les années 1950 avec le début de la « Grande Accélération », phénomène d'accélération des changements d'usage des sols, de la biodiversité, ou encore de la chimie de l'atmosphère et de l'océan (Gaffney & Steffen, 2017). Dans tous les cas, ce basculement indique que **l'humain** serait finalement devenu le principal facteur du changement climatique.

D'abord par la consommation de bois avec la déforestation, puis par la consommation des ressources fossiles comme le charbon et le pétrole, l'humain a émis énormément de **gaz à effet de serre** dans l'atmosphère, augmentant l'effet de serre global et modifiant la composition de l'atmosphère ainsi que les flux d'énergie avec la surface de la Terre. Ainsi, depuis la révolution industrielle il y a 150 ans, la température moyenne mondiale a augmenté de **1,2 °C**. Il n'a pas fait aussi chaud sur Terre depuis 125 000 ans, et la concentration en CO_2 dans l'atmosphère a dépassé le seuil des **410 ppm** (parties par millions), seuil qui n'avait pas été atteint depuis 2 millions d'années (IPCC, 2023).

2. Rappels méthodologiques

La caractérisation du climat actuel du site du lac de Grand-Lieu a été réalisée grâce aux données de la station météorologique de NANTES-BOUGUENAIS, qui se situe sur l'aéroport de Nantes (au nord du lac).

Les moyennes des paramètres climatiques (température, précipitations, évapotranspiration) calculées sur la période 1991-2020 (période de référence) représentent les **normales climatiques actuelles** pour le site. Pour voir **l'évolution récente du climat**, ces normales climatiques actuelles sont comparées avec les moyennes des paramètres calculées sur la période 1961-1990.

L'analyse de l'évolution future du climat a été réalisée grâce aux données issues de l'ensemble de modèles DRIAS-2020, disponibles sur le site de la DRIAS. La maille SAFRAN 4365 a été sélectionnée, correspondant à une cellule géographique de 8 km par 8 km couvrant la majeure partie du lac de Grand-Lieu.

Deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et deux horizons temporels ont été choisis pour sélectionner les données : le **scénario « médian » RCP4.5** (correspondant à une stabilisation de nos émissions de GES avant la fin du siècle) et **le scénario « pessimiste » RCP8.5** (correspondant à une hausse continue de nos émissions de GES d'ici 2100 et au-delà), ainsi que les **périodes 2041-2070 centrée sur 2055** (horizon proche) et **2071-2100 centrée sur 2085** (horizon lointain).

3. Synthèse de l'analyse climatique

a. Les températures augmentent fortement et vont continuer sur cette tendance

Localement, la température moyenne de l'année est de **12,6°C** sur la période actuelle. En 30 ans, **nous avons gagné 0,3°C par décennie**, rythme de réchauffement que l'on retrouve au niveau national (analyses Météo-France, disponible sur le site Climat HD[1]). La hausse des températures s'est accélérée depuis 10-15 ans. Les quatre années les plus chaudes jamais enregistrées ont d'ailleurs été 2020, 2022, 2023 et 2025.

Il est prévu par les modèles climatiques **une hausse continue des températures**, accentuée sur le long terme dans le scénario pessimiste RCP8.5. Alors que vers 2055 les scénarios projettent une hausse des températures assez proches (**+1,3°C** pour RCP4.5 à l'année par rapport à aujourd'hui et **+2°C** pour RCP8.5), cette hausse devient bien plus importante vers 2085 pour le RCP8.5 avec **+3,6°C** à l'année contre **+1,7°C** avec RCP4.5. Alors que la hausse des températures était jusqu'à aujourd'hui la plus importante au printemps, ce sont **les mois d'été et d'automne qui connaitront les plus grosses hausses de températures**, avec +2,2°C à horizon proche et +4°C à horizon lointain.

[1] https://meteofrance.com/climathd

b. L'impact de la saisonnalité sur les précipitations

En 30 ans, le cumul des pluies a été augmenté de **+30 mm**, avec une occurrence plus importante **d'années pluvieuses** depuis une trentaine d'année. La saison automnale est celle qui a connu la plus importante augmentation en cumul, alors que le printemps a connu une baisse de cumul.

Les précipitations sont **un des paramètres les plus difficiles à prédire**, les modèles différant largement entre eux. Cependant, des tendances sont identifiables sous le scénario RCP8.5 et se confirment pour la période 2071-2100. Il est prévu que **l'hiver soit davantage pluvieux** d'environ 10% vers 2055 (17% vers 2085), bien que certains modèles prévoient une augmentation jusqu'à 40-50%. A l'inverse **l'été serait plus sec** avec un déficit de -14% vers 2055 (-23% vers 2085), pouvant même aller jusqu'à -50% à horizon lointain pour les modèles les plus extrêmes ! Le printemps et l'automne seraient alors des **périodes de transition**, sans tendance nette, entre la saison sèche et la saison humide.

c. Vers une intensification des évènements extrêmes

Les évènements liés à la chaleur ont déjà bien augmenté depuis 30 ans : **de plus en plus de « coups de chaud » sont subis par l'écosystème**, avec davantage de journées estivales (> 25°C) et de journées de fortes chaleur (> 35°C). Les vagues de chaleur sont d'ailleurs plus fréquentes, intenses, et plusieurs épisodes de vague de chaleur peuvent maintenant avoir lieu au cours d'un même été (Climat HD – Météo-France). A l'inverse, **les évènements froids se font de plus en plus rares et moins intenses** que par le passé : la dernière vraie vague de froid ayant eu lieu en 2018 (durant 3 jours jusqu'à -4°C). Enfin, on a gagné **une demi-journée supplémentaire de fortes pluies** (>20mm) avec **une intensification pluviométrique** en fin d'été et automne.

Sans surprise, **les évènements liés aux températures vont s'intensifier et les tendances vont se poursuivre** : sous le scénario RCP8.5, il est projeté 71 jours (2055) à 97 jours (2085) de journées estivales par an ; 4 jours (2055) à 10 jours (2085) à plus de 35°C ; un mois (2055) à deux mois (2085) en vague de chaleur. Les vagues de froid diminueront jusqu'à **disparaitre** à long terme. Le nombre de jours de fortes pluies n'augmenterait qu'à la fin du siècle, mais **les pluies s'intensifieront en hiver**.

d. Une instabilité de la ressource en eau pour l'écosystème

Le nombre de jours en sécheresse météorologique (< 1 mm de pluie) **est légèrement moins important actuellement que par le passé**, s'expliquant par un cumul des pluies plus important. Cependant, l'évapotranspiration (l'eau « perdue » dans l'atmosphère par l'écosystème) **a augmenté, surtout au printemps et en automne**.

Il est prévu que l'évapotranspiration continue d'augmenter dans le futur, **dépassant même largement le cumul annuel des précipitations,** déjà vers 2055 : cela voudrait dire que tout ce qui tombe en pluie dans l'année revient dans l'atmosphère, **l'écosystème deviendrait plus sec**. Le nombre de jours consécutifs sans pluie augmenterait également : combiné à l'évapotranspiration, on aurait **une période de stress hydrique en été – automne**, **voire dès le printemps** sur le long terme. Des

incertitudes règnent quant au niveau de la nappe phréatique : si l'étude HMUC du bassin versant de Grand-Lieu indique que nous aurions **une disponibilité en eau souterraine similaire à ce que l'on a actuellement** (Rives&Eaux du Sud-Ouest, 2024), la potentielle augmentation de la demande en eau pour l'irrigation n'est pas prise en compte dans les projections, et pourrait impacter le niveau de la nappe, **dans le cas de futures tensions sur l'eau** (Caballero *et al*., 2025).

e. Combinaison de la hausse du niveau marin et des évènements extrêmes : vers un risque accru d'inondation ?

Le lac de Grand-Lieu, pour le moment épargné des conséquences des submersions marines, pourrait connaître des cas d'inondation dans le futur avec la hausse du niveau marin. Le GIEC prévoit une élévation du niveau marin de 0,61 m à 1,10m d'ici 2100 (par rapport au niveau de 1986-2005 – IPCC, 2019), et le lac de Grand-Lieu et ses pourtours sont à une altitude inférieure à 5 m par rapport au niveau de la mer.

Selon les données du BRGM, une **élévation de 50 cm du niveau de la mer associée à des évènements extrêmes qui deviendront plus fréquents (submersions marines et pluies intenses) pourrait inonder le lac et certaines zones urbaines des communes riveraines**, à cause d'un réseau hydrographique saturé. La carte ci-dessous (Figure 8) illustre la zone inondable du lac, zones qui étaient pour la plupart auparavant des zones humides.

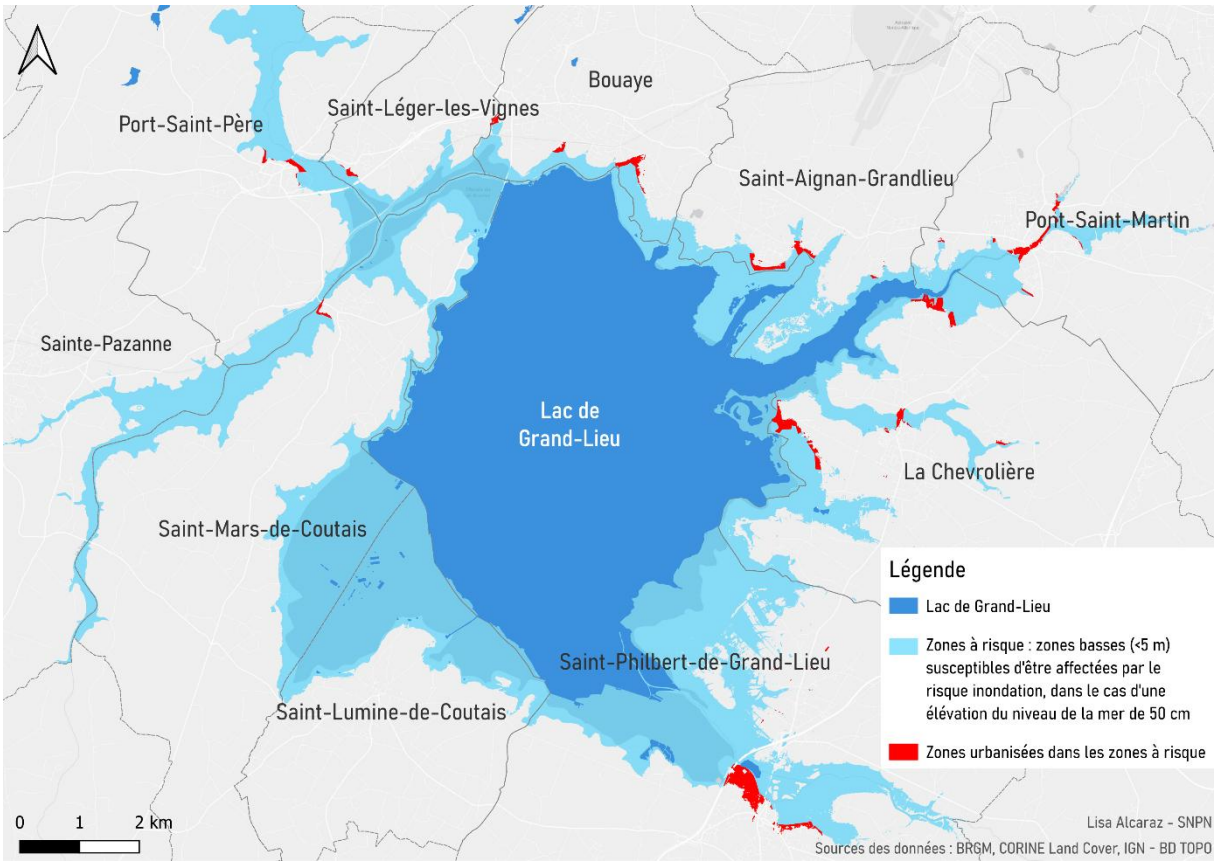


Figure 8 : Carte des zones à risque d'inondation en cas de submersion marine, au niveau du lac de Grand-Lieu (scénario d'une élévation du niveau de la mer de 50 cm)

f. Comparaison avec des résultats régionaux locaux

En comparant le récit climatique avec le 1er rapport du GIEC Pays de la Loire (2022), **les résultats sont du même ordre pour les indicateurs liés à la température**. En revanche pour les précipitations, le GIEC régional prévoit d'ici 2100 dans la région « une intensification et augmentation des précipitations en été, et une diminution de l'intensité des évènements courants et leur baisse en hiver ». Il est possible qu'entre 2021 et 2025, les modèles et projections DRIAS liés aux précipitations ait été améliorés avec les nouvelles connaissances disponibles, justifiant de la différence sur ces tendances.

Une étude plus récente (2024) centrée également sur la région se rapproche des tendances futures estimées au lac de Grand-Lieu, avec une « amplification du contraste pluviométrique saisonnier » : « le cumul des précipitations tend à augmenter en saison de recharge et baisser en saison d'étiage » (Amiot *et al.*, 2024).

4. 2026, cas d'école du changement climatique

Cette année aura été climatiquement exceptionnelle (et continue de l'être lors de la finalisation de ce rapport). Les records ont été battus (ou presque) de toutes parts [2]:

1. Tout d'abord en janvier avec un **hiver particulièrement doux** (4e hiver le plus doux connu en France depuis 1900, février 2026 s'est même fini avec plus de 20°C sur une large partie de la France) **mais marqué d'un épisode très froid** durant une petite semaine (minimum -6,6°C atteint à Nantes avec 4cm de neige tombés).



2. Puis en février, qui a été le plus pluvieux depuis 1959, avec des **inondations inédites** menant à l'alerte rouge crues en Loire-Atlantique. La côte du lac a atteint **3,83m**, soit quelques centimètres sous le record de 1988.



3. Pour poursuivre sur un **été très sec à canicules successives** commencées **dès mai** (enregistrements à Nantes) :
   - 8 jours fin mai, temp. max. à 35,7°C ;
   - Toute la deuxième moitié du mois de juin, temp. max. à 42,2°C et des nuits jusqu'à 27°C ;
   - Une grande partie du mois de juillet, temp. max. à 39,6°C.



   L'été 2026 a ainsi été marqué par la sévérité, la précocité et la durée des canicules et vagues de chaleur, avec les mois de juin et juillet les plus chauds enregistrés pour la France.

   Le **niveau de sécheresse est aussi remarquable**, avec à Nantes un mois de juin très déficitaire et un mois de juillet sans précipitations. Le niveau de l'eau du lac de Grand-Lieu a ainsi battu son record bas, depuis la construction du vannage de Bouaye (en 1960) : alors qu'il était de 1m24 en 1976, il a atteint **1m22** (ou 1m23 en fonction du vent) en **octobre 2026**.

4. Enfin, le lac de Grand-Lieu n'y a pas été confronté, mais de **nombreux incendies** se sont déclarés en France durant l'été en lien avec l'extrême sécheresse, avec le plus grand feu de forêts depuis 1949 en Gironde, brûlant environ **40 000 ha**.



Le lac de Grand-Lieu a été touché à différents niveaux :

- Les exclos pour roselières ont été déplacés et détruits par l'eau gelée du lac en janvier
- La gestion du vannage a été particulièrement difficile avec les inondations en février puis les mois suivants

[2] Infos climat Météo-France, https://meteofrance.com/actualites/climat ; Le Monde, 01/08/2026, https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2026/08/01/comment-se-situe-le-feu-de-gironde-par-rapport-aux-precedents-historiques_6737190_4355770.html

- Les espèces ont souffert des canicules, avec une forte mortalité de brochets, une explosion de cyanobactéries, un assèchement des arbres ou encore des brûlures de feuilles de nénuphars…
- La cote basse record a impacté fortement la circulation des gestionnaires et des pêcheurs sur le lac, et les vasières découvertes ont accueilli un nombre impressionnant de limicoles.

RÉSUMÉ DU RÉCIT CLIMATIQUE DU LAC DE GRAND-LIEU

L. Alcaraz, 2026

SNPN – Société Nationale de Protection de la Nature – Protégé(e) à nature depuis 1854
Réserve naturelle nationale LAC DE GRAND-LIEU
NATUR' ADAPT

printemps (P) · été (E) · automne (A) · hiver (H)

Tendance : à la hausse · à la baisse · stable · ? incertaine

METEO FRANCE — Drias les futurs du climat

	Climat du passé récent 1961-1990	**Climat actuel 1991-2020**		*2041-2070* **Climat futur en 2055 avec +2°C** RCP8.5 *	*2071-2100* **Climat futur en 2085 avec +3,6°C**	
Température	moyenne annuelle : **11,7°C** 5,7°C · 10,5°C · 18,1°C · 12,5°C	moyenne annuelle : **12,6°C** 6,5°C · 11,7°C · 19°C · 13,1°C	↗ Surtout au P	moyenne annuelle : **14,6°C** 8,4°C · 13,3°C · 21,2°C · 15,3°C	moyenne annuelle : **16,2°C** 9,8°C · 14,8°C · 23,1°C · 17,1°C	↗ Surtout en E - A
Précipitations	cumul annuel : **787 mm** 239 mm · 183 mm · 136 mm · 228 mm	cumul annuel : **819 mm** 254 mm · 175 mm · 143 mm · 246 mm	↗ au P ↘ au P	cumul annuel : **839 mm** +10% · +8% · -14% · -3%	cumul annuel : **844 mm** +17% · +8% · -23% · -8%	Incertitudes, mais : ↗ en H ↘ en E
Fortes pluies	**5 j.** de fortes pluies	**5,5 j.** de fortes pluies →	Fortes pluies surtout en fin E - A	**5 j.** de fortes pluies →	**6 j.** de fortes pluies ❄ ↗	Intensification des pluies en H
Chaleur	**35 j.** à plus de 25°C **0,5 j.** à plus de 35°C **3 j.** de vague de chaleur	**49 j.** à plus de 25°C **1,5 j.** à plus de 35°C ↗ **7 j.** de vague de chaleur		**71 j.** à plus de 25°C **4 j.** à plus de 35°C ↗ **30 j.** de vague de chaleur	**97 j.** à plus de 25°C **10 j.** à plus de 35°C ↗ **65 j.** de vague de chaleur	Intensification évènements chauds
Froid	**35 j.** de gel la plus longue vague de froid : **25 j. à -9°C** (1963)	**29 j.** de gel ↘ la plus longue vague de froid : **12 j. à -6°C** (2012)	Intensification évènements chauds	**12 j.** de gel ↘ **1 j.** de vague de froid	**5 j.** de gel ↘ absence de vague de froid	"Vagues de douceur" en H
Sécheresse	**26 j.** consécutifs en période de sécheresse **771 mm** évapotranspirés Pas de suivi de la nappe phréatique	**24,5 j.** consécutifs en période de sécheresse ↘ **871 mm** évapotranspirés ↗ Moyennes du niveau de la nappe (2009 - 2025) : ❄ 3,24 m · ☀ 2,23 m	↗ Evapo-transpiration surtout au P et en A	**28 j.** consécutifs en période de sécheresse ☀ 🍂 ↗ **943 mm** évapotranspirés ↗ Niveau de la nappe phréatique : ? →	**31 j.** consécutifs en période de sécheresse 🌿 ☀ 🍂 ↗ **1014 mm** évapotranspirés ↗ Niveau de la nappe phréatique : ? → ↘	↗ Période de stress hydrique
Niveau marin	Pas d'impact de la hausse du niveau marin	Pas d'impact de la hausse du niveau marin		?	Risques d'inondations par saturation du réseau hydrographique	↗ Niveau marin : +0,61m à +1,10m

*** scénario climatique suivant la tendance des politiques climatiques actuelles**

V. Méthodologie pour le diagnostic

1. Caractérisation des activités humaines

Les activités humaines analysées ici sont celles ayant la plus grande influence sur le lac de Grand-Lieu :

- **La pêche professionnelle**, seule activité économique sur le lac, est pratiquée actuellement par sept pêcheurs professionnels de façon artisanale. L'Anguille européenne est leur principale espèce cible, et cinq d'entre eux exercent leur activité exclusivement sur le lac.
- **L'exploitation des marais** en zone Natura 2000 est caractérisée par l'élevage. Les exploitants mettent leurs cheptels (bovins principalement) à pâturer, ou bien fauchent les parcelles. L'entretien des prairies inondables est essentiel pour le maintien d'une diversité d'habitats à Grand-Lieu et pour la biodiversité locale.
- **L'éducation à l'environnement et le tourisme** (à pied, à vélo, lors d'évènements…) sont des activités de fréquentation du lac qui peuvent impacter positivement ou négativement le lac. Notamment, la Maison du lac de Grand-Lieu est une structure d'éducation à l'environnement qui participe à faire connaître la biodiversité du lac et à promouvoir sa protection.
- Enfin, **la chasse** est une activité de loisir qui a lieu en périphérie des réserves, caractérisée surtout par le gibier d'eau. Cette activité, ancrée dans le territoire de Grand-Lieu, est importante par le nombre d'adhérents, mais porte des propos qui peuvent être en contradiction avec certaines autres activités, notamment en termes de niveau d'eau.

2. Caractérisation du patrimoine naturel

Les objets du patrimoine naturel sont listés ci-dessous :

➔ Les cortèges d'espèces d'oiseaux ont été d'abord choisi du fait de l'emblématique richesse ornithologique du site : **Anatidés hivernants**, **grands échassiers nicheurs** et l'espèce **Guifette moustac** (sur liste rouge de l'UICN, classée « vulnérable » en France).

➔ Etant donné que la majorité du site est constituée d'eau, le **peuplement piscicole** ainsi que l'espèce **Anguille européenne** (sur liste rouge de l'UICN, classée « en danger critique d'extinction » au niveau mondial) sont aussi sélectionnés.

➔ Pour étudier la mosaïque d'habitats du site, les **prairies inondables**, les **roselières**, **l'ensemble saulaies-aulnaies** ainsi que les **herbiers aquatiques** sont analysés, chacun étant important pour la biodiversité du site.

➔ Les fonctions de **stockage de carbone** ainsi que celle **d'épuration de l'eau** sont importantes pour leur rôle dans la lutte contre le changement climatique.

➔ Enfin, des menaces qui font finalement partie du paysage du lac sont aussi analysées : **peuplement de phytoplanctons et cyanobactéries, botulisme aviaire** et **espèces exotiques envahissantes**.

3. Méthodologie

a. Analyse de la vulnérabilité des activités humaines

1) Les différents groupes d'acteurs ont été sollicités lors d'**ateliers** (Ateliers « Elevage et marais », « Pêche », « Fréquentation du lac », « Chasse », ou atelier plus général « Activités humaines » du comité consultatif).

2) Avant chaque atelier, un **rappel** sur la démarche Natur'Adapt, son fonctionnement et ses objectifs a été fait, permettant de poser le cadre de la réunion. Un **résumé du récit climatique** était fait pour acculturer les acteurs au changement climatique et les sensibiliser à la nécessité de s'y adapter au sein de leur activité en lien avec le lac.

3) Pour chaque atelier, une **grande fiche** (ex. en figure 9) sur laquelle était notée une série de questions adaptées à l'activité permettait de guider la réflexion des participants. Ces derniers pouvaient répondre aux questions en notant leurs idées sur des **post-it**, idées préalablement discutées entre eux. Le but était de leur laisser une parole libre, et de favoriser la réflexion collective.

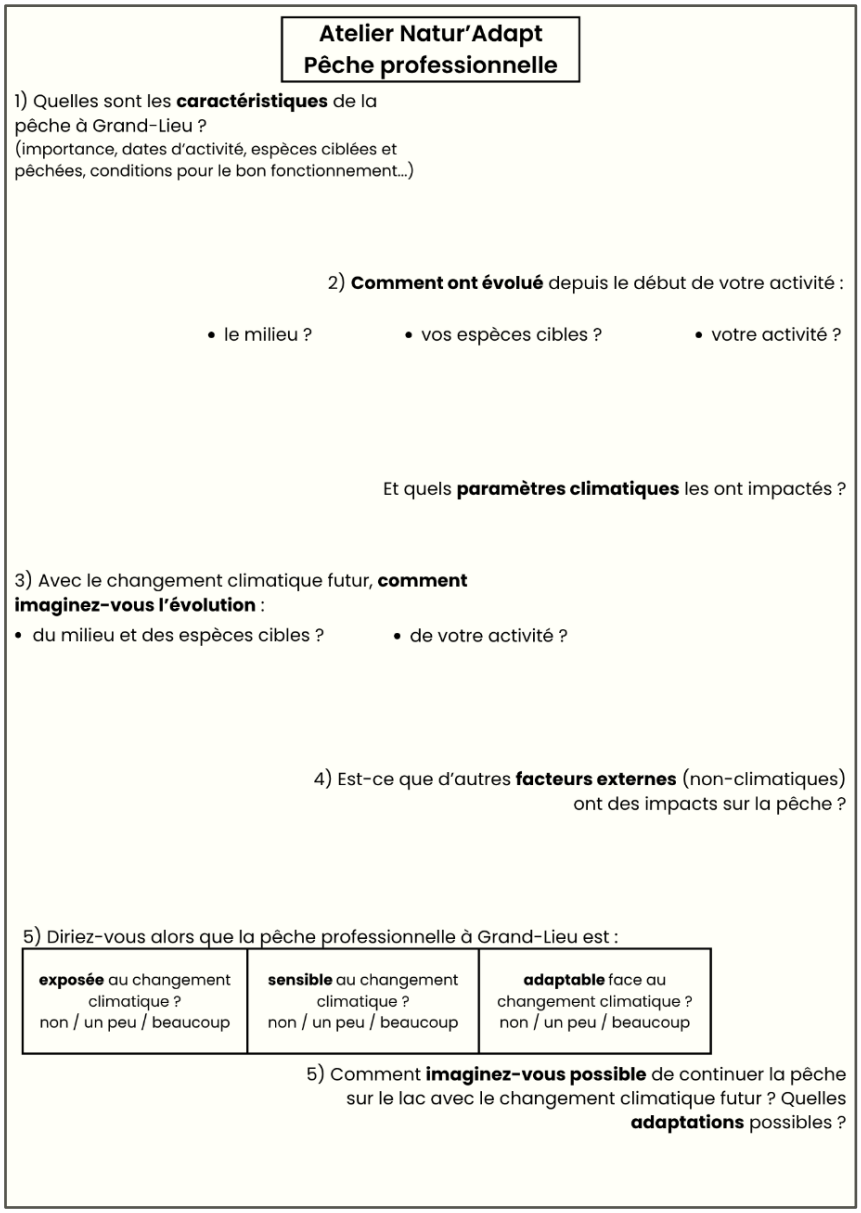
1h-2h (selon disponibilités et dynamique des échanges)

Parole et réflexions libres. Médiateurs au maximum sans prise de position.

4) Chaque atelier a ensuite fait l'objet d'un **compte-rendu écrit** complet avec la retranscription de toutes les idées.

5) Pour réaliser les fiches de diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités, les propos et idées ont ensuite été **synthétisés**, parfois **complétés par des recherches bibliographiques**. Des idées trop éloignées de l'adaptation au changement climatique ou qui portaient sur des volontés propres à l'activité n'ont pas été incluses dans ces fiches.

6) L'évaluation de la vulnérabilité des activités humaines s'est faite en utilisant la **matrice** proposée dans le guide Natur'Adapt (Coudurier *et al.*, 2023) (Tableau 1).



Atelier Natur'Adapt
Pêche professionnelle

1) Quelles sont les **caractéristiques** de la pêche à Grand-Lieu ?
(importance, dates d'activité, espèces ciblées et pêchées, conditions pour le bon fonctionnement…)

2) **Comment ont évolué** depuis le début de votre activité :

- le milieu ?
- vos espèces cibles ?
- votre activité ?

Et quels **paramètres climatiques** les ont impactés ?

3) Avec le changement climatique futur, **comment imaginez-vous l'évolution** :

- du milieu et des espèces cibles ?
- de votre activité ?

4) Est-ce que d'autres **facteurs externes** (non-climatiques) ont des impacts sur la pêche ?

5) Diriez-vous alors que la pêche professionnelle à Grand-Lieu est :

exposée au changement climatique ? non / un peu / beaucoup	**sensible** au changement climatique ? non / un peu / beaucoup	**adaptable** face au changement climatique ? non / un peu / beaucoup

5) Comment **imaginez-vous possible** de continuer la pêche sur le lac avec le changement climatique futur ? Quelles **adaptations** possibles ?

Figure 9 : Exemple de support d'atelier lors des rencontres avec les acteurs du territoire.

Tableau 1 : Matrice d'évaluation de la vulnérabilité d'un objet (Coudurier *et al.*, 2023).

Exposition au CC	Sensibilité intrinsèque	Capacité d'adaptation			
		Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Défavorable	Forte	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne
Défavorable	Moyenne	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible
Défavorable	Faible	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible	Vulnérabilité faible
Neutre	Forte	Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Neutre	Moyenne	Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Neutre	Faible	Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Favorable	Faible	Opportunité faible	Opportunité faible	Opportunité moyenne	Opportunité forte
Favorable	Moyenne	Opportunité faible	Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte
Favorable	Forte	Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte	Opportunité très forte

b. Analyse de la vulnérabilité du patrimoine naturel

1) Les objets du patrimoine naturel ont été analysés lors de **réunions** avec les gestionnaires et membres du comité technique. Les questions consistaient d'une part à récolter leurs expériences de terrain et leurs observations, puis à sensibiliser à la notion de vulnérabilité au changement climatique. Le groupe (ou les sous-groupes, selon le nombre de participants) répondaient ensemble (ou au sein de chaque groupe) à un questionnaire pour chaque objet :
    - En quoi l'objet est important ou structurant pour le lac ? Quels sont ses caractéristiques ?
    - Quels sont les effets déjà observés du changement climatique sur l'objet ?
    - Quels sont les principaux paramètres climatiques influençant l'objet ? Comment risquent-ils d'impacter l'objet dans le futur ?
    - Comment jugez-vous :

    a. L'exposition de l'objet au changement climatique (défavorable/neutre/favorable) ? Pourquoi ?

b. Sa sensibilité au changement climatique (faible/moyenne/forte) ? Pourquoi ?

c. Sa capacité d'adaptation face au changement climatique (nulle/moyenne/faible/forte) ? Pourquoi ?

- Quels sont les principaux facteurs extérieurs (non climatiques) pouvant impacter l'objet ? Comment risquent-ils d'évoluer dans un contexte de changement climatique ?
- Auriez-vous en tête des pistes d'action d'adaptation au changement climatique pour préserver l'objet ?
- Quelles connaissances manquent encore ?

2) Si le travail se faisait en sous-groupes, chaque sous-groupe présentaient aux autres leurs réflexions, les autres pouvant alors compléter et débattre sur les idées.

2h par session (plusieurs sessions pour couvrir tous les objets)

Prise de notes des échanges par le médiateur.

3) Les informations et idées ont été synthétisées dans des fiches, complétées par des **recherches bibliographiques** et pour certains par des **entretiens** avec des experts. La vulnérabilité était ensuite évaluée avec la **matrice** d'évaluation (Tableau 1).

4) Les **fiches en « Analyse rapide »** ont été effectuées sans atelier spécifique par manque de temps. Les informations sont alors issues des notes des autres ateliers, des échanges avec les gestionnaires et de la bibliographie.

VI. Résultats du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités

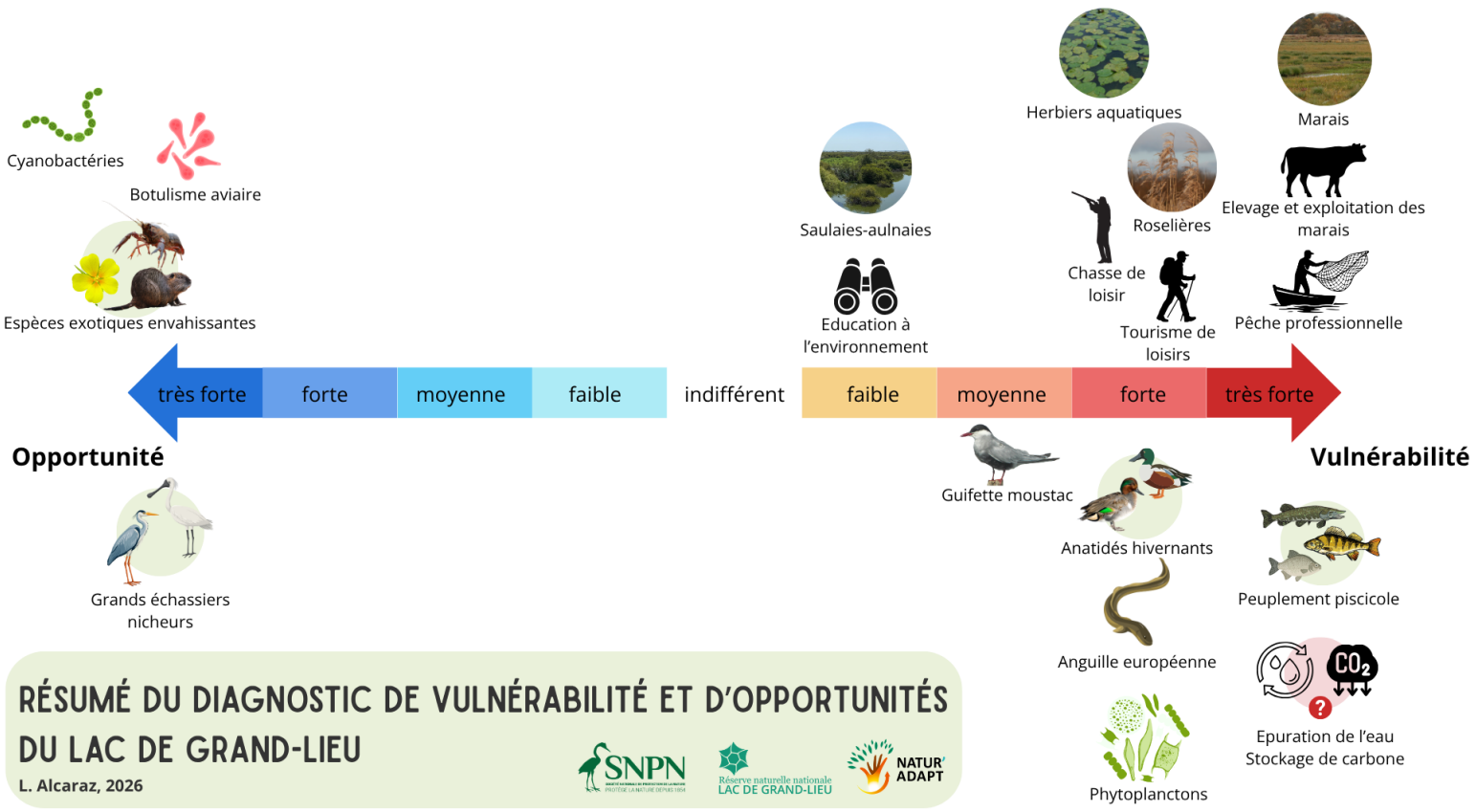
1. Résultats des évaluations

Les tableaux ci-dessous présentent dans un premier temps les résultats du diagnostic pour chaque objet, avec l'évaluation des critères de vulnérabilité ou d'opportunités.

Activité humaine		Exposition au changement climatique	Sensibilité au changement climatique	Capacité d'adaptation face au changement climatique	Vulnérabilité ou opportunité
Pêche professionnelle		Défavorable	Forte	Faible	Vulnérabilité très forte
Exploitation des marais		Défavorable	Forte	Faible	Vulnérabilité très forte
Fréquentation du lac	Tourisme de loisirs	Défavorable	Forte	Moyenne	Vulnérabilité forte
	Education à l'environnement	Défavorable	Moyenne	Forte	Vulnérabilité faible
Chasse de loisir		Défavorable	Forte	Moyenne	Vulnérabilité forte

Patrimoine naturel	Exposition au changement climatique	Sensibilité au changement climatique	Capacité d'adaptation face au changement climatique	Vulnérabilité ou opportunité
Habitats et fonctions écologiques				
Prairies inondables et marais	Défavorable	Forte	Faible	Vulnérabilité très forte
Roselières	Défavorable	Forte	Moyenne	Vulnérabilité forte
Ensemble saulaies-aulnaies	Défavorable	Faible	Forte	Vulnérabilité faible
Herbiers aquatiques	Défavorable	Moyenne	Faible	Vulnérabilité forte
Fonction de stockage de carbone	Défavorable	Forte	Nulle ?	Vulnérabilité très forte ?
Fonction d'épuration de l'eau	Défavorable	Forte	Faible ?	Vulnérabilité très forte ?

Patrimoine naturel	Exposition au changement climatique	Sensibilité au changement climatique	Capacité d'adaptation face au changement climatique	Vulnérabilité ou opportunité
Espèces et cortèges				
Anatidés hivernants	Défavorable	Forte	Moyenne	Vulnérabilité forte
Grands échassiers nicheurs	Favorable	Moyenne	Forte	Opportunité très forte
Guifette moustac	Défavorable	Moyenne	Moyenne	Vulnérabilité moyenne
Anguille européenne	Défavorable	Forte	Moyenne	Vulnérabilité forte
Peuplement piscicole	Défavorable	Forte	Faible	Vulnérabilité très forte
Peuplement de phytoplanctons (hors cyanobactéries)	Défavorable	Forte	Moyenne	Vulnérabilité forte
Menaces pour le patrimoine naturel				
Cyanobactéries	Favorable	Forte	Forte	Opportunité très forte
Botulisme	Favorable	Forte	Forte	Opportunité très forte
Espèces exotiques envahissantes	Favorable	Forte	Forte	Opportunité très forte



2. Résumés des analyses

Dans un second temps, les tableaux suivants résument les principaux effets attendus du changement climatique pour chaque objet. Les fiches complètes sont disponibles en annexe. L'ensemble des sources bibliographiques utilisées sont disponibles dans les fiches correspondantes en annexes, et les ressources principales sont citées dans les tableaux ci-dessous.

Objet	Vulnérabilité ou opportunité	Résumé des effets attendus du changement climatique
		Activités humaines
Pêche professionnelle	Vulnérabilité très forte	La hausse des températures et l'intensification des pluies accentueront l'eutrophisation du lac, au détriment des espèces piscicoles les plus sensibles. Les limites thermiques des poissons seront progressivement atteintes, voire dépassées, et l'oxygène disponible dans l'eau diminuera lors des épisodes de forte chaleur. L'avenir de l'Anguille européenne demeure incertain, tandis que les poissons blancs, plus tolérants aux perturbations et aux fortes températures, pourraient surdominer le peuplement piscicole. Les possibilités d'adaptation des pêcheurs restent faibles, notamment face à une qualité d'eau (eutrophisation, pollutions) qui reste médiocre. (Robert & Vigneron, 2017 ; Tissot & Souchon, 2011)
Exploitation des marais	Vulnérabilité très forte	L'exploitation des marais est fortement menacée car elle dépend des niveaux d'eau (pour l'exondation printanière) et du bon état des prairies. La hausse des températures, les sécheresses estivales et les modifications du régime hydrologique impacteront les animaux au pré et accentueront la dégradation de la flore, notamment par la prolifération de la Jussie, principal facteur de dégradation actuel des prairies. La baisse de la qualité fourragère, l'incertitude des périodes d'inondation et d'exondation (liée aux épisodes climatiques extrêmes et à la gestion du niveau de l'eau) et du maintien des aides financières pourraient conduire à un abandon progressif des marais, les capacités d'adaptation des exploitants restant limitées. (DDTM Loire Atlantique, 2020 ; Madrid *et al*., 2025)
Tourisme de loisirs	Vulnérabilité forte	Les évènements extrêmes et leur médiatisation affecteront l'attraction du site, avec les canicules en été ou encore les inondations hivernales. Notamment, les activités nautiques encadrées sur les cours d'eau pourront être réduites voir fermées en été. Les différents sites d'observation du lac (« Fenêtres sur le lac ») pourraient amener davantage de visiteurs (posant par ailleurs la question du maintien de la tranquillité des zones fréquentables), mais pourraient manquer d'ombrages et de points d'eau face à des évènements caniculaires plus importants. Lors de ces périodes, le tourisme pourrait être redirigé vers l'intérieur (expositions, sites bâtis).
Education à l'environnement	Vulnérabilité faible	Aussi impactée par les évènements extrêmes et épisodes médiatiques, l'éducation à l'environnement pourra cependant bénéficier d'un intérêt croissant pour les enjeux climatiques, avec une opportunité de sensibilisation importante. Les visites et sorties pédagogiques pourront facilement être adaptables, mais la perte de biodiversité pourra se faire sentir sur les observations possibles. Il est aussi possible qu'une montée en tension ait lieu entre les acteurs du site sur les enjeux liés à la préservation de la biodiversité.

Objet	Vulnérabilité ou opportunité	Résumé des effets attendus du changement climatique
Chasse de loisir	Vulnérabilité forte	La chasse de loisir dépend étroitement des populations de canards hivernants. Leurs effectifs pourraient diminuer sous l'effet de la dégradation des habitats, et localement avec le déplacement de leurs aires d'hivernage. L'artificialisation de la pratique par les lâchers d'oiseaux, l'agrainage ou l'installation de nichoirs peut paradoxalement renforcer cette vulnérabilité en réduisant les capacités d'adaptation des populations. Les attentes concernant la gestion du niveau d'eau peuvent également entrer en conflit avec la préservation des habitats favorables aux anatidés et limiter la réflexion sur l'adaptation de la pratique. (Fox *et al*., 2015 ; Gaget *et al*., 2023 ; Lehikoinen *et al*., 2013)
Habitats et fonctions écologiques		
Prairies inondables et marais	Vulnérabilité très forte	Les marais apparaissent très vulnérables en raison de la dégradation de leur état : longues inondations ou à l'inverse fortes sécheresses estivales, gestion du niveau d'eau, prolifération des espèces exotiques envahissantes (notamment la Jussie) ... Leur maintien, indispensable à une grande partie de la biodiversité du site, repose sur la poursuite d'une exploitation agricole dont l'avenir est incertain. (DDTM Loire Atlantique, 2020 ; Joyce *et al*., 2016)
Roselières	Vulnérabilité forte	Si elles disposent de certaines capacités d'adaptation aux variations du niveau d'eau, la régression des roselières est multifactorielle, liée à l'eutrophisation et à la pollution de l'eau, aux rongeurs exotiques et aux modifications hydrologiques, des pressions que le changement climatique risque d'accentuer. (Hudon *et al*., 2005 ; Vretare *et al*., 2001 ; Wang *et al*., 2024)
Ensemble saulaies-aulnaies	Vulnérabilité faible	Les saulaies-aulnaies semblent plus résilientes grâce à leur large valence écologique et leur potentiel adaptatif. Les saules pourraient toutefois être plus vulnérables face à l'intensification des sécheresses, notamment en présence de PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées), appelés aussi « polluants éternels ». Les connaissances restent cependant limitées concernant leur vulnérabilité aux ravageurs et pathogènes et leurs traits d'histoire de vie sur le site. (Battisti *et al*., 2023 ; De Kort *et al*., 2014 ; Tiebel & Karge, 2026)
Herbiers aquatiques	Vulnérabilité forte	Les herbiers aquatiques présentent une forte vulnérabilité, particulièrement les plantes immergées. La hausse des températures, les vagues de chaleur et l'eutrophisation entrainent une perte spécifique et une dominance des macrophytes flottants, eux-mêmes susceptibles de laisser la place aux algues avec la poursuite de ces évolutions. Leur déclin, aggravé par l'Ecrevisse de Louisiane, compromet le fonctionnement écologique du lac et pourrait favoriser les émissions de gaz à effet de serre. (Aben *et al*., 2022 ; Lind *et al*., 2022 ; Scheffer *et al.,* 1993)

Objet	Vulnérabilité ou opportunité	Résumé des effets attendus du changement climatique
Fonction de stockage de carbone	Vulnérabilité très forte ?	En plus d'un certain manque de connaissances sur la fonction de stockage de carbone à Grand-Lieu, sa vulnérabilité est estimée très forte car le changement climatique pourrait affecter le stockage du carbone par les sécheresses dans les marais, l'exondation des vasières et la hausse des températures dans l'eau. Au-delà du climat, l'eutrophisation de l'eau pourrait entrainer un relargage de méthane par les sédiments et la gestion du niveau d'eau influence le stockage du carbone. (DelSontro *et al.*, 2019 ; Gmitrowicz-Iwan *et al.*, 2025 ; Xu *et al.*, 2024)
Fonction d'épuration de l'eau	Vulnérabilité très forte ?	La fonction d'épuration de l'eau du lac de Grand-Lieu est très peu étudiée. En plus du manque de connaissances, la vulnérabilité est estimée très forte par le recul des végétations aquatiques et amphibies contribuant à cette fonction d'une part. D'autre part, l'augmentation des pluies hivernales pourrait accroitre les apports en nutriments et micropolluants et mettre sous pression la fonction d'épuration. (Jeppesen *et al.*, 2011)
Espèces et cortèges		
Anatidés hivernants	Vulnérabilité forte	Chez les anatidés hivernants, la vulnérabilité est moins importante à l'échelle du cortège : le lac devrait continuer à accueillir des canards en hiver, avec une possible remontée migratoire de la Nette rousse ou de la Sarcelle d'été. En revanche, la composition spécifique actuelle devrait évoluer, plusieurs espèces, comme la Sarcelle d'hiver ou le Canard souchet, étant susceptibles d'hiverner plus au nord avec l'adoucissement des hivers. La variabilité interannuelle des hivers en Europe du Nord et centrale influencera cette composition, mais ces changements pourront aussi masquer un réel déclin des populations. La dégradation des habitats et des ressources alimentaires (localement sur le lac de Grand-Lieu, ou plus largement sur l'ensemble de leur aire de répartition) ainsi que l'augmentation de la prédation dans la toundra constituent également des facteurs de vulnérabilité. (Fox *et al.*, 2019 ; Guillemain *et al.*, 2013 ; Lehikoinen *et al.*, 2013)
Grands échassiers nicheurs	Opportunité très forte	Les grands échassiers nicheurs pourraient globalement bénéficier d'hivers plus doux, favorisant leur expansion vers le nord. Les espèces à migration obligatoire, comme le Crabier chevelu et le Héron pourpré, pourraient toutefois être pénalisées par la dégradation de leurs zones d'hivernage. Pour les autres espèces, cette opportunité reste conditionnée au maintien de leurs habitats et de leurs ressources alimentaires. La Spatule blanche présente notamment une forte dépendance à l'Écrevisse de Louisiane à Grand-Lieu, abondante à Grand-Lieu pour le moment. (Breiner *et al.*, 2022 ; Reeber, 2026)
Guifette moustac	Vulnérabilité moyenne	Nichant sur les herbiers de nénuphars à Grand-Lieu, la Guifette moustac dépend directement de leur maintien, alors qu'ils sont aujourd'hui en régression et fragilisés par des niveaux d'eau élevés et par une qualité d'eau dégradée. Le changement climatique pourrait accentuer cette dégradation et augmenter le risque d'échec de reproduction lors de fortes précipitations, faisant peser un risque de disparition locale sur cette espèce, déjà cantonnée à seulement six sites de nidification en France. (Paillisson *et al.*, 2006 ; Paillisson & Chambon, 2021)

Objet	Vulnérabilité ou opportunité	Résumé des effets attendus du changement climatique
Peuplement de phytoplanctons (hors cyanobactéries)	Vulnérabilité forte	Le phytoplancton apparaît fortement vulnérable. L'augmentation des températures favorisera davantage les cyanobactéries, thermophiles, au détriment des autres phytoplanctons. La charge en nutriments, premier facteur du déséquilibre trophique, renforcera cette évolution, tandis que le déclin des herbiers aquatiques réduira l'hétérogénéité des masses d'eau et donc la biodiversité phytoplanctonique. (Elliott *et al.*, 2006 ; Merz *et al.*, 2023 ; Pannard *et al.*, 2024)
Peuplement piscicole	Vulnérabilité très forte	Le peuplement piscicole du lac apparait particulièrement sensible à la hausse des températures. Les épisodes de chaleur extrême atteindront de plus en plus les limites thermiques des espèces, à l'image du brochet qui a connu une très forte mortalité dans le lac durant un épisode caniculaire l'été 2026. De plus, ces évènements accentuent l'hypoxie et l'eutrophisation, favorisant les espèces eurythermes et les poissons exotiques envahissants au détriment des espèces les plus sensibles. La disparition potentielle des prédateurs pourrait modifier le réseau trophique du lac, tandis que la discontinuité écologique accentue la vulnérabilité des espèces migratrices. (Jeppesen *et al.*, 2011 ; Jeppesen *et al.*, 2012 ; Tissot & Souchon, 2011)
Anguille européenne	Vulnérabilité forte	L'Anguille européenne apparaît fortement vulnérable en raison du cumul des pressions qu'elle subit. Le changement climatique affecte en effet ses migrations par l'affaiblissement des courants océaniques, l'acidification de l'océan, la modification du régime des pluies et la hausse des températures. Les pollutions, la dégradation de la qualité de l'eau et les obstacles à la migration demeurent toutefois les principaux facteurs de fragilisation. Malgré la bonne tolérance de l'Anguille aux fortes températures et à l'hypoxie, sa résilience est ainsi remise en question. (Arevalo *et al.*, 2021 ; Bruslé, 1994 ; Dìaz *et al.*, 2016 ; Feunteun, 2002 ; Sganga *et al.*, 2022)
Menaces pour le patrimoine naturel		
Cyanobactéries	Opportunité très forte	La hausse des températures, associée à l'eutrophisation (à cause de la mauvaise qualité d'eau venant du bassin versant), favorisera le développement des cyanobactéries et contribuera au changement de trophie du lac, vers une hyper-eutrophisation. L'eutrophisation risque d'ailleurs d'être accentuée par une augmentation des pluies hivernales et des ruissellements du bassin versant. Les proliférations de cyanobactéries pourraient ainsi s'étendre dans l'année, être davantage dominées par des espèces toxiques (produisant des cyanotoxines) et simplifier le réseau écologique. De nouvelles espèces, plus résistantes aux fortes températures, pourraient également apparaitre à Grand-Lieu, comme cela est déjà observé pour *Cylindrospermopsis raciborskii* qui est potentiellement toxique. (Elliott *et al.*, 2006 ; Jeppesen *et al.*, 2011 ; Merz *et al.*, 2023)

Objet	Vulnérabilité ou opportunité	Résumé des effets attendus du changement climatique
Botulisme	Opportunité très forte	Les épisodes de botulisme aviaire pourraient devenir plus fréquents. Le changement climatique renforcera les conditions favorables au développement de la bactérie en cause *Clostridium botulinum* : fortes températures, anoxie et baisse du niveau d'eau, auxquelles s'ajoute une forte concentration en matière organique. Les canards colvert, particulièrement sensibles au botulisme, ainsi que les autres espèces d'oiseaux d'eau, risquent de se retrouver concentrés sur de petites zones d'eau, en raison d'un assèchement saisonnier plus important des zones humides dans le futur. Cette concentration d'oiseaux est aussi un facteur aggravant, et se pose la question du rôle des lâchers cynégétiques de canards colvert dans le renforcement des épisodes de crise botulique. Les mécanismes précis restent toutefois encore mal connus. (Anses, 2025 ; Anza *et al*., 2016)
Espèces exotiques envahissantes	Opportunité très forte	Les espèces exotiques envahissantes (EEE) principales de Grand-Lieu (Jussie, Ragondin, Rat musqué, Ecrevisse de Louisiane) devraient tirer profit du changement climatique grâce à leur forte plasticité et à leur grande capacité de colonisation. Elles profitent d'ailleurs de se développer dans des écosystèmes déjà dégradés, la mauvaise qualité de l'eau à Grand-Lieu y jouant un rôle important. Leur expansion ainsi que de nouvelles invasions pourraient accentuer la dégradation des habitats et le déclin de la biodiversité locale, alors que leur contrôle reste difficile et que les retours d'expérience concernant leur contrôle sont limités. (UICN & OFB, 2022)

VII. Et qu'en est-il des potentiels nouveaux arrivants ?

Il est assez difficile de prévoir les changements d'aire de répartition des espèces, notamment pour les oiseaux. En effet, de nombreux facteurs rentrent en compte : en plus de l'adéquation des conditions environnementales du nouveau milieu aux besoins de l'espèce, à sa niche écologique, l'espèce doit également bien se porter pour pouvoir bouger, et l'habitat propice à l'espèce doit être présent dans la nouvelle zone géographique climatiquement adéquate, ou bien s'implanter dans le futur. Il est aussi souvent nécessaire qu'un premier individu arrive sur le site en « éclaireur » : de nombreuses espèces auraient déjà pu venir à Grand-Lieu au vu des conditions environnementales propices pour certaines, mais n'ont potentiellement pas encore eu ces éclaireurs. Des modélisations existent mais restent encore aux prémices de leur potentialité. Des incertitudes persistent liées aux limites de connaissances sur les vitesses de dispersion qui sont souvent plus rapides que les prédictions, sur les évolutions démographiques selon la vitesse des changements climatiques et sur les capacités d'évolution génétique (Chuine, 2017 ; Oliveira *et al*., 2026).



Figure 10 : Cormoran pygmée (Adrien Chateignier, Flickr, CC BY-NC-ND 2.0)

Toutefois, l'arrivée de certaines espèces d'oiseaux pourrait être attendue. Tout d'abord, le **Cormoran pygmée** (*Microcarbo pygmeus*) a niché pour la première fois à Grand-Lieu durant l'été 2026. Espèce méridionale, elle est encore très peu présente en France, se trouvant plutôt au sud-est et au centre de l'Europe. Ce cormoran niche cependant en Brenne dorénavant, et pourrait alors confirmer le déplacement de son aire de répartition en devenant plus régulier à Grand-Lieu.

Ensuite, trois espèces de canards encore rares à Grand-Lieu pourraient venir plus fréquemment en hivernage : le Canard pilet, la Nette rousse et la Sarcelle d'été. Pour le **Canard pilet** (*Anas acuta*), hivernant régulier le plus souvent en faible effectif (Reeber, 2026), le déplacement de son aire d'hivernage (actuellement en Afrique et en Europe de l'Ouest) pourrait conduire à une augmentation significative des effectifs hivernants à Grand-Lieu. La **Nette rousse** (*Netta rufina*) est un visiteur rare à Grand-Lieu mais dont l'aire de répartition semble bien en expansion vers le nord-ouest de la France, déjà implantée en Brenne (Reeber, 2026). Enfin, la **Sarcelle d'été** (*Spatula querquedula*) n'a jamais été observée en hivernage à Grand-Lieu pour le moment (Reeber, 2026), et ne semble pas encore hiverner en Europe, passant l'hiver en Afrique. Mais le changement climatique et l'assèchement des zones humides dans son aire d'hivernage pourrait pousser cette espèce à hiverner plus au Nord.



Figure 11 : de haut en bas : **Canard pilet** (cazalegg, Flickr, CC BY 2.0)**, Nette rousse** (Agustin Povedano, Flickr, CC BY-NC-SA 2.0), **Sarcelle d'été** (Radovan Vàclav, Flickr, CC BY-NC 2.0)

Pour les autres oiseaux tels que les passereaux, il n'est pas prévu que de nouvelles espèces puissent arriver à Grand-Lieu, au regard de l'état actuel des populations nationales et européennes pour ce taxon. Ils sont également très liés à leurs habitats, notamment les roselières, qui ont été grandement perdues à Grand-Lieu et qui sont encore évaluées comme fortement vulnérables face au changement climatique.

De nombreuses espèces exotiques envahissantes pourraient également arriver au lac, mais n'ont pas encore été observées dans la zone du lac ou seulement de manière sporadique : la **Crassule de Helms** est celle qui inquiète le plus car est déjà présente en Marais breton, et plusieurs espaces naturels du Sud-Ouest subissent déjà son fort caractère invasif. On note également la potentialité des plantes aquatiques exotiques envahissantes comme la **Laitue d'eau** (*Pistia stratiotes*) ou ***Salvinia molesta*** à s'installer dans le futur sur les marais ou l'eau libre, issues initialement d'aquariums en tant que plantes d'ornement. La **Fougère aquatique** (*Azolla filiculoides*), moins inquiétante, a déjà été observée à Grand-Lieu. Elle possède également un caractère invasif mais ne semble pas persistante, étant très présente une saison mais disparaissant ensuite.



Figure 10 : Crassule de Helms (gertjanvannoord, Flickr, CC BY-ND 2.0), **Laitue d'eau** (Hans Hillewaert, Flickr, CC BY-NC-SA 2.0), ***Salvinia molesta*** (Charlie From Bristol, Flickr, CC BY-NC-SA 2.0).

Le **Raton-laveur** et la **Tortue de Floride** sont également des espèces exotiques qui pourraient bénéficier de la grande zone humide protégée qu'est le lac, bien que la réglementation plus stricte ait déjà permis de rendre très rares les observations de Tortues de Floride. Le **Xénope lisse** (*Xenopus laevis*) a déjà été observé ponctuellement à deux reprises à Grand-Lieu. Il pourrait être dangereux par son caractère envahissant et car il transmet une maladie fongique dévastatrice pour les populations d'amphibiens, la chytridiomycose. Les **Ecrevisses de Californie** (*Pacifastacus leniusculus*), **marbrée** (*Procambarus virginalis*) et **bleue** (*Cherax destructor*), déjà présentes en Pays de la Loire pour les deux premières et identifiée en 2019 en Bretagne[3], pourraient aussi arriver à Grand-Lieu et compléter le cortège des écrevisses exotiques du lac.

D'après le récit prospectif (voir ci-dessous), les types de milieux les moins impactés par le changement climatique seront les **saulaies et aulnaies**. Le maintien voire l'expansion de ces milieux pourrait favoriser l'installation plus pérenne de la **Loutre d'Europe**, du **Castor Européen** ou encore d'autres petits mammifères amphibies en leur offrant refuge, à condition que la qualité de l'eau soit restaurée.

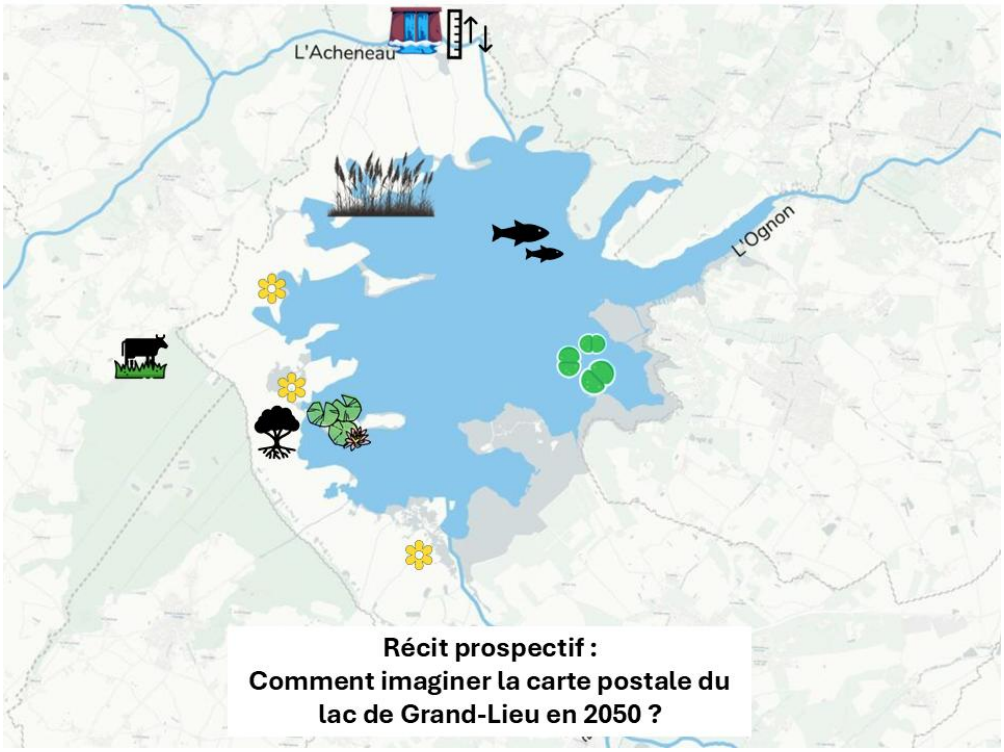
[3] https://www.federationpeche44.fr/la-liste-des-especes-de-poissons-exotiques/

VIII. Récit prospectif du lac de Grand-Lieu sous l'effet du changement climatique

Le récit prospectif du lac de Grand-Lieu a été réalisé en deux fois :

- Une première version lors d'un accompagnement en présentiel par Réserve Naturelle de France, avec l'équipe de la RNN.
- Une seconde version lors du comité technique de la démarche Natur'Adapt.

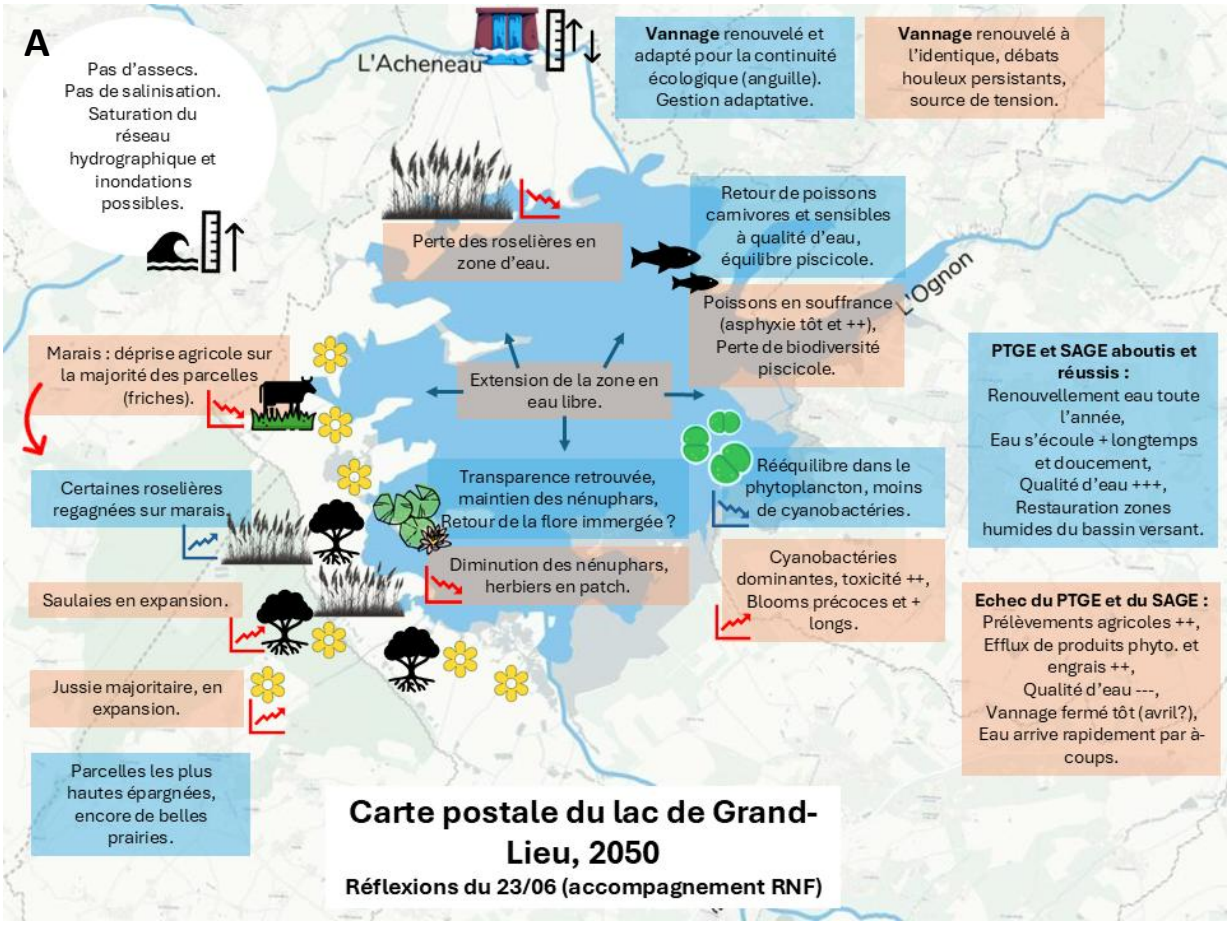
La carte ci-dessous servait de base de réflexion pour imaginer la « carte postale » du site en 2050.

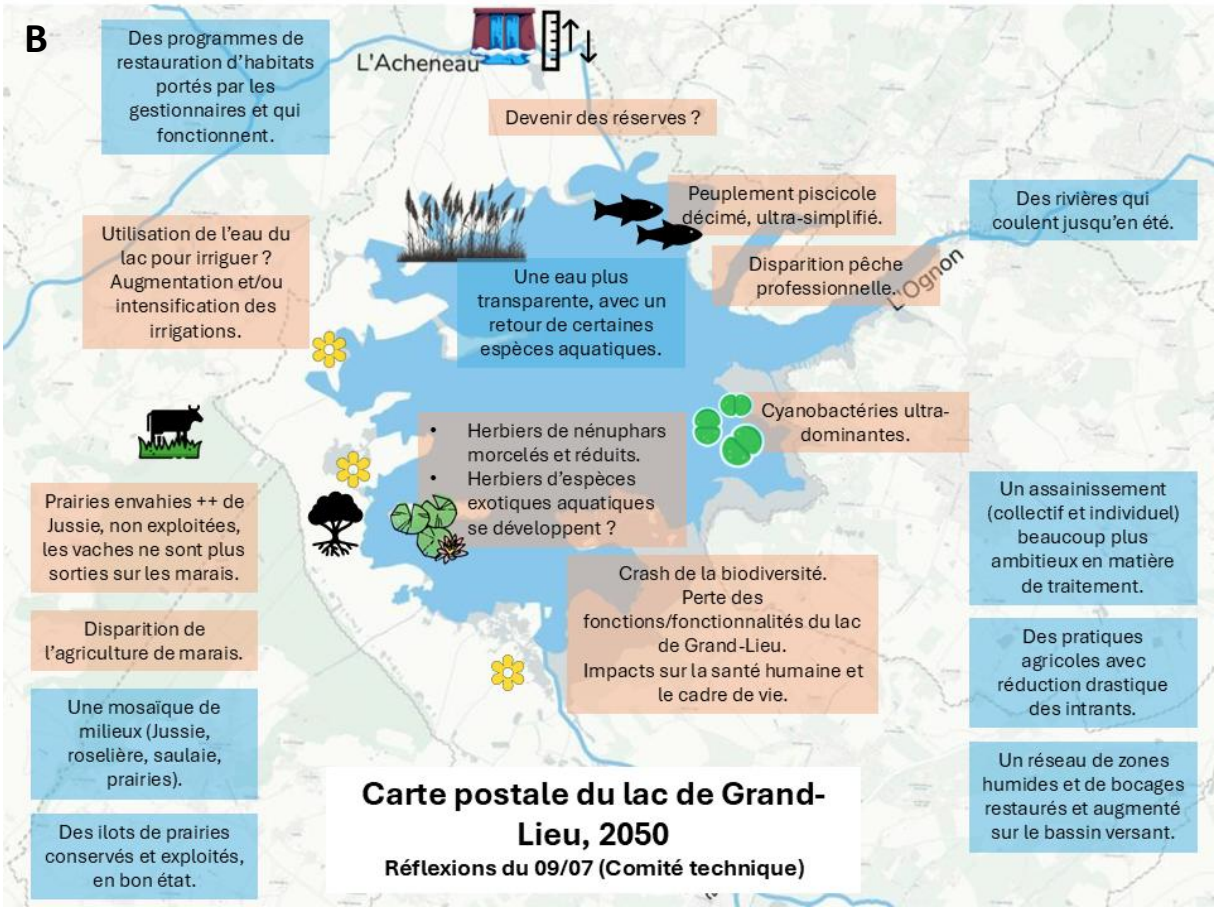


Les scénarios :

- Pour la première carte postale (A), il a été imaginé deux scénarios : **un scénario d'aboutissement et de succès du PTGE** (Projet de Territoire pour la Gestion des Eaux) **du bassin versant de Grand-Lieu et du SAGE** (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) Logne, Boulogne, Ognon et Grand-Lieu, et un **scénario d'échec de ces deux planifications territoriales** n'aboutissant pas à des prises de décisions satisfaisantes.

- Pour la seconde carte postale (B), **les deux scénarios ont été repris mais précisés** : le premier correspond à un scénario « positif » (en bleu) avec un SAGE et un PTGE très ambitieux, aboutis et appliqués avec des moyens. Le second correspond au scénario « négatif » (en orange), suivant des tendances (politiques, territoriales) inchangées par rapport à aujourd'hui. Chacun des scénarios ne permet pas d'avoir un consensus entre les acteurs, étant donné qu'ils impliquent des abandons d'activités ou des changements drastiques de pratiques.


A
Pas d'assecs.
Pas de salinisation.
Saturation du réseau hydrographique et inondations possibles.
L'Acheneau
Vannage renouvelé et adapté pour la continuité écologique (anguille). Gestion adaptative.
Vannage renouvelé à l'identique, débats houleux persistants, source de tension.
Perte des roselières en zone d'eau.
Retour de poissons carnivores et sensibles à qualité d'eau, équilibre piscicole.
Poissons en souffrance (asphyxie tôt et ++), Perte de biodiversité piscicole.
L'Ognon
Marais : déprise agricole sur la majorité des parcelles (friches).
Extension de la zone en eau libre.
Transparence retrouvée, maintien des nénuphars, Retour de la flore immergée ?
Rééquilibre dans le phytoplancton, moins de cyanobactéries.
Certaines roselières regagnées sur marais.
Diminution des nénuphars, herbiers en patch.
Cyanobactéries dominantes, toxicité ++, Blooms précoces et + longs.
Saulaies en expansion.
Jussie majoritaire, en expansion.
Parcelles les plus hautes épargnées, encore de belles prairies.
PTGE et SAGE aboutis et réussis : Renouvellement eau toute l'année, Eau s'écoule + longtemps et doucement, Qualité d'eau +++, Restauration zones humides du bassin versant.
Echec du PTGE et du SAGE : Prélèvements agricoles ++, Efflux de produits phyto. et engrais ++, Qualité d'eau ---, Vannage fermé tôt (avril?), Eau arrive rapidement par à-coups.
Carte postale du lac de Grand-Lieu, 2050
Réflexions du 23/06 (accompagnement RNF)


B
Des programmes de restauration d'habitats portés par les gestionnaires et qui fonctionnent.
L'Acheneau
Devenir des réserves ?
Peuplement piscicole décimé, ultra-simplifié.
Des rivières qui coulent jusqu'en été.
Utilisation de l'eau du lac pour irriguer ? Augmentation et/ou intensification des irrigations.
Disparition pêche professionnelle.
L'Ognon
Une eau plus transparente, avec un retour de certaines espèces aquatiques.
Cyanobactéries ultra-dominantes.
Herbiers de nénuphars morcelés et réduits.
Herbiers d'espèces exotiques aquatiques se développent ?
Prairies envahies ++ de Jussie, non exploitées, les vaches ne sont plus sorties sur les marais.
Un assainissement (collectif et individuel) beaucoup plus ambitieux en matière de traitement.
Crash de la biodiversité. Perte des fonctions/fonctionnalités du lac de Grand-Lieu. Impacts sur la santé humaine et le cadre de vie.
Disparition de l'agriculture de marais.
Des pratiques agricoles avec réduction drastique des intrants.
Une mosaïque de milieux (Jussie, roselière, saulaie, prairies).
Un réseau de zones humides et de bocages restaurés et augmenté sur le bassin versant.
Des ilots de prairies conservés et exploités, en bon état.
Carte postale du lac de Grand-Lieu, 2050
Réflexions du 09/07 (Comité technique)

IX. Conclusion

1. Le climat futur à l'image de 2026, année des extrêmes

Comme vu plus haut (*IV. 4. 2026, cas d'école du changement climatique*), 2026 a été (et est encore à l'heure de la finalisation de ce rapport) une année particulièrement représentative des changements climatiques qui nous attendent, déjà à moyen terme (~2050).

Les évènements vécus durant cette année risquent malheureusement de devenir la norme :

- Malgré l'épisode neigeux du début d'année, **l'hiver 2025-2026 a été le 4e le plus doux** en France depuis 1900, illustrant la raréfaction continue des épisodes de froid, qui **disparaîtront** à long terme, à force de « vagues de douceur » hivernales.
- **Le mois de février 2026 a été le plus pluvieux** depuis 1959, et les projections indiquent en effet que les **précipitations hivernales seront plus importantes mais aussi plus intenses**. Cela risque d'entraîner, comme cette année, des inondations dans les communes riveraines. Avec la hausse du niveau marin et les évènements extrêmes (telles les submersions marines) qui risquent d'être plus fréquents, la saturation du réseau hydrographique renforcerait le risque d'inondations en hiver.
- **A l'image des canicules successives et de l'importante sécheresse de 2026**, la période estivale sera, à l'inverse de l'hiver, **de plus en plus sèche**, à cause d'un fort déficit en pluie et d'une évapotranspiration (ETP) importante. Cette ETP excédera même le total des pluies sur l'année, aggravant et rallongeant la période de stress hydrique.
- **Les niveaux d'eau ont atteint des extrêmes cette année** : au maximum à 3,83m en février (quelques cm sous le record), et au minimum à 1,22m en octobre, battant cette fois le record depuis la construction de vannage. Ces extrêmes risquent alors d'être **atteints plus souvent**, voire d'être encore **dépassés** dans les décennies à venir.



Figure 13 : à gauche : **forte exondation du lac en octobre 2016** (JM Gillier). A droite : **épisode de froid important en novembre 2005** (S Reeber)

2. Le site du lac de Grand-Lieu fortement vulnérable au changement climatique dans l'ensemble

Ces évolutions climatiques prévues impacteront alors tout le socio-écosystème du lac de Grand-Lieu. D'une part, **les menaces biologiques** (cyanobactéries, botulisme aviaire et espèces exotiques envahissantes) seront favorisées par le changement climatique, et particulièrement par la hausse des températures. Elles renforceront alors la vulnérabilité du site.

Les activités professionnelles de récolte (pêche professionnelle et exploitation agricole des marais) sont les activités les plus vulnérables, et la question de leur pérennité sur le site est même posée. Ainsi, leurs supports d'activité, à savoir les marais et prairies inondables pour les agriculteurs, et le peuplement piscicole avec particulièrement l'Anguille pour les pêcheurs, sont aussi fortement ou très fortement vulnérables face au changement climatique.

Les fonctions écologiques d'épuration de l'eau et de stockage de carbone, bien que peu connues et peu étudiées à Grand-Lieu, pourraient aussi être très fortement vulnérables avec la hausse des températures, les sécheresses et la dégradation globale du lac de Grand-Lieu. Le manque de connaissance, concernant des fonctions écologiques qui fournissent également d'importants services écosystémiques pour lutter contre le changement climatique, appuie encore plus cette vulnérabilité.

Le site du lac de Grand-Lieu se retrouve alors dans l'ensemble **fortement vulnérable** face au changement climatique. Mais **les impacts de facteurs extérieurs**, très influents, tels que l'eutrophisation du lac ou la gestion du niveau de l'eau du lac, semblent tout autant impactants et renforcent bien cette vulnérabilité.



Figure 14 : à gauche : **marais envahis par la jussie** (JM Gillier). A droite : **prolifération de cyanobactéries en zone d'herbiers aquatiques** (L Alcaraz).

3. Un récit prospectif mitigé, dépendant des décisions politiques territoriales

Les récits prospectifs écrits ci-dessous sont inspirés des cartes postales rédigées lors des ateliers avec RNF et avec le comité technique, permettant de mettre en mots la carte postale finale du lac de Grand-Lieu, d'ici 2050 (figure 15). Il s'agit d'un récit prospectif global, faisant travailler

l'imaginaire collectif. Il ne rentre pas dans le détail de chaque objet analysé, mais cherche à dessiner les futurs possibles dans l'ensemble selon les politiques publiques et les choix de gestion locaux.

Le lac de Grand-Lieu, 2050 : une zone humide d'importance nationale préservée collectivement

« Avec la réussite et l'application d'un SAGE puis d'un PTGE ambitieux voilà maintenant plus de 20 ans, le bassin versant de Grand-Lieu a réussi à restaurer de nombreuses zones humides et bocages, permettant de ralentir l'arrivée de l'eau au lac et de la filtrer. L'eau coule d'ailleurs jusqu'en juillet dans les cours d'eau ! Les systèmes d'assainissement et de traitement des eaux usées ont été renouvelés et sont plus ambitieux qu'avant. Avec la réduction drastique de l'utilisation des intrants sur les parcelles agricoles du bassin versant, l'eau du lac a commencé à retrouver une certaine transparence. Les cyanobactéries sont d'ailleurs beaucoup moins présentes qu'avant. Les pêcheurs indiquent pêcher davantage de perches et de brochets qu'il y a 20 ans, espèces permettant de réguler le peuplement de poissons blancs. Les relevés qualité d'eau de la RNN indiquent des taux de chlorophylle totaux bien moins importants que dans les années 2020, grâce au rééquilibre de la communauté planctonique.

Ainsi, les herbiers de nénuphars et les roselières ont été redynamisés par une qualité d'eau améliorée. Les herbiers aquatiques sont aujourd'hui plus denses, et le programme de restauration des roselières a commencé à porter ses fruits.

Au niveau des marais, certaines parcelles ont toutefois été abandonnées à cause de la Jussie qui a donné des étendues quasiment monospécifiques. Une mosaïque de milieux s'est finalement renforcée dans les marais, entre des prairies encore exploitées, des saulaies et des roselières qui ont gagné du terrain, et toujours de la Jussie. Les îlots de prairies encore en bon état épargnés par la Jussie continuent d'accueillir les vaches des exploitants de marais, permettant de conserver le paysage patrimonial de ces lieux.

En parallèle, les acteurs du lac de Grand-Lieu ont trouvé un accord concernant le renouvellement du vannage de Bouaye. L'ancien ouvrage, datant des années 1960, a enfin laissé la place à un nouveau type de vannage. En effet, il a été particulièrement pensé pour la continuité écologique dont l'Anguille a besoin. La gestion de son ouverture pour contrôler le niveau d'eau du lac a été réfléchie pour les besoins de l'écosystème, renforçant finalement la résilience du milieu. »

Le lac de Grand-Lieu, 2050 : témoignage d'un espace protégé en déclin

« Depuis une vingtaine d'années, les politiques nationales et territoriales ont fragilisé les espaces naturels et surtout le statut des aires protégées. A Grand-Lieu plus particulièrement, elles ont permis la hausse et l'intensification des prélèvements pour l'irrigation agricole dans le bassin versant, faisant suite aux grosses sécheresses estivales qui sont devenues monnaie courante. L'eau arrivant au lac est alors moins renouvelée, et la qualité de l'eau s'est encore dégradée. Ou du moins rien n'a été fait depuis les années 2020 pour qu'elle s'améliore. L'agriculture du bassin versant s'est en effet intensifiée.

Sur le lac de Grand-Lieu, la zone d'eau libre s'est encore étendue, au détriment des herbiers de nénuphars et des roselières. Les herbiers aquatiques se sont morcelés, dans un contexte d'eutrophisation toujours aussi forte, renforcée par les micropolluants, et avec la pression des écrevisses exotiques devenues plus nombreuses. La turbidité importante de l'eau a fini de faire disparaitre les derniers herbiers immergés il y a déjà quelques dizaines d'années. Cette qualité d'eau médiocre a appauvri le peuplement piscicole, qui compte seulement des poissons blancs consommateurs de zooplanctons, résultant en un peuplement planctonique déséquilibré. Les efflorescences de cyanobactéries sont plus importantes que dans les années 2020, elles commencent dès le printemps et ne se dissipent qu'à l'entrée de l'hiver. La toxicité des cyanobactéries s'est même révélée dangereuse pour certains oiseaux et certains poissons. La pêche professionnelle a finalement disparu face à la dégradation de la qualité de l'eau, aux concentrations de cyanotoxines induisant des interdictions récurrentes et aux bouleversements du peuplement piscicole.

Côté gestion du niveau de l'eau, le renouvellement du vannage de Bouaye a donné lieu à un ouvrage identique à l'ancien, la continuité écologique pour l'Anguille étant particulièrement difficile. Sa gestion est également restée plus ou moins la même, et ne satisfait toujours pas les divers acteurs qui entretiennent des débats houleux sur le sujet. Face à cela, les marais ont connu une importante déprise agricole, du fait des difficultés d'accès aux marais à cause de niveaux d'eau trop hauts la plupart des années, les fortes pluies hivernales n'étant pas évacuées assez vite certaines années. La Jussie a alors continué d'envahir les marais, ils sont aujourd'hui quasiment tous monospécifiques, à l'exception de quelques parcelles hautes. Mais les exploitants sont pour la plupart partis du marais, on ne voit plus de vaches sur prés.

Malheureusement, on a globalement pu constater une importante perte de biodiversité, liée à la perte des habitats et des fonctionnalités qu'offrait le lac de Grand-Lieu. »

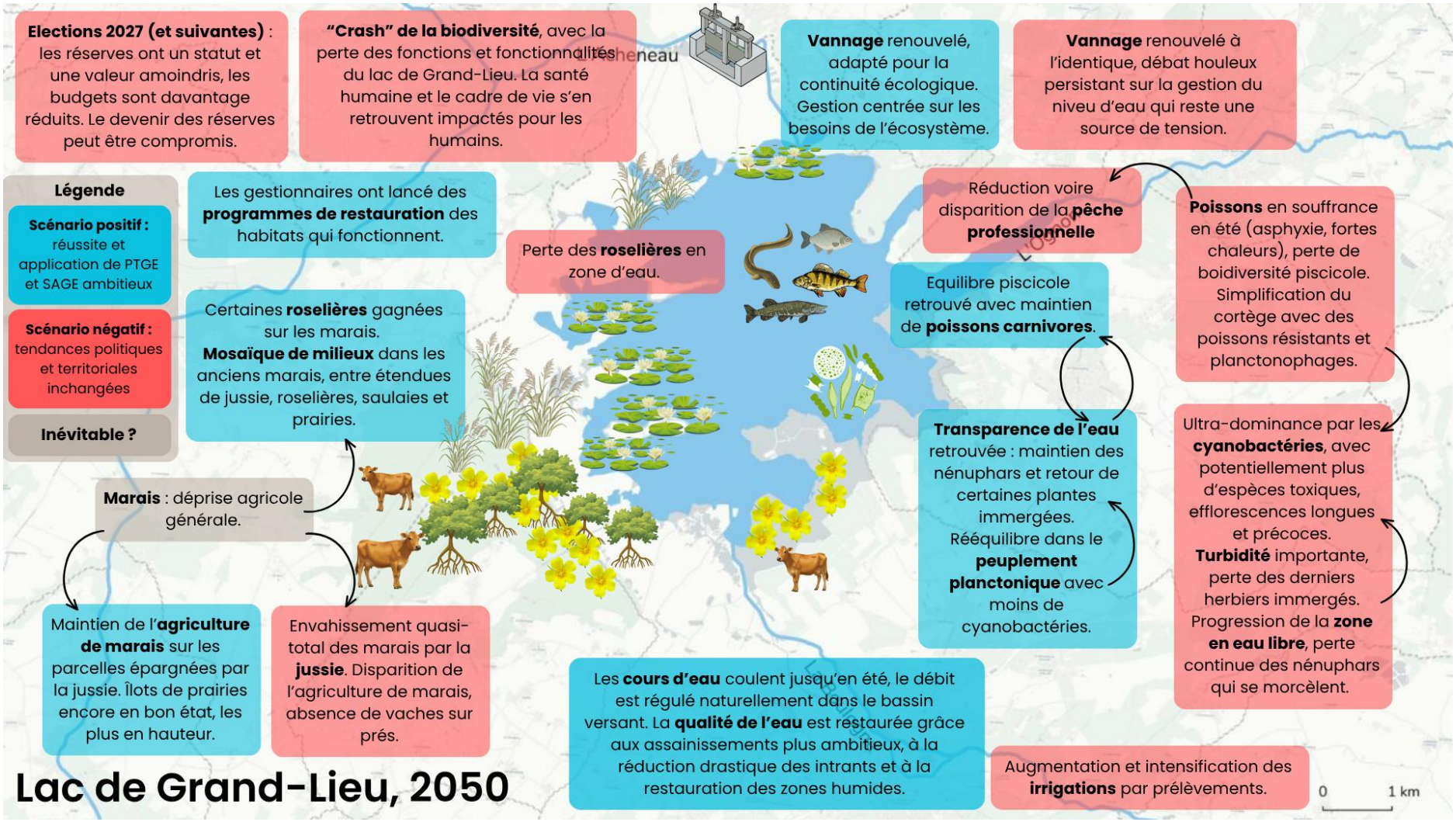


Figure 15 : « Carte postale » finale pour le récit prospectif du lac de Grand-Lieu en 2050 (SNPN - RNN Lac de Grand-Lieu)

X. Perspectives de la démarche

Face à ces constats, la suite de la démarche consistera en la **définition de mesures d'adaptation concrètes pour répondre aux enjeux de vulnérabilité soulevés lors de ces analyses prospectives**.

1) Les **moyens de gestion actuels** devront d'une part être analysés au regard du changement climatique, et leur vulnérabilité sera évaluée afin de constater de l'efficacité (ou non !) de ces actions dans le futur.
2) **Des stratégies, ou trajectoires d'adaptation**, seront ensuite choisies pour nous aider à prendre une direction, à prendre des décisions dans notre gestion. Les réflexions viendront s'ajouter aux pistes d'adaptation déjà évoquées par les différents acteurs lors des ateliers, qui seront alors filtrées, triées, hiérarchisées et définies plus précisément pour les inscrire concrètement dans un **plan d'adaptation**.
3) Les stratégies et mesures d'adaptation ont alors vocation à être intégrées **dans les documents de gestion** des trois aires protégées, pour pleinement intégrer la question du changement climatique et de son adaptation à l'échelle du lac de Grand-Lieu.

D'ici 2028, cette réflexion et le plan d'adaptation seront donc intégrés dans les plans de gestion des deux réserves (RNN et RNR), lors de leur révision et renouvellement. La date de renouvellement du document d'objectifs du site Natura 2000 n'étant pas encore fixée, l'intégration de ces actions se fera dans le développement potentiel des contrats Natura 2000 (par exemple avec des forestiers) et MAEC, ces outils étant eux-mêmes soumis à d'autres contraintes externes au site (politiques, financières…).

Bibliographie

Aben, R. C. H., Velthuis, M., Kazanjian, G., Frenken, T., Peeters, E. T. H. M., Van de Waal, D. B., Hilt, S., de Senerpont Domis, L. N., Lamers, L. P. M., & Kosten, S. (2022). Temperature response of aquatic greenhouse gas emissions differs between dominant plant types. *Water Research*, *226*, 119251. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119251

Amiot, L., Dubreuil, V., & Bonnardot, V. (2024, juillet 23). Cartographie du changement climatique en Pays de la Loire [Text]. *IGARUN (Institut de Géographie et d'Aménagement de l'Université de Nantes).* https://cahiers-nantais.fr. https://cahiers-nantais.fr/index.php?id=1795

Anses. (2025). Évaluation des risques et mesures de gestion de cas de botulisme dans la faune sauvage (saisine n° 2019-SA-0115). *Maisons-Alfort : Anses*, 160 p.

Anza, I., Vidal, D., Feliu, J., Crespo, E., & Mateo, R. (2016). Differences in the Vulnerability of Waterbird Species to Botulism Outbreaks in Mediterranean Wetlands : An Assessment of Ecological and Physiological Factors. *Applied and Environmental Microbiology*, *82*(10), 3092-3099. https://doi.org/10.1128/AEM.00119-16

Arevalo, E., Drouineau, H., Tétard, S., Durif, C. M. F., Diserud, O. H., Poole, W. R., & Maire, A. (2021). Joint temporal trends in river thermal and hydrological conditions can threaten the downstream migration of the critically endangered European eel. Scientific Reports, 11(1), 16927. https://doi.org/10.1038/s41598-021-96302-x

Battisti, I., Zambonini, D., Ebinezer, L. B., Trentin, A. R., Meggio, F., Petit, G., & Masi, A. (2023). Perfluoroalkyl substances exposure alters stomatal opening and xylem hydraulics in willow plants. Chemosphere, 344, 140380. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140380

Breiner, F. T., Anand, M., Butchart, S. H. M., Flörke, M., Fluet-Chouinard, E., Guisan, A., Hilarides, L., Jones, V. R., Kalyakin, M., Lehner, B., van Leeuwen, M., Pearce-Higgins, J. W., Voltzit, O., & Nagy, S. (2022). Setting priorities for climate change adaptation of Critical Sites in the Africa-Eurasian waterbird flyways. *Global Change Biology*, *28*(3), 739-752. https://doi.org/10.1111/gcb.15961

Bruslé, J. (1994). L'anguille européenne Anguilla anguilla, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, (335), 237-260. https://doi.org/10.1051/kmae:1994015

Caballero, Y., Lanini, S., Maréchal, J.-C., & Vergnes, J.-P. (2025, juin 24). Comment le changement climatique perturbe la recharge des eaux souterraines. *The Conversation.* https://doi.org/10.64628/AAK.yxsjafh9d

Chuine, I. (2017). Fiche 2.3 : Déplacement des aires de répartition. *In* : *Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites* [Lavorel, S., Lebreton, J. D., Le Maho, Y.]. Rapport de l'Académie des sciences. https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rads_270617.pdf

Coudurier C., Petit L., Tissot AC., Lochon I., Dane J., Champion E. (2023). Démarche d'adaptation au changement climatique Natur'Adapt – Guide méthodologique d'élaboration d'un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité et d'un plan d'adaptation à l'échelle d'une aire protégée. *LIFE Natur'Adapt – Réserves Naturelles de France.* 70 p.

De Kort, H., Vandepitte, K., Bruun, H. H., Closset-Kopp, D., Honnay, O., & Mergeay, J. (2014). Landscape genomics and a common garden trial reveal adaptive differentiation to temperature across Europe in the tree species Alnus glutinosa. Molecular Ecology, 23(19), 4709-4721. https://doi.org/10.1111/mec.12813

DelSontro, T., Beaulieu, J. J., & Downing, J. A. (2019). Greenhouse gas emissions from lakes and impoundments : Upscaling in the face of global change. *Limnology and Oceanography Letters*, *3*(3), 64-75. https://doi.org/10.1002/lol2.10073

Dìaz, E., Korta, M., Chust, G., Ribalaygua, J., Pòrtoles, J., & Monjo, R. (2016). European Eel (Anguilla anguilla) Under Climate Change. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4349.0809

Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM) de Loire Atlantique. (2020). Synthèse missions d'expertise Lac de Grand-Lieu, mai-juin à octobre 2020.

Elliott, J. A., Jones, I. D., & Thackeray, S. J. (2006). Testing the Sensitivity of Phytoplankton Communities to Changes in Water Temperature and Nutrient Load, in a Temperate Lake. Hydrobiologia, 559(1), 401-411. https://doi.org/10.1007/s10750-005-1233-y

Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*) : An impossible bargain. *Ecological Engineering*, *18*(5), 575-591. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00021-6

Fox, A. D., Jónsson, J. E., Aarvak, T., Bregnballe, T., Christensen, T. K., Clausen, K. K., Clausen, P., Dalby, L., Holm, T. E., Pavón-Jordan, D., Laursen, K., Lehikoinen, A., Lorentsen, S.-H., Møller, A. P., Nordström, M., Öst, M., Söderquist, P., & Therkildsen, O. R. (2015). Current and Potential Threats to Nordic Duck Populations—A Horizon Scanning Exercise. Annales Zoologici Fennici, 52(4), 193-220. https://doi.org/10.5735/086.052.0404

Fox, A. D., Nielsen, R. D., & Petersen, I. K. (2019). Climate-change not only threatens bird populations but also challenges our ability to monitor them. *Ibis*, *161*(2), 467-474. https://doi.org/10.1111/ibi.12675

Gaffney, O., & Steffen, W. (2017). The Anthropocene equation. *The Anthropocene Review*. https://doi.org/10.1177/2053019616688022

Gaget, E., Galewski, T., Brommer, J. E., Le Viol, I., Jiguet, F., Baccetti, N., Langendoen, T., Molina, B., Moniz, F., Moussy, C., Zenatello, M., & Guillemain, M. (2023). Habitat management favouring hunted waterbird species prevents distribution changes in response to climate warming. *Animal Conservation*. https://doi.org/10.1111/acv.12872

Gmitrowicz-Iwan, J., Futa, B., Poręba, L., & Kawałko, D. (2025). From Carbon Sinks to Carbon Sources : A Regime Shift Induced by the Desiccation of Floodplain Lakes. *Water (Switzerland)*, *17*(24). https://doi.org/10.3390/w17243527

Groupe interdisciplinaire d'experts sur le changement climatique en Pays de la Loire (GIEC Pays de la Loire). (2022). 1e rapport.

Guillemain, M., Pöysä, H., Fox, A. D., Arzel, C., Dessborn, L., Ekroos, J., Gunnarsson, G., Holm, T. E., Christensen, T. K., Lehikoinen, A., Mitchell, C., Rintala, J., & Møller, A. P. (2013). Effects of climate change on European ducks : What do we know and what do we need to know? Wildlife Biology, 19(4), 404-419. https://doi.org/10.2981/12-118

Hudon, C., Gagnon, P., & Jean, M. (2005). Hydrological factors controlling the spread of common reed (Phragmites australis) in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Ecoscience*, *12*(3), 347-357. https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-3-347.1

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–35. https://doi.org/10.1017/9781009157964.001

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Summary for Policymakers. In: *IPCC, 2023 : Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J. E., Audet, J., Søndergaard, M., Hoffmann, C. C., Andersen, H. E., Lauridsen, T. L., Liboriussen, L., Larsen, S. E., Beklioglu, M., Meerhoff, M., Özen, A., & Özkan, K. (2011). Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe : Implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, *663*(1), 1-21. https://doi.org/10.1007/s10750-010-0547-6

Jeppesen, E., Mehner, T., Winfield, I. J., Kangur, K., Sarvala, J., Gerdeaux, D., Rask, M., Malmquist, H. J., Holmgren, K., Volta, P., Romo, S., Eckmann, R., Sandström, A., Blanco, S., Kangur, A., Stabo, H. R., Tarvainen, M., Ventela, A.-M., Sondergaard, M., … Meerhoff, M. (2012). Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia*, *694*(1), 1-39. https://doi.org/10.1007/s10750-012-1182-1

Joyce, C. B., Simpson, M., & Casanova, M. (2016). Future wet grasslands : Ecological implications of climate change. *Ecosystem Health and Sustainability*, *2*(9), e01240. https://doi.org/10.1002/ehs2.1240

Lehikoinen, A., Jaatinen, K., Vähätalo, A. V., Clausen, P., Crowe, O., Deceuninck, B., Hearn, R., Holt, C. A., Hornman, M., Keller, V., Nilsson, L., Langendoen, T., Tománková, I., Wahl, J., & Fox, A. D. (2013). Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common waterbird species. *Global Change Biology*, *19*(7), 2071-2081. https://doi.org/10.1111/gcb.12200

Lind, L., Eckstein, R. L., & Relyea, R. A. (2022). Direct and indirect effects of climate change on distribution and community composition of macrophytes in lentic systems. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *97*(4), 1677-1690. https://doi.org/10.1111/brv.12858

Madrid, A., Crémoux, R. D., Delaby, L., Larroque, H., Novak, S., & Vinet, A. (2025). L'élevage de ruminants s'adaptera-t-il au changement climatique ? Impacts et leviers d'adaptation. INRAE Productions Animales, 38(2), 9200-9200. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2025.38.2.9200

Maslin, M. (2016). Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature*. https://doi.org/10.1038/540208a

Merz, E., Saberski, E., Gilarranz, L. J., Isles, P. D. F., Sugihara, G., Berger, C., & Pomati, F. (2023). Disruption of ecological networks in lakes by climate change and nutrient fluctuations. Nature Climate Change, 13(4), 389-396. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01615-6

Oliveira, B. F., Bertrand, R., Pinsky, M. L., Casajus, N., Wolfe, B. W., Scheffers, B. R., Villalobos, F., Grenouillet, G., Pecl, G. T., Chen, I.-C., Baecher, J. A., Lawlor, J. A., Sunday, J., Murienne, J., Rolland, J., Thompson, L. M., Lancaster, L. T., Rubenstein, M. A., Moore, N. A., … Comte, L. (2026). Species range shifts often speed ahead of their modeled climatic niches. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *123*(14), e2515903123. https://doi.org/10.1073/pnas.2515903123

Paillisson, J.-M., & Chambon, R. (2021). Variation in male-built nest volume with nesting-support quality, colony, and egg production in whiskered terns. *Ecology and Evolution*, *11*(22), 15585-15600. https://doi.org/10.1002/ece3.8162

Paillisson, J.-M., Reeber, S., Carpentier, A., & Marion, L. (2006). Plant-water regime management in a wetland : Consequences for a floating vegetation-nesting bird, whiskered tern Chlidonias hybridus. In D. L. Hawksworth & A. T. Bull (Éds.), *Marine, Freshwater, and Wetlands Biodiversity Conservation* (p. 101-112). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5734-2_8

Pannard, A., Massé, S., Llopis, S., Leitao, M., Morata, S., Bouger, G., Gillier, J.-M., & Piscart, C. (2024). Rooted floating-leaf macrophytes structure the coexistence of different phytoplankton assemblages within a shallow lake. Hydrobiologia, 851(4), 915-939. https://doi.org/10.1007/s10750-023-05366-5

Rives & Eaux du Sud-Ouest. (2024). Etude H.M.U.C Grand-Lieu. Rapport Volet Climat pour le Syndicat Grand-Lieu Estuaire. https://www.sgle.fr/wp-content/uploads/2025/02/RAPPORT-PHASE-2-VOLET-CLIMAT-HMUC-GRAND-LIEU.pdf

Ramstein, G. (2017). Une brève histoire du climat de la Terre. *Reflets de la physique*, (55), 6-14. https://doi.org/10.1051/refdp/201755006

Reeber, S. (2026). *Les oiseaux du lac de Grand-Lieu. Inventaire actualisé, statut et conservation de l'avifaune du lac de Grand-Lieu. Rapport SNPN - RNN du lac de Grand-Lieu*. https://www.snpn.com/wp-content/uploads/2026/01/Inventaire-des-oiseaux-de-Grand-Lieu.pdf

Ruddiman, W. F. (2013). The Anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *41*, 45-68. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-123944

Robert, D. & Vigneron, T. (2017). Rapport d'étude du suivi pisciaire du lac de Grand-Lieu (44). *Agence Française pour la Biodiversité – délégation interrégionale Bretagne – Pays de la Loire*.

Scheffer, M., Hosper, S. H., Meijer, M.-L., Moss, B., & Jeppesen, E. (1993). Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology & Evolution*, *8*(8), 275-279. https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90254-M

Sganga, D. E., Dahlke, F. T., Sørensen, S. R., Butts, I. A. E., Tomkiewicz, J., Mazurais, D., Servili, A., Bertolini, F., Politis, S. N., Sørensen, S. R., Butts, I. A. E., Tomkiewicz, J., Mazurais, D., Servili, A., Bertolini, F., & Politis, S. N. (2022). CO2 induced seawater acidification impacts survival and development of European eel embryos. Plos One, 17(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267228

Tiebel, K., & Karge, A. (2026). Can we expect more from Alnus glutinosa (L.) Gaertn. In a changing climate? IForest, 19, 69-76. https://doi.org/10.3832/ifor4842-019

Tissot, L., & Souchon, Y. (2011). Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécologie Appliquée*, *17*, 17-76. https://doi.org/10.1051/hydro/2010004

UICN Comité français et OFB (2022). Espèces exotiques envahissantes et changements climatiques : quels impacts et conséquences pour la gestion ? Eclairage scientifique. *Centre de ressources espèces exotiques envahissantes et Réseau espèces exotiques envahissantes outre-mer. France*. 58 pages.

Vretare, V., Weisner, S. E. B., Strand, J. A., & Granéli, W. (2001). Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth. Aquatic Botany, 69(2), 127-145. DOI:10.1016/S0304-3770(01)00134-6

Wang, Y., Min, J., Li, Z., Cao, Y., Huang, L., & Chen, C. (2024). Influence of different flooding depth on wetland plant Phalaris arundinacea. *Journal of Freshwater Ecology*, *39*(1), 2429564. https://doi.org/10.1080/02705060.2024.2429564

Xu, W.-X., Bai, G.-L., Li, B.-N., Wu, Z.-B., & Zhang, Y. (2024). ADVANCES IN RESEARCHES ON CARBON STORAGE AND EMISSION OF SEDIMENT AND FACTORS IN SHALLOW LAKES. *Acta Hydrobiologica Sinica*, *48*(5), 878-888. https://doi.org/10.7541/2024.2023.0292

naturadapt.com

La **démarche Natur'Adapt** est issue du **projet LIFE Natur'Adapt** (2018 – 2023) qui visait à intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Coordonné par Réserves Naturelles de France, le projet s'est appuyé sur un processus d'apprentissage collectif sur 5 ans, autour de trois axes :

- L'élaboration d'outils et de méthodes opérationnels à destination des gestionnaires d'espaces naturels, notamment pour élaborer un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique et un plan d'adaptation ;
- Le développement et l'animation d'une communauté transdisciplinaire autour des espaces naturels et du changement climatique ;
- L'activation de tous les leviers (institutionnels, financiers, sensibilisation…) nécessaires pour la mise en œuvre concrète de l'adaptation.

Les différents outils et méthodes ont été expérimentés sur six réserves partenaires du projet, puis sur 15 autres sites et sont maintenant déployés aux échelles nationale et européenne.





ANNEXES

Fiches du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités

NATUR' ADAPT

Photos : JM Gillier, S Reeber et L Alcaraz



Annexes : fiches du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités

Les fiches de diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités des objets du lac de Grand-Lieu sont présentées dans l'ordre suivant :

1) Activité de pêche professionnelle (page 55)
2) Activité d'élevage et d'exploitation des marais (page 60)
3) Fréquentation du lac : tourisme de loisir et éducation à l'environnement (page 66)
4) Activité de chasse de loisir (page 71)
5) Anatidés hivernants (page 76)
6) Anguille européenne (page 81)
7) Grands échassiers nicheurs (page 88)
8) Guifette moustac (page 93)
9) Peuplement piscicole (page 98)
10) Herbiers aquatiques (page 103)
11) Roselières (page 109)
12) Ensemble saulaies-aulnaies (page 115)
13) Prairies inondables et marais (page 121)
14) Fonction de stockage de carbone (page 125)
15) Fonction d'épuration de l'eau (page 128)
16) Botulisme (page 132)
17) Peuplement de phytoplanctons et cyanobactéries (page 138)
18) Espèces exotiques envahissantes (page 144)

Pour chaque fiche sont présentés :

- **L'exposition de l'objet au changement climatique,** c'est-à-dire le niveau de modification environnementale subie par l'objet ;
- **La sensibilité de l'objet au changement climatique,** c'est-à-dire sa fragilité propre ;
- **La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique,** c'est-à-dire son aptitude à faire face ou à s'ajuster ;
- **Les facteurs extérieurs,** facteurs non climatiques qui peuvent aggraver ou atténuer la vulnérabilité de l'objet ;
- **La vulnérabilité face au changement climatique,** c'est-à-dire la combinaison de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique.

Un **niveau de confiance** est également précisé pour chaque critère :



Activité de pêche professionnelle



JM Gillier, filets de pêche (RNN Lac de Grand-Lieu)

Seule activité économique autorisée dans la RNN et sur le lac de Grand-Lieu, la pêche professionnelle est une activité ancestrale et patrimoniale. Autrefois bien plus importante en termes d'effectifs de pêcheurs, le lac comptait jusqu'à 120 pêcheurs à la fin du 19ème siècle. La pêche professionnelle à Grand-Lieu est ainsi inscrite à l'inventaire du patrimoine culturel immatériel de France (Boisseleau *et al.*, 2017).

Actuellement, **sept « artisans-pêcheurs »** pratiquent leur activité sur le lac de Grand-Lieu au sein de la **Société coopérative des pêcheurs professionnels du lac de Grand-Lieu**, dont cinq exerçant la totalité de leur activité sur le lac. Pour les autres, l'activité sur le lac occupe 80% de leur temps de travail et leur fournit 60% de leur revenu.

La pêche à Grand-Lieu cible principalement **l'Anguille européenne**, l'activité se déroulant sur le lac du 1er avril au 31 août pour la pêche à l'anguille jaune et du 1er octobre au 15 janvier pour la pêche à l'anguille argentée. Le **Brochet** est aussi exploité par les pêcheurs, de même que certains **poissons blancs** (Sandre, Carpe, Brème ou encore Carassin récemment) plus difficilement commercialisables. La pêche à **l'Ecrevisse de Louisiane** (espèce exotique envahissante) est devenue une nouvelle source de revenue.

Le site du lac de Grand-Lieu comporte certaines particularités pouvant compliquer la pratique de la pêche. Le lac est très peu profond avec une **faible hauteur d'eau**, à laquelle les pêcheurs se sont adaptés par l'utilisation de **filets verveux**. Sur certains secteurs sont présentes d'importantes zones de vase. Les conditions deviennent rapidement défavorables aux poissons en fin d'été avec **beaucoup de matière en suspension** provoquant une diminution ou un manque d'oxygène.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Les impacts indirects du changement climatique semblent avoir été plus importants que le changement climatique lui-même sur l'activité et le peuplement piscicole.

La **qualité de l'eau s'est fortement dégradée** avec beaucoup de matière organique en suspension, les **apports plus rapides de l'eau du bassin versant** lors des pluies y ont contribué. Les **espèces exotiques envahissantes** ont participé aussi à la dégradation du milieu, accélérant la perte de végétation palustre et aquatique. Ces espèces exotiques se sont implantées grâce aux hivers de plus en plus doux.

Le peuplement piscicole du lac a évolué d'un assemblage typique des lacs de plaine végétalisés en eaux peu turbides (perche-brochet-rotengle) vers un **assemblage de lac eutrophisé** (brème-sandre-carpe-gremille) (Robert & Vigneron, 2017). Il y a alors aujourd'hui un fort ratio d'omnivores et d'espèces résistantes aux pollutions organiques, illustrant un déséquilibre trophique. En 2025, les trois espèces dominantes étaient le Gardon, la Brème commune et la Brème bordelière, représentant près de 80% de la biomasse totale (Lespannier & Mirey, 2026).

Selon les prises des pêcheurs, tandis que la population de **carassins** a fortement augmenté depuis la dernière décennie dans le lac, le **Gardon** a régressé, possiblement à cause de la hausse des températures impactant les alevins. Les pêcheurs n'ont pas constaté de baisse dans la **population d'anguilles**, et ils constatent un assez bon recrutement naturel des civelles si la gestion du niveau d'eau est correcte. Enfin, avec l'arrivée de **l'Ecrevisse de Louisiane** Grand-Lieu, les pêcheurs se sont adaptés à cette nouvelle

ressource, qui semble cependant très variable et cyclique : après un gros pic de présence, la population diminue fortement puis repart à la hausse quelques temps après. La peste de l'écrevisse ne permet pas d'expliquer ces fluctuations, cette espèce étant porteuse saine.

L'activité elle-même a évolué en conséquence : la forte variabilité de l'écrevisse rend le **marché de cette espèce instable** pour les pêcheurs, qui en proposent beaucoup une année, puis ne réussissent pas à satisfaire la demande l'année suivante. Cela illustre aussi leur adaptation à l'évolution des espèces, vendant et valorisant tout ce qu'ils peuvent. Durant l'été, les pêcheurs ont maintenant besoin de **relever plus souvent les filets** pour que les poissons n'y meurent pas, à cause du manque d'oxygène dû aux fortes températures. L'activité tend également à **s'arrêter plus tôt** dans la saison (mi-août) à cause de conditions estivales toujours plus extrêmes. Le travail devient alors de plus en plus compliqué physiquement et techniquement.

L'épisode caniculaire de juin 2026, avec **4 jours à plus de 40°C**, a provoqué une mortalité de poissons sans précédent : des centaines de poissons morts dans les verveux et flottants à la surface, majoritairement des gros brochets. Des gros sandres ainsi que des perches (petites et grosses) sont également mortes. Même des poissons-chats ont été vu en souffrance, s'agitant sous la surface de l'eau, avec une température maximale de l'eau enregistrée à 36°C.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

La sensibilité de l'activité au changement climatique dépend de la **sensibilité des espèces pêchées et de leur dynamique future**.

Il est évoqué que les populations de gardons et de brochets risquent de **diminuer à cause du manque d'oxygène**, provoqué par les fortes chaleurs et à l'augmentation de la turbidité de l'eau. Bien que les quotas de civelles aient été atteints en une quinzaine de jours en 2025 par les pêcheurs sur la Loire, il n'est pas sûr que l'Anguille continue à se porter aussi bien dans le futur. Malgré sa plasticité en termes de températures et de concentrations en oxygène, elle est **fortement sensible à l'anoxie du milieu**, et les **populations sont fragilisées** par les pollutions, le braconnage et les obstacles à la migration (ouvrages hydrauliques).

Les différentes espèces ont également des **limites de tolérance thermique**, qui risquent d'être plus souvent atteintes voire dépassées dans les années futures : 31°C pour le Brochet, 33°C pour la Perche, 35°C pour la Brème et le Sandre (Tissot & Souchon, 2011).

En été, avec de fortes températures, des taux d'oxygène très bas et des poissons très affaiblis, les pêcheurs risquent dans le futur de **ne plus pouvoir pratiquer leur activité durant cette saison** à Grand-Lieu.

Les pêcheurs expriment la peur et le risque que « **le système craque d'un coup** ». Avec des conditions estivales encore plus défavorables dans le futur (absence de vent, forte température, anoxie du milieu, excitation des poissons), ils estiment que 80% des poissons pourraient mourir en un été. La question est posée de la résilience de l'écosystème à la suite d'un évènement comme celui-ci.

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

Face au changement climatique, l'activité de pêche sera particulièrement exposée à **l'intensification attendue des pluies** et à **l'augmentation des températures**.

Avec l'intensification des pluies hivernales et des épisodes orageux, le **lessivage des sols** plus important amènera davantage de polluants et de nutriments au lac. Les **stations d'épuration des eaux** sont évoquées comme un réel souci car risqueraient de déborder davantage si elles ne sont pas adaptées à ces futures précipitations. La mauvaise qualité de l'eau et l'eutrophisation seraient donc renforcées.

En été, il est prévu une hausse de **2,2°C** en moyenne vers 2055, et même de **4,1°C** vers 2085, accompagnée de **vagues de chaleur plus intenses, fréquentes et longues**. Les très fortes chaleurs sont et seront de plus en plus précoces.

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

L'activité de pêche à Grand-Lieu semble **très difficilement adaptable au changement climatique**, au-delà de la **valorisation de toutes les espèces pêchées.** A nouveau, cette activité dépend entièrement du bon état du milieu et des espèces piscicoles.

Le peuplement piscicole du lac pourrait se renforcer vers un système de lac très eutrophe avec, à terme, une sur-dominance des **poissons omnivores, tolérants et résistants aux pollutions** qui seraient les mieux adaptés à ces conditions. La biodiversité piscicole en serait alors appauvrie. L'adaptation et les conséquences possibles pour l'activité de pêche de cette évolution ne sont pas identifiées.

Les pêcheurs confient **ne pas avoir de visibilité** au-delà de 2 ans concernant leur activité et son maintien. Il est alors difficile pour eux de se projeter. Si la population d'anguilles venait à chuter davantage provoquant une interdiction de la pêche de cette espèce sur le lac à Grand-Lieu dans le futur, l'activité **cesserait alors totalement**.

Niveau de confiance : 

nulle | **faible** | moyenne | forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Plusieurs facteurs extérieurs sont évoqués par les pêcheurs, comme étant des freins à l'adaptation et à la projection dans le futur :

- L'état du milieu et donc des espèces est **dégradé par la pollution de l'eau,** liée aux effluents agricoles et domestiques qui arrivent dans le lac et qui ont modifié sa trophie. Les **espèces exotiques envahissantes** du lac, dont l'Ecrevisse de Louisiane, jouent aussi un rôle majeur dans cette dégradation, profitant justement d'un écosystème en mauvais état pour s'installer.
- Les **contraintes réglementaires** qui interdisent de déplacer (et donc de vendre) l'Ecrevisse de Louisiane hors des limites du département.

- Les **contraintes réglementaires** sur l'Anguille à l'échelle européenne, qui semblent manquer de cohérence entre les pays de l'UE concernant les quotas de pêche et les réglementations. Les pêcheurs estiment qu'il y a un fort déséquilibre entre certains pays (« laxistes ») et la France, qui respecte les règles contraignantes.
- La **gestion du niveau**, qui est parfois subie et impacte la possibilité d'aller sur l'eau.
- La **difficulté des jeunes pêcheurs à se projeter** dans l'activité à Grand-Lieu, en raison des restrictions réglementaires contraignantes et des moyens financiers.

Enfin, les pêcheurs soulignent tout de même **l'efficacité de la réglementation** des réserves sur l'absence de déchets et de braconnage à la civelle sur le lac.

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

La pêche professionnelle sur le lac de Grand-Lieu est **totalement dépendante de la bonne santé du milieu et des espèces**. Avec des températures en forte hausse en été et des pluies plus intenses, l'eutrophisation du lac risque bien de persister et de s'empirer, fragilisant le peuplement piscicole.

Le maintien du plutôt bon état de la **population d'anguilles au lac de Grand-Lieu** n'est pas si certaine sur le moyen et long terme, rendant encore plus incertain le futur de l'activité. La **guilde des poisons blancs**, omnivores et résistants aux pollutions, risquent de surdominer le peuplement piscicole.

Etant une activité seulement de « récolte », sans pouvoir de gestion, **l'adaptation est très limitée** et les pêcheurs n'ont **pas de visibilité** pour estimer l'adaptation de l'activité.

Vulnérabilité

nulle | faible | **moyenne** | forte | **très forte**

Quelles pistes d'adaptation ?

Les pistes d'adaptation proposées restent peu nombreuses, reflétant cette difficulté de projection dans le futur, même à moyen terme. Les mesures citées visent ainsi à rétablir le bon état écologique du milieu mais ne sont pas réalisables à l'échelle des gestionnaires du lac de Grand-Lieu seuls :

- **Retrouver une bonne qualité d'eau**, en réduisant l'arrivée des pollutions. Par exemple en renouvelant les stations d'épuration et branchements des tout-à-l'égout, pour empêcher les débordements ou fuites.
- **Simplifier ou adapter les démarches administratives**, afin que les pêcheurs puissent commercialiser l'Ecrevisse de Louisiane en dehors du département.
- **Résoudre le problème du ragondin**, par des moyens financiers et une volonté politique pour mettre davantage de pression sur l'espèce, sachant que l'éradication du ragondin reste assez utopiste aujourd'hui.

En réponse à l'épisode de très forte mortalité de poissons dans les verveux en juin 2026 à cause de la canicule, les pêcheurs pourraient **adapter leurs relevés de filets durant ces épisodes extrêmes**. Le relevé des verveux pourrait se faire plus souvent pour ne pas laisser les poissons trop longtemps, sachant qu'ils meurent rapidement dans ces conditions. Les verveux pourraient même être **condamnés le temps de l'épisode caniculaire**.

Sources :

En complément des informations récoltées lors de l'atelier avec les pêcheurs du lac de Grand-Lieu (07/04/26) :

Boisseleau, P., Linard, A., Pacreau, F. (2017). Pratiques et savoir-faire des pêcheurs du lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique). *Fiche d'inventaire du patrimoine culturel immatériel.* N° de fiche : 2017_67717_INV_PCI_FRANCE_00386

Lespannier, V. & Mirey, M. (2026). Programme de surveillance des plans d'eau : échantillonnage de l'ichtyofaune. Lot 3 : Bretagne, Pays de la Loire et Centre-Val-de-Loire. Lac de Grand-Lieu (44) -28 au 31 juillet 2025. *Rapport d'étude, Office Français de la Biodiversité et Aquascop*.

Robert, D. & Vigneron, T. (2017). Rapport d'étude du suivi pisciaire du lac de Grand-Lieu (44). *Agence Française pour la Biodiversité – délégation interrégionale Bretagne – Pays de la Loire*.

Tissot, L., & Souchon, Y. (2011). Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécologie Appliquée*, *17*, 17-76. https://doi.org/10.1051/hydro/2010004



Activité d'élevage et d'exploitation des marais

S Reeber, vaches en pâture (RNN Lac de Grand-Lieu)

L'exploitation des marais est une activité économique et professionnelle à Grand-Lieu, sur **1600 ha de marais** autour du lac. Les marais ont principalement des faciès de prairies naturelles inondables, entretenues par des exploitants agricoles en élevage de bovins majoritairement.

En **site Natura 2000 avec 90% des parcelles contractualisées** par au moins une mesure agroenvironnementale et climatique (MAEC, ~1 million d'euros de subventions sur 5 ans à Grand-Lieu), les marais servent de **prairies de fauche et de pâturage**. Mais l'accessibilité aux parcelles est conditionnée par le **niveau d'eau** et donc par les dates d'exondation et d'inondation. Le pâturage se fait alors en général de la fin du printemps à l'automne, entre 3 et 6 mois selon les années, et nécessite une bonne portance des sols.

Cependant, **les marais perdent fortement en qualité fourragère et en rendement** pour les agriculteurs, à cause de la forte compétitivité de la jussie, des intempéries et donc du niveau de l'eau. Il y a alors un risque que les marais soient délaissés et abandonnés dans le futur. L'activité était autrefois bien plus importante qu'aujourd'hui. Actuellement, **seulement un quart des fermes sont reprises** après un départ, les autres parcelles sont cédées à des agriculteurs déjà en activité, induisant une augmentation de la taille des exploitations et un déclin général de l'activité à Grand-Lieu.

En outre, l'activité permet **le maintien de la biodiversité** sur le territoire, en maintenant **des milieux ouverts** complémentaires des autres types de milieu et une diversité végétale. Les marais font partie intégrante du paysage du lac et servent de garde-manger lors du gagnage des anatidés hivernants notamment.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

L'intensification des évènements climatiques avec les fortes chaleurs, les fortes pluies, les inondations ou les sécheresses perturbent grandement l'activité, qui est **entièrement dépendante des conditions météorologiques**.

Les fortes chaleurs sont **parfois difficilement supportables pour les animaux au pré** et peuvent même **assécher les douves** (comme en 2025). Les évènements météorologiques extrêmes et imprévisibles **s'enchaînent de plus en plus**, et **le niveau de l'eau dans les marais monte beaucoup plus rapidement** à cause des pluies plus intenses. En 2024, année très humide, certaines parcelles n'avaient pas pu être fauchées à cause des conditions de pluviométrie. Il a été remarqué que **ces dernières ont bien mieux repris en 2025 que les parcelles qui avaient été fauchées**.

Avec le changement climatique en cours et des niveaux d'eau favorables, les **espèces exotiques envahissantes (EEE)** comme la Jussie, le Ragondin et l'Ecrevisse de Louisiane se sont durablement installées. Les conséquences sur les marais sont multiples, mais **la jussie** est celle qui a le plus fort des impacts et elle continue de prendre de l'ampleur. Depuis son arrivée sur les marais il y a 15-20 ans, elle concurrence fortement la flore prairiale, bien modifiée et appauvrie, en donnant des étendues monospécifiques. Il est relevé la disparition de la "rouche" (Grande glycérie) qui était une très bonne fourragère (la question était cependant de la limiter à l'époque). **Les ragondins** et **rats musqués** dégradent les berges et les douves et **l'écrevisse de Louisiane** renforce la jussie en la bouturant.

La question d'**un problème sanitaire au niveau des marais** est posée, problème souvent reconnu des milieux humides : il a été constaté de nombreux **avortements et infections urinaires à répétition de génisses passées par le marais**. **Le développement de parasitisme et maladies vectorielles** est reconnu, comme la fièvre catarrhale ovine (FCO, pouvant aussi toucher les bovins), la maladie hémorragique épizootique (MHE), la diarrhée virale bovine (BVD), la fièvre nodulaire ou la leptospirose. **La qualité de l'eau pourrait être remise en cause**, avec notamment le développement de cyanobactéries dû à l'eutrophisation.

Les marais sont ainsi devenus des **sites d'exploitation secondaires**, sortant du système d'exploitation principal pour beaucoup d'agriculteurs.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Les vaches au pré seront impactées avec des risques de stress de chaleur induisant une réduction de l'ingestion et de la rumination, une diminution de la production laitière (en quantité et qualité) et de la prise de poids des vaches. Une baisse des performances de reproduction pourrait aussi avoir lieu avec des différences selon les races (la race Holstein étant plus sensible que les races Montbéliarde et Normande au stress de chaleur) (Madrid *et al.*, 2025 ; Vallée *et al.*, 2021). Leur santé serait aussi impactée par une **prévalence plus importante de pathologies et pathogènes** (Madrid *et al.*, 2025).

D'autre part, les fortes précipitations et l'intensification des pluies prévues risquent de faire monter le niveau de l'eau encore plus rapidement, **rendant l'activité sur les marais plus dure à anticiper** et **fragilisant les pousses de végétation** (DDTM, 2020), à nouveau au profit de la jussie. Les précipitations déterminent **le niveau d'eau** et donc les dates d'exondation au printemps, et d'inondation à l'automne-hiver. Ce niveau d'eau conditionne l'accès aux parcelles, mais aussi la reprise de la végétation au "bon moment" (jussie ou fond prairial).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

L'activité est et restera **soumise aux conditions météorologiques et aux évènements climatiques**, surtout dans un contexte de changement climatique.

Les évènements de chaleur extrêmes seront plus importants, avec **un mois en vague de chaleur** d'ci 2055, et même **deux mois** d'ici 2085. La longueur des **périodes de sécheresse** sera rallongée, en été-automne puis même dès le printemps à long terme.

Les précipitations augmenteront en hiver de **+10% à +17%** et diminueront en été, de **-14% à -23%.** Elles pourraient s'intensifier en hiver. La **perte en eau** de l'écosystème sera très importante, avec une évapotranspiration totale qui pourra dépasser les précipitations totales de l'année.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

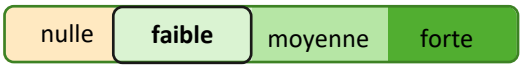
L'activité d'élevage et d'exploitation des marais pourrait **adapter ses pratiques et dates d'exploitation** pour fragiliser et concurrencer la jussie ou pour s'adapter au niveau de l'eau. Par exemple, la fauche tardive suivi du pâturage sur regain ou le paddock serré sur sol portant seraient des pratiques permettant de forcer les troupeaux à consommer la jussie. Mais ces changements de pratiques nécessiteront un **accompagnement financier**, avec notamment la conservation des MAEC (particulièrement la mesure "Jussie", MHU3), sans lesquelles il risque d'y avoir une **désertion** des marais de Grand-Lieu par les agriculteurs. Changer les races d'animaux au pâturage ou même les types de cheptel pour des élevages plus résilients **ne semble pas faisable à Grand-Lieu**, à cause des contraintes économiques et techniques pour les agriculteurs.

Avec les nouvelles conditions climatiques, la flore des marais risquerait de **changer**, mais aussi de **se dégrader**. La **rentabilité fourragère** pourrait diminuer davantage, nécessitant plus d'affourragement apporté par les éleveurs. Cette pratique pourrait finalement revenir moins cher que l'exploitation directe des marais. Un **meilleur entretien des réseaux principaux** par curage permettrait aussi de mieux laisser s'écouler l'eau lors des fortes crues.

Les marais pourraient tout de même rester intéressants, car ils jouent un **rôle d'éponge** lors des crues et fortes pluies. Ils auront aussi l'avantage d'avoir encore **de l'eau dans leur sol** lors des années particulièrement chaudes et sèches par rapport aux parcelles hors zone humide.

Mais globalement, les exploitants ont confié qu'il était **difficile de se projeter**, en anticipant une diminution de l'intérêt de l'exploitation des marais si l'activité agricole et les cheptels (en taille et nombre d'élevages) se réduisent. Une solution ultime d'adaptation en tant qu'exploitants serait de **se retirer sur de nouvelles parcelles hors des marais**.

Niveau de confiance : 



Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

La Jussie, bien installée, **persistera dans le milieu**, avec l'hypothèse qu'une accumulation progressive de sa biomasse et de sa matière organique entraîne, à (très) long terme, un rehaussement du niveau du marais. Ce processus, pas encore étudié, pourrait alors limiter la fréquence ou l'intensité des épisodes d'inondation sur les parcelles, réduisant indirectement les conditions favorables à l'installation et au maintien de la jussie. Cependant, de nouvelles plantes invasives comme la **Crassule de Helms** (originaire d'Océanie, déjà présente en Pays de la Loire) risquerait entre temps d'arriver sur les marais.

Les **autres EEE** (ragondins, rats musqués, écrevisses) seront favorisés par des hivers de plus en plus doux et risquent de maintenir un état dégradé des marais.

Le renouvellement très faible des agriculteurs, la rémunération, le marché et les aides financières allouées aux exploitants sont encore d'autres facteurs qui pourraient réduire le nombre d'agriculteurs sur les marais de Grand-Lieu. En effet, la MAEC "Jussie" ne sera pas renouvelée lors de la prochaine PAC et le de fortes incertitudes planent sur le renouvellement des autres aides, impactant la motivation et même la possibilité d'exploiter les parcelles pour les agriculteurs. Il s'agirait là d'un **problème à court terme**, dès 2027-2028.

La qualité d'eau qui arrive du bassin versant ainsi que la présence de **déchets** (volontaires ou involontaires) accentuent la dégradation des marais. De l'**incivisme** est également constaté par la

fréquentation : déchets laissés, ouverture de clôtures, passages de motos et quads, perturbation des vaches, chiens en divagation...

Enfin, certaines décisions importantes liées à l'activité de chasse peuvent être subies par les exploitants, notamment en ce qui concerne **le niveau d'eau,** pourtant déterminant pour l'exploitation des marais.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Activité **entièrement dépendante du niveau de l'eau et du bon état de la flore**, la pratique de l'élevage sur les marais du lac de Grand-Lieu sera fortement exposée et sensible au changement climatique à venir.

Les précipitations futures entraîneront plus de lessivage et un niveau d'eau qui monte plus vite. A l'inverse, des sécheresses plus prononcées en été et des températures en hausse augmenteront la sensibilité des marais, en favorisant d'une part les EEE (dont la Jussie) et en impactant les animaux au pré.

La **jussie** est devenue le facteur principal du changement des prairies à Grand-Lieu, entraînant un état dégradé des marais qui rebute les agriculteurs à exploiter leurs parcelles, la jussie diminuant drastiquement la qualité fourragère.

L'exploitation des marais étant devenue très imprévisible d'une année sur l'autre, elle nécessite également le **maintien d'aides financières** comme les MAEC, motivant les agriculteurs à continuer l'exploitation de leurs parcelles. La capacité d'adaptation de l'activité face au changement climatique **reste très limitée** à cause du manque de moyens. **L'accompagnement est alors plus que nécessaire** pour orienter les pratiques des exploitants vers plus de résilience dans les marais de Grand-Lieu.

Vulnérabilité

nulle	faible	moyenne	forte	**très forte**

Quelles pistes d'adaptation ?

- Pour lutter contre la jussie, il a été constaté que **les roselières sont une bonne barrière à la progression de cette EEE**. Un programme de restauration des roselières serait un moyen indirect de limiter sa progression.
- **Les prairies fauchées tardivement avec une repousse de *Carex*** permettent aussi de contrer la Jussie, sur certaines parcelles. **La Chambre d'Agriculture souhaite travailler avec les exploitants** pour faire le lien des observations de dynamiques des végétaux avec les pratiques agricoles afin de pouvoir adapter les pratiques, au travers du programme CLIMATVEG 2.
- **Le mode d'organisation et d'exploitation en "communs"** serait à explorer davantage : les collectivités accompagnent les exploitants, mais gèrent administrativement les parcelles en étant les propriétaires. Elles reçoivent les aides financières et les redistribuent aux exploitants des communs. Ce système pourrait faciliter le quotidien des agriculteurs, permettrait de mieux faire

respecter la réglementation, et servirait d'argumentaire pour préserver les aides (si les aides financières ne suivent pas, les exploitants ne voudront plus rester et ce sont aussi les communes qui en pâtiront).

- **Le développement de nouvelles filières de valorisation de la jussie** permettrait aux agriculteurs de limiter leurs pertes financières. Une filière auprès des maraîchers existe déjà et pourrait être plus développée (jussie utilisée en paillage).

Focus Jussie et fond prairial : observations de la dynamique (CLIMATVEG)

La **Jussie** (*Ludwigia sp.*) s'est durablement installée dans les marais de Grand-Lieu, en passant de la phase aquatique à la phase terrestre il y a une vingtaine d'années. Un suivi par la Chambre d'Agriculture Régionale a permis de faire les constats suivants (S. Logerais, comm. pers.) :

- **Au printemps, la jussie croît très fortement**, avec une forte concurrence sur le fond prairial (notamment Scirpe *Eleocharis palustris* et Agrostides *Agrostis stolonifera - A. canina*).
- **La période de stress hydrique pour la jussie a lieu en été-automne**, durant laquelle elle semble affaiblie.
- **En fin de saison (octobre), il y a une reprise générale du fond prairial**, notamment après la fauche au profit de la molinie (*Molinia caerulea*, qui arrive à concurrencer la jussie sur certaines parcelles), des agrostides et des laîches (*Carex disticha, C. leporina, C. lasiocarpa*). Si le scirpe arrive à pousser en juillet dans les densités de jussie importantes, il permet ensuite de favoriser la pousse des agrostides.
- **Avec le début de l'hiver et l'arrivée du froid, une fenêtre semble possible pour concurrencer la jussie**, afin de préparer la saison suivante. En effet, cette concurrence doit être en place pour la période de sortie de l'eau suivante, car la jussie est la première à recoloniser des trouées ou de la terre nue.


JM Gillier, jussie (RNN Lac de Grand-Lieu)


JM Gillier, parcelle envahie de jussie (RNN Lac de Grand-Lieu)

Sources :

En complément des informations récoltées lors de l'atelier du comité consultatif du 13/03/26 et des ateliers avec les exploitants des marais de Grand-Lieu (1 et 3/04/26) :

Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM). (2020). Synthèse missions d'expertise Lac de Grand-Lieu, mai-juin à octobre 2020.

Madrid, A., Crémoux, R. D., Delaby, L., Larroque, H., Novak, S., & Vinet, A. (2025). L'élevage de ruminants s'adaptera-t-il au changement climatique ? Impacts et leviers d'adaptation. INRAE Productions Animales, 38(2), 9200-9200. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2025.38.2.9200

Vallée, R. (2021). Impacts du stress thermique sur les vaches laitières - Revue de littérature. Institut de l'Elevage. CNIEL. 12 p.



C. Priot, animation (RNN Lac de Grand-Lieu)

La fréquentation du lac de Grand-Lieu est caractérisée d'une part par le **tourisme de loisir,** pratiqué par des touristes (venant d'un autre département que le 44) et des excursionnistes (venant du 44). D'autre part, l'**éducation à l'environnement** caractérise aussi la fréquentation du lac. En effet, la riche biodiversité du lac, notamment ornithologique, attire beaucoup et a participé à la renommée du site. Du fait de la faible profondeur du lac ou de la forte protection du site, de nombreuses activités sont dépendantes de la saisonnalité, selon le niveau d'eau et la période de nidification.

Le lien des usagers et des touristes avec le lac est particulier : défini par une méconnaissance mais aussi une curiosité envers le site, ils peuvent être déçus de ne finalement pas voir le lac (selon la saison) et de ne pas accéder à l'eau, à cause de la réglementation. L'accès payant à certains points d'observation (Maison du lac de Grand-Lieu par exemple) peut amener de l'incompréhension. Il existe alors un fort besoin d'accompagnement des visiteurs.

Le tourisme de loisir a lieu principalement en été, mais reste météo-dépendant. De **nombreuses activités sont possibles autour du lac** : tourisme ornithologique, tourisme patrimonial (culturel, religieux, oral), visite de la Maison des pêcheurs, de l'Abbatiale, de la Maison du Lac de Grand-Lieu, de l'observatoire ornithologique, canoë-kayak, paddle… Des randonnées pédestres ou à vélo, de même que des balades, sont possibles sur des circuits tout autour du lac. Les Hébergeurs de Grand-Lieu proposent des hébergements autour du site, et des guinguettes et évènements (Fête des pêcheurs, Festifolies, Rives en fête, Fête de Pierre Aiguë, Ô Fil de l'Ognon…) attirent du monde chaque année. En plus, l'agrotourisme s'est développé, avec des balades en ânes (PayZ'Ânes) et des éleveurs dans les marais qui organisent des évènements et des ventes directes.

Pour sa part, l'éducation à l'environnement est une activité fondamentale, qui permet d'apporter de **l'information et des éléments de compréhension** pour les locaux ou les visiteurs tout au long de l'année. Activité de la Maison du lac de Grand-Lieu, du CPIE ou encore de la SNPN, elle permet la **sensibilisation** du public à la protection du site, et des zones humides et de la biodiversité en général. Elle est également importante pour **l'ancrage territorial** des aires protégées.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

La fréquentation autour du lac a diminué en 2025, surtout auprès des touristes (Prost, 2025) : -12% de fréquentation touristique par rapport à 2024, -8% de fréquentation excursionniste (baisse plus importante en été et fin de saison). Cette baisse peut être expliquée en partie par l'épisode de botulisme ainsi que les très faibles niveaux d'eau et les fortes chaleurs. Notamment à Pont-Saint-Martin, il a été observé une baisse significative de l'utilisation des canoës, et les vélos de la ville ne sont que peu utilisés.

Les épisodes de botulisme et les blooms de cyanobactéries impactent en effet l'envie de venir au lac, accentuée par une forte médiation de ces évènements par la presse. Ils provoquent des inquiétudes concernant la santé, amplifiées par l'odeur provoquée par les blooms de cyanobactéries en plein été. A cause de la présence de certaines bactéries libérant des microcystines, molécules toxiques, certaines activités nautiques ont déjà été arrêtées temporairement, comme la Halte nature à Pont-Saint-Martin, qui peut également être fermée à cause d'un niveau d'eau trop bas pour les canoës en été.

A l'inverse, des **niveaux d'eau très hauts en hiver à cause de fortes pluies**, comme lors des inondations de janvier 2026, ont empêché l'accès au site, avec des routes barrées, des pontons et la passerelle de la Maison du Lac sous l'eau.

Les fortes chaleurs et canicules réduisent aussi fortement la fréquentation autour du lac : les gens restent plutôt chez eux ou se redirigent vers des sites plus frais. Pour l'éducation à l'environnement, il est même évoqué un problème de sécurité obligeant la réduction de la durée des visites guidées, ou l'adaptation des horaires d'activités ou de visites.

Enfin, une **homogénéisation ou simplification des marais et des milieux en général** a été observé, avec une perte de biodiversité et l'expansion de la Jussie. Notamment, la diminution des insectes a été constaté lors de sorties natures nocturnes dans les marais, les filets n'étant pas ou peu utilisés, ce qui peut faire baisser le nombre de personnes participant à ces sorties.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

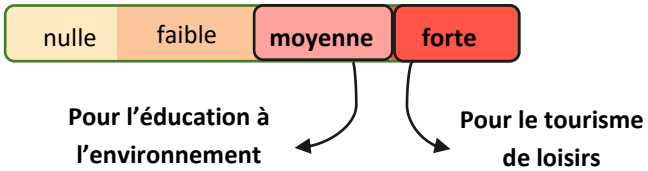
Les activités de fréquentation du site sont sensibles aux évènements extrêmes, car des **restrictions** de certaines activités peuvent avoir lieu selon les conditions climatiques. Les activités nautiques encadrées pourraient être automatiquement fermées en été. La fréquentation globale du site sera limitée à cause des canicules, mais également avec des inondations plus importantes en hiver.

La fréquentation du lac de Grand-Lieu est aussi **très liée à l'observation ornithologique**, par la richesse de l'avifaune du site. Les évolutions climatiques feront changer les aires de répartition des espèces, et la dégradation de leurs habitats pourrait réduire les effectifs d'oiseaux visibles sur le site.

En parallèle, l'évolution des paramètres climatiques en été (augmentation des températures, fortes chaleurs) risqueraient de provoquer l'augmentation des **incivilités et du non-respect de la réglementation**. En effet, la volonté d'accès à l'eau pour se baigner pourrait augmenter, et poserait des problèmes de santé liés à la qualité de l'eau et aux cyanobactéries.

Spécifiquement pour l'éducation à l'environnement, le changement climatique pourrait faire **monter et accentuer des conflits entre les usagers du site**. Avec par exemple la diminution du Fuligule milouin (qui est encore chassable), l'Anguille européenne pêchée mais qui est en danger critique d'extinction, ou encore le consensus compliqué sur la gestion du niveau d'eau, les acteurs de l'éducation à l'environnement craignent qu'il y ait une **dissonance** dans leurs discours entre la volonté de consensus et les limites de celui-ci face au changement climatique futur. Ils ne pourraient plus appuyer certaines choses, et il se pose finalement la question de devoir dénoncer dans le futur certains sujets comme l'exploitation d'espèces menacées.

Niveau de confiance : 



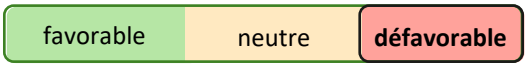
L'exposition de l'objet au changement climatique

Les **évènements chauds seront intensifiés** dans le futur : avec le scénario RCP8.5, il est prévu une hausse de 2,5 (2055) ou de 8,5 jours (2085) à plus de 35°C, et un allongement des vagues de chaleur de 23 jours

(2055) ou de 58 jours (2085) en plus. Les vagues de chaleur seront aussi plus fréquentes et plus intenses, atteignant des températures plus élevées.

Les **précipitations risquent de s'intensifier**, notamment en hiver, saison durant laquelle on risque de connaitre des excédents de pluie de +10% (2055) à +17% (2085).

Niveau de confiance : 

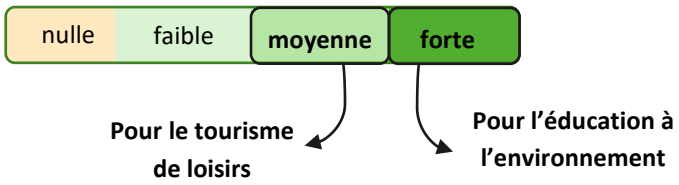


La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Les activités de la fréquentation du lac de Grand-Lieu ont des capacités d'adaptation différentes face au changement climatique :

- **Le tourisme de loisir** pourrait être ajusté par la restructuration des sentiers et tracés pour les balades, face aux inondations hivernales faisant fortement monter le niveau du lac. Ces inondations hivernales pourraient cependant faire apparaitre un tourisme de crues autour du lac. Face aux vagues de chaleur et canicules, le tourisme pourrait être redirigé vers des sites bâtis patrimoniaux par exemple. Les « Fenêtres sur le lac » pourraient attirer plus de monde, mais devront aussi être adaptées aux fortes chaleurs, en favorisant l'ombrage et en assurant un point d'accès à l'eau potable.
- **L'éducation à l'environnement** pourrait quant à elle être ajustée dans les horaires des animations et des visites pour éviter les horaires les plus chauds en été. L'ajustement pourrait aussi jouer sur les dates et lieux d'animation dans le cadre de crues importantes ou de forte exposition au soleil, ou sur les thèmes des sorties. Le changement climatique pourrait être davantage évoqué, au travers de ses impacts et des possibilités d'adaptation et d'atténuation. L'éducation à l'environnement semble même alors posséder une forte opportunité de sensibilisation dans le contexte du changement climatique.

Niveau de confiance : 



Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Les évènements climatiques extrêmes provoqueront plus d'épisodes **de blooms de cyanobactéries ou de botulisme**, toujours très médiatisés. **L'emballement médiatique** autour de ces évènements inquiétants peut décourager le grand public à venir autour du lac. Avec l'enchainement de plusieurs épisodes comme ceux-ci ou de mauvaises saisons, le territoire pourrait obtenir une « mauvaise réputation » faisant alors baisser la fréquentation du site.

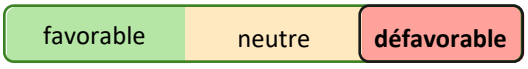
Les financements publics dont dépendent les acteurs du tourisme ou de l'éducation à l'environnement pour organiser leurs sorties, animations ou pour financer leur communication dépendent des volontés politiques. Ils pourraient rester stables, ou bien diminuer, impactant directement l'activité.

L'intérêt pour le sujet du changement climatique pourrait augmenter auprès des politiques et des citoyens, pour agir et s'informer. De plus, le sujet pourrait prendre de l'ampleur dans les programmes scolaires. Cela apporterait une opportunité de sensibilisation pour l'activité d'éducation à l'environnement autour de Grand-Lieu.

La population cherchera dans le futur **plus d'espaces de nature**, mais l'augmentation de la fréquentation dépendra finalement de la communication faite autour des activités pédagogiques ou des visites pour découvrir le lac de Grand-Lieu. Il pourrait y avoir dans le futur une **concurrence plus forte avec le littoral**, plus accessible que le lac et potentiellement plus attractif. De plus, l'influence du **coût de la vie** tend à rendre moins accessible l'Ouest de la France et la Bretagne que l'Espagne par exemple.

Enfin, des **conflits d'usage** des milieux pourraient être accentués avec le monde agricole ou la chasse, face à une dégradation des habitats.

Niveau de confiance : 😐

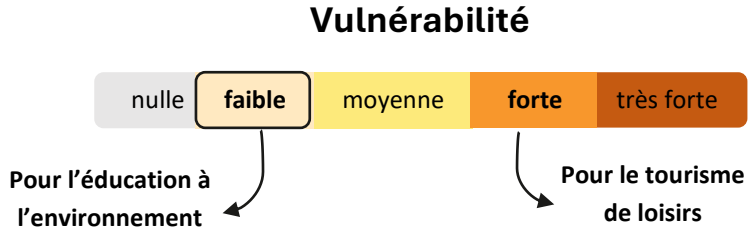


Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

L'impact du changement climatique sur la fréquentation du lac sera différent entre le tourisme de loisir et l'éducation à l'environnement.

Les évènements extrêmes et épisodes médiatiques auront un fort impact sur les deux activités, mais l'éducation à l'environnement pourrait mieux s'en sortir grâce à une **opportunité de sensibilisation** plus importante au sujet du changement climatique. Les activités pourront être **adaptées** mais à des degrés différents, selon les moyens financiers encore maintenus, et certaines pourraient même ne plus avoir lieu.

Le changement climatique pourrait faire **monter certains conflits** et forcer finalement les acteurs de l'éducation à l'environnement à dénoncer davantage et à sortir de leur volonté de consensus.



Quelles pistes d'adaptation ?

- Faire **plus de communication entre les usagers et les structures** concernant l'actualité du site (zones inaccessibles, date d'exondation des marais, routes coupées…), qui peut perturber les activités prévues pour la fréquentation du lac. L'organisation de la communication pourrait être réalisée par les communes auprès des structures, puis l'actualité serait communiquée auprès du public. Le niveau d'eau et l'accessibilité du site pourrait être suivis par des caméras.
- Concernant les activités pédagogiques et les visites organisées, les **dates ou horaires pourraient être assouplis**, par exemple au mois par rapport au niveau d'eau, ou à la journée par rapport aux chaleurs estivales. Les sorties de nuit, à l'aube ou au crépuscule permettraient d'éviter les grosses

chaleurs estivales durant la journée. Organiser plus de **sorties encadrées** permettrait aussi d'adapter au mieux ces activités aux contraintes du milieu.

- Les **lieux de tourisme** pourraient être revus : rediriger le tourisme vers des bâtiments patrimoniaux lors des grosses chaleurs, retracer les sentiers en fonction des niveaux d'eau pour s'adapter aux inondations… Les « fenêtres sur le lac » pourraient être aménagées avec plus de zones d'ombres et des fontaines à eau par exemple.
- Plus spécifiquement pour l'éducation à l'environnement, les thèmes des sorties et des animations pourraient être **plus orientées** sur le sujet de l'adaptation au changement climatique et de son atténuation. Des moyens déculpabilisants et encourageants pourraient être utilisés pour faire passer les messages. Les structures engagées dans la démarche Natur'Adapt joueraient un rôle d'autant plus important sur le territoire auprès du grand public, pour **informer et expliquer** les impacts du changement climatique sur le milieu et la biodiversité. La bonne intégration de ces structures dans le territoire sera alors indispensable.
- Pour répondre au problème de l'accentuation des conflits entre structures, une solution serait de créer des **groupes d'échange**, localement, pour ne pas lâcher le dialogue.

Sources :

En complément des informations récoltées lors du comité consultatif (13/03/26) de la démarche et lors de l'atelier avec les acteurs de la fréquentation du lac de Grand-Lieu (09/04/26) :

Prost, R. (2025). Bilan de saison 2025 : mise en tourisme du Lac de Grand-Lieu. *Loire Atlantique Développement*.



Activité de chasse de loisir

Silke Dessalien, affûts de chasse en bordure de lac (RNN lac de Grand-Lieu)

La chasse au gibier d'eau est une **activité historique** sur le lac de Grand-Lieu, liée directement à la mise en réserves du site. Avec de nombreux lâchers de Canards colvert, le parfumeur Jean-Pierre Guerlain avait fait du lac un **haut lieu de chasse privatif** avant les années 1970, le préservant du même coup des projets d'assèchement. Il fit ensuite don du lac à l'Etat pour le mettre en réserve naturelle. Ce passé explique donc la gestion actuelle de la RNR par la Fédération régionale des chasseurs.

La **chasse au gibier d'eau** a lieu du 21 août au 31 janvier, toutes espèces confondues. On distingue alors la chasse d'été et la chasse d'hiver. En plus de la chasse au gibier d'eau, le **ragondin** est chassé surtout l'hiver, et les **sangliers** sont sujets à une chasse de régulation tout au long de l'année.

L'activité de chasse rassemble un **nombre important de pratiquants** sur le territoire renforçant son importance, mais le bon fonctionnement de cette activité dépend de la présence des canards et du niveau d'eau, pour l'accès au lac. Enfin, la chasse est aussi définie par un **temps important de préparation de l'activité** en amont, avec l'entretien des marais par curage, fauche et arrachage de la Jussie, ou avec la fabrication de nids artificiels pour les canards.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Les chasseurs constatent que le milieu n'a pas évolué dans le bon sens avec le changement climatique, favorisant les **espèces exotiques envahissantes** (EEE) comme la Jussie, l'Ecrevisse de Louisiane ou le Ragondin qui ont fortement modifié et dégradé l'écosystème. La dégradation des habitats tels que les marais ou les roselières impacte alors directement les canards et indirectement la chasse. Les chasseurs évoquent **une diminution des populations de canards** au niveau du lac, notamment de Fuligules milouin, et une diminution des migrations. Les Canards souchet et siffleur ainsi que la Sarcelle d'hiver ont aussi vu leurs effectifs hivernants diminuer au lac de Grand-Lieu (Reeber, 2026).

En plus de la dégradation des habitats, cette diminution peut être expliquée pour certaines espèces par la **redistribution des populations hivernantes vers le Nord et l'Ouest de l'Europe**. Elles profitent d'hivers plus doux pour migrer moins au Sud et parcourir de moins grandes distances (Guillemain *et al.*, 2013 ; Lehikoinen *et al.*, 2013). Pour d'autres espèces, il peut s'agir d'une **réelle diminution des populations** à cause d'un biais du sex-ratio ou d'une baisse du succès reproducteur, comme il semble être le cas pour le Fuligule milouin (Fox *et al.*, 2019).

Les chasseurs évoquent également le **niveau d'eau** comme étant un facteur de dégradation lorsqu'il est trop bas. Le niveau d'eau bas **ne suffit pas à lui seul** à provoquer un épisode de **botulisme**, mais il peut en être un des facteurs, avec l'eutrophisation de l'eau, la concentration d'oiseaux ou encore les fortes températures estivales. Les **anatidés** semblent être les oiseaux les plus touchés par le botulisme (Ventujol *et al.*, 2017). En plus d'être abondants en France, les Canards colvert en mue sont très **sensibles et se regroupent**, ils peuvent alors plus facilement contracter le botulisme puis le transmettre. Lors de l'épisode de botulisme de l'été 2025 au lac de Grand-lieu, **75% des oiseaux retrouvés morts étaient ainsi des Canards colvert**.

Les chasseurs évoquent ces dernières années un **niveau d'eau très bas en été**, puis une **remontée brusque** en automne-hiver, due à une arrivée trop rapide de l'eau venant du bassin versant. La remontée

peut d'ailleurs être **tardive** (il est évoqué que les grosses crues arrivent plus souvent au mois de janvier), décalant la possibilité d'aller sur le lac pour chasser, alors que la plus grosse partie de la migration des anatidés a lieu à ce moment-là.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

La sensibilité de l'activité de chasse dépend directement de la présence et de la sensibilité des oiseaux d'eau (voir pour exemple la fiche DVO « Anatidés hivernants ») :

- D'une part, la **composition du cortège des anatidés** à Grand-Lieu sera influencée par la hausse générale des températures. Certaines espèces risquent de déplacer davantage leurs aires de répartition vers le Nord-Est de l'Europe. Mais la présence du cortège sur le lac ne semble pas menacée.
- Avec la montée tardive du niveau de l'eau, les canards pourraient aussi **moins stationner en automne-hiver** en réponse à un niveau d'eau encore faible sur certaines zones, impactant la pratique de la chasse.
- D'autre part, les chasseurs eux-mêmes sont sensibles aux conditions climatiques **sur le terrain**, en termes de températures excessives ou de niveau d'eau pour l'accès au site.

Niveau de confiance : 



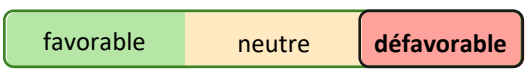
L'exposition de l'objet au changement climatique

Avec la hausse générale des températures, les **périodes de froid et de gel en hiver seront de plus en plus rares**, avec une absence de froid vif, bénéfique aux EEE. La hausse des températures hivernales impactera aussi les populations migratrices de canards en Europe.

Les **températures augmenteront surtout en été-automne**, lors de la période d'ouverture de la chasse, avec environ +2°C en moyenne durant cette période vers 2055, et environ +4°C vers 2085 sous le scénario RCP8.5.

Les précipitations risquent d'être marquées par une forte saisonnalité : un déficit de pluie en été (-14% vers 2055 et -23% vers 2085 sous le scénario RCP8.5), et un excédent de pluie en hiver (+10% vers 2055 et +17% vers 2085 sous le scénario RCP8.5). Cela pourrait entrainer des sécheresses estivales voire automnales, et à l'inverse des montées d'eau encore plus rapides en hiver (et peut-être même au printemps), **influant sur le niveau d'eau**.

Niveau de confiance : 



La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Les chasseurs confient que l'adaptation de l'activité semble compliquée, car ils dépendent totalement de la présence des canards. Si le cortège de canards s'appauvrie, la chasse pourrait diminuer à Grand-Lieu et un **désintéressement des marais** de leur part réduirait l'entretien de certaines parcelles.

La seule capacité d'adaptation évoquée par les chasseurs est de réhausser le niveau d'eau, les conséquences sur les habitats n'étant **pas certaines** et pouvant les **dégrader davantage**, tels que les roselières (fragilisées par une inondation permanente : Gigante *et al.*, 2014 ; Xia *et al.*, 2025) et les marais (le niveau d'eau ayant permis à la jussie d'envahir ces zones).

Cette proposition émane aussi d'une croyance qui est que le lac s'envase. Il a finalement été mesuré que le **fond du lac ne subit pas d'envasement net**, seulement localisé, et surtout qu'il s'est abaissé : en 24 ans, le lac a connu une **érosion moyenne de 4,95 cm**, et depuis une dizaine d'année, cette érosion **s'est accélérée** de près de 2 mm par an (Priot, 2025).

Enfin, **l'artificialisation de la pratique**, par des lâchers cynégétiques, de l'agrainage ou l'installation de nichoirs peut paradoxalement diminuer la capacité d'adaptation des anatidés hivernants localement (Gaget *et al.*, 2023). Ces pratiques semblent alors contre-productives sur le long terme avec le changement climatique.

Niveau de confiance : 😐

nulle	**faible**	moyenne	forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Les contraintes liées directement à l'activité, telles que **les réglementations sur la chasse** (quotas, dates) pourraient être modifiées et se durcir, en réponse au déclin de nombreuses espèces, à l'échelle locale, nationale ou européenne. La chasse pourrait être **moins acceptée**, dans un contexte de changement climatique et d'érosion de la biodiversité. De plus, les chasseurs évoquent une **baisse du nombre de pratiquants**, ainsi qu'une **augmentation des tarifs de location de chasse**.

Les espèces chassées dépendent énormément des **évolutions des pratiques et de la dégradation de leurs habitats dans les zones de nidification**. La question est posée sur la réglementation dans les autres pays européens concernant la conservation des habitats et la restriction de la chasse en période de nidification. De plus, au niveau de la toundra, la **prédation** augmente sur les nids avec le réchauffement climatique (Ims *et al.*, 2019).

La **gestion du niveau d'eau** est un sujet compliqué dans lequel les chasseurs sont engagés, pouvant entraîner des tensions entre les gestionnaires et usagers du site.

Localement, l'apparition de la **grippe aviaire** depuis quelques temps a pu provoquer une diminution des périodes de chasse d'un tiers. Le **botulisme** engendre aussi certains étés, comme en 2025, des arrêts de la chasse sur les sites concernés et une forte mortalité d'oiseaux. Cette dernière épizootie est favorisée par des conditions climatiques bien particulières (forte chaleur, niveau d'eau bas, forte concentration en matière organique, forte concentration d'oiseaux, présence d'espèces sensibles comme le Canard colvert…), que le changement climatique futur accentuera.

La pollution de l'eau du lac favorise l'eutrophisation et l'état dégradé de l'écosystème, aggravé par le changement climatique et les fortes températures. **Les EEE** (Jussie, Ragondin, Ecrevisse de Louisiane) participent à la dégradation du milieu, et risquent aussi d'être favorisées par les conditions climatiques futures. La végétation d'intérêt disparait en conséquence. Si les éleveurs abandonnent les marais dans le futur à cause des contraintes trop importantes (rentabilité trop faible et trop peu de moyens), les marais pourraient **perdre leurs fonctionnalités et biodiversité**, impactant directement les oiseaux d'eau.

Niveau de confiance : 😐

favorable	neutre	**défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

La chasse de loisir à Grand-Lieu est **totalement dépendante du gibier d'eau**, en particulier des canards. Ceux-ci semblent **fortement vulnérables** dans le futur, au vu du déplacement de leurs aires de répartition et de la dégradation de leurs habitats. Le cortège de canards risque de changer, et les effectifs pourraient diminuer. Les évolutions des facteurs extérieurs impactant la vulnérabilité de la chasse sont pour partie incertaines car **très politiques**. D'autres sont directement liées à la qualité du milieu pour les canards et au risque d'épizooties. Ainsi, la chasse de loisir semble fortement vulnérable à Grand-Lieu.

De nombreuses croyances concernant le niveau d'eau poussent les chasseurs à vouloir un rehaussement du niveau d'eau, alors que le fond du lac semble tendre vers une **érosion**. Une hauteur d'eau importante pourrait être un **facteur de dégradation** pour la végétation d'intérêt, impactant alors davantage les oiseaux sur le lac. De plus, un niveau d'eau très bas **ne suffit pas** à expliquer l'apparition d'une crise de botulisme.

Vulnérabilité

nulle	faible	moyenne	**forte**	très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

Une piste d'adaptation identifiée lors d'échanges avec les gestionnaires serait de penser les anatidés migrateurs en **"stocks" internationaux** pour mieux gérer les populations, notamment en termes de ressource pour la chasse. L'objectif serait d'avoir une vision plus globale et réaliste des populations dans toute leur aire de présence, et donc **d'adapter les quotas** de chasse en conséquence.

En lien avec les crises botuliques, une autre adaptation serait de **limiter voire d'arrêter les lâchers cynégétiques**, qui font gonfler des populations de canards ensuite très sensibles au botulisme. Lors d'une crise botulique dans la région, la chasse au gibier d'eau pourrait également être **fermée sur les sites épargnés**, pour éviter de faire fuir les oiseaux vers des sites contaminés.

Sources :

En complément des informations récoltées lors du comité consultatif (13/03/26) de la démarche et lors de l'atelier avec les chasseurs de Grand-Lieu (21/04/26) :

Fox, A. D., Nielsen, R. D., & Petersen, I. K. (2019). Climate-change not only threatens bird populations but also challenges our ability to monitor them. *Ibis*, *161*(2), 467-474. https://doi.org/10.1111/ibi.12675

Gaget, E., Galewski, T., Brommer, J. E., Le Viol, I., Jiguet, F., Baccetti, N., Langendoen, T., Molina, B., Moniz, F., Moussy, C., Zenatello, M., & Guillemain, M. (2023). Habitat management favouring hunted waterbird species prevents distribution changes in response to climate warming. *Animal Conservation*. https://doi.org/10.1111/acv.12872

Gigante, D., Angiolini, C., Landucci, F., Maneli, F., Nisi, B., Vaselli, O., Venanzoni, R., & Lastrucci, L. (2014). New occurrence of reed bed decline in southern Europe : Do permanent flooding and chemical parameters play a role? *Comptes Rendus Biologies*, *337*(7), 487-498. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2014.05.005

Guillemain, M., Plaquin, B., Caizergues, A., Bacon, L., & Van De Wiele, A. (2021). *La migration des anatidés : Patron général, évolutions, et conséquences épidémiologiques | Bulletin épidémiologique*. (92). https://be.anses.fr/fr/node/1807

Ims, R. A., Henden, J.-A., Strømeng, M. A., Thingnes, A. V., Garmo, M. J., & Jepsen, J. U. (2019). Arctic greening and bird nest predation risk across tundra ecotones. *Nature Climate Change*, *9*(8), 607-610. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0514-9

Lehikoinen, A., Jaatinen, K., Vähätalo, A. V., Clausen, P., Crowe, O., Deceuninck, B., Hearn, R., Holt, C. A., Hornman, M., Keller, V., Nilsson, L., Langendoen, T., Tománková, I., Wahl, J., & Fox, A. D. (2013). Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common waterbird species. *Global Change Biology*, *19*(7), 2071-2081. https://doi.org/10.1111/gcb.12200

Reeber, S. (2026). Les oiseaux du lac de Grand-Lieu : Inventaire actualisé, statut et conservation de l'avifaune du lac de Grand-Lieu. *Société Nationale de Protection de la Nature – RNN du lac de Grand-Lieu*. *https://www.snpn.com/wp-content/uploads/2026/01/Inventaire-des-oiseaux-de-Grand-Lieu.pdf*

Priot, C. (2025). Lac de Grand-Lieu : Résultats 2025 Bathymétrie de la zone centrale. *Société Nationale de Protection de la Nature*. https://www.snpn.com/lac-de-grand-lieu-resultat-2025-de-la-bathymetrie-de-la-zone-centrale/

Ventujol, A., Decors, A., Le Maréchal, C., Toux, J. Y., Allain, V., Mazuet, C., Bayon-Auboyer, M.-H., & Le Bouquin, S. (2017). Le botulisme aviaire en France : étude des cas signalés dans la faune sauvage et dans les élevages par deux réseaux de surveillance entre 2000 et 2013. *Epidémiol. et santé anim., 72*, 85-102.

Xia, J., Shi, X., Zhou, M., Liu, S., & Deng, S. (2025). Modeling the growth dynamics of *Phragmites australis* with flooding stress in the Middle Yangtze River. *Ecological Modelling*, *510*, 111314. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111314



Anatidés hivernants

JM Gillier, Canards souchet en vol (RNN Lac de Grand-Lieu)

Les anatidés (ou canards) hivernants sont un élément patrimonial majeur du lac de Grand-Lieu. En effet, leur abondance sur le site a permis de justifier leur protection et le classement du lac en site Ramsar. On compte **plus de 20 000 canards** chaque hiver, parmi lesquels le **Canard souchet** (*Spatula clypeata*, Grand-Lieu est un des 5 sites français majeurs pour cette espèce), la **Sarcelle d'hiver** (*Anas crecca*) et le **Fuligule milouin** (*Aythya ferina*, 5 à 8% des effectifs français) sont dominants (en plus du **Canard colvert** *Anas platyrhynchos* dont les effectifs sont entretenus par des lâchers).

Le **Canard chipeau** (*Mareca strepera*), le **Canard siffleur** (*Mareca penelope*) et le **Canard pilet** (*Anas acuta*) complètent le cortège. Le lac de Grand-Lieu est ainsi classé parmi les cinq premiers sites français pour l'hivernage des canards et foulques à la mi-janvier, et site majeur pour la façade Atlantique. Les canards hivernants utilisent l'eau libre du lac pour s'y poser en "**remise**" en journée et vont la nuit sur les marais, zone de "**gagnage**", pour s'y nourrir de graines et micro-organismes.

En outre, ce groupe d'oiseaux est le support de l'activité de chasse à Grand-Lieu, qui se concentre sur la pratique de la **chasse au gibier d'eau**. Il est également un bon **outil de communication** pour les réserves et un bon **support scientifique** quant à l'état du milieu et des populations.

La plupart des espèces sont en déclin : les Canards souchet et siffleur ont vu leurs effectifs fortement diminuer entre les suivis de 2005 et de 2025. Les effectifs des Sarcelles d'hiver et Fuligules milouin ont également diminué, alors que les effectifs des Canards pilet et chipeau sont restés stables (de même que les effectifs du Canard colvert) (Reeber, 2026).

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Alors que les populations nicheuses du Canard souchet de plusieurs régions d'Europe sont en déclin, cette espèce a connu une augmentation de ses effectifs hivernants de 3% par an sur les 12 dernières années en France (LPO, 2025). Il semblerait alors que les **populations hivernantes se redistribuent vers le Nord**, profitant des hivers plus doux en Europe. Les zones sahéliennes et nord-africaines ne semblent alors plus jouer un rôle aussi important qu'avant. La France mais aussi les Pays-Bas semblent devenir des sites d'hivernage plus importants, les canards hivernants aux Pays-Bas évitent ainsi du même coup les prélèvements cynégétiques notamment français.

Les anatidés hivernants en général connaissent alors une diminution de leurs effectifs en Europe du Sud-Ouest, **déplaçant leur aire de plus en plus vers le Nord-Est de l'Europe** (Guillemain *et al.*, 2013 ; Lehikoinen *et al.*, 2013 ; Marchowski *et al.*, 2020).

Concernant la diminution des effectifs du Fuligule milouin, il semblerait qu'il s'agisse davantage d'une **réelle diminution de la population** à cause d'une baisse du succès reproducteur et du sex-ratio (Fox *et al.*, 2019), démontrant l'importance de pouvoir discerner les deux effets (déplacement d'aire de répartition ou réel déclin).

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Les canards sont sensibles à l'évolution des températures à différentes échelles (locale, nationale, européenne), déterminant **leurs aires de répartition et les dates de migration** des espèces.

La période de gel détermine aussi la **durée du stationnement** des canards hivernants au lac de Grand-Lieu, qui fuient le gel. Le gel empêche notamment d'accéder aux ressources alimentaires et augmente la dépense énergétique des oiseaux.

Les canards hivernants (et plus généralement les oiseaux migrateurs) ont une sensibilité importante à ce qu'il se passe **hors de la zone d'hivernage et le reste de l'année**. Notamment, la fonte du permafrost et l'évolution de la toundra risquent d'entraîner la **perte de zones de reproduction** pour les canards nichant en Arctique ou Subarctique (Fox *et al.*, 2015).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	**moyenne**	forte

L'exposition de l'objet au changement climatique

Localement, les anatidés hivernants au lac de Grand-Lieu seront exposés à **l'augmentation des températures hivernales**, avec presque +2°C vers 2055 (8,4°C) voire +3°C vers 2085 (presque 10°C), sous le scénario RCP8.5. Le **nombre de jours de gel diminuera** alors du même coup, avec plus de deux semaines en moins vers 2055 et même une quasi-disparition des jours de gel vers 2085.

L'augmentation des températures aura lieu finalement dans toute la zone de migration des canards, les pays plus nordiques connaîtront aussi un adoucissement hivernal. Cependant, dans les pays plus au Nord, les vagues de froid exceptionnelles parmi des hivers de plus en plus doux pourront aussi surprendre les canards et les exposer à un plus grand risque de mortalité.

Ces conditions pourraient être **défavorables à la présence hivernale** des canards habituels au lac de Grand-Lieu.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

localement

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

La capacité d'adaptation des anatidés hivernants au lac de Grand-Lieu réside surtout dans la **modification du cortège**. Des espèces hiverneront plus au Nord ou Nord-Est et pourraient être moins présentes à Grand-Lieu (Sarcelle d'hiver, Fuligule milouin, Canard siffleur mais aussi Canard souchet), et à l'inverse d'autres espèces venant du Sud pourraient recomposer le cortège et être de plus en plus fréquentes (déjà observé pour la Nette rousse et le Canard pilet) (voir par exemple les modélisations de Berti, 2023). Les changements en termes de distances de migration ne sont pas les mêmes selon les espèces, ce qui complique les projections (Potvin *et al.*, 2016).

Les canards hivernants ont d'ailleurs déjà démontré une forte **plasticité dans le choix de leur zone d'hivernage**, mais les conséquences sur leur succès reproducteur et leur survie ne sont pas connues (Fox *et al.*, 2019).

Ces changements illustrent aussi le caractère **ubiquiste** des anatidés hivernants dans le choix de leurs habitats, pouvant utiliser toute zone humide de leur route migratoire très large (Guillemain *et al.*, 2021).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	**moyenne**	forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Les facteurs externes qui influencent l'adaptation des anatidés hivernants sont nombreux et variés, risquant de faire diminuer le nombre d'espèces et les effectifs à Grand-Lieu :

- La **disparition et la destruction des habitats** que le cortège utilise, que cela soit à l'échelle de l'Europe, de la France, mais aussi au niveau du lac. Notamment, les zones humides sont d'une grande importance pour ces canards, mais sont soumises à l'urbanisation et dégradées écologiquement (notamment sur le lac de Grand-Lieu avec une forte diminution de la végétation).
- Globalement, la **raréfaction des sites de nourritures de qualité** à cause des évolutions climatiques, d'une mauvaise qualité de l'eau ou encore de l'invasion par des plantes exotiques envahissantes est un réel problème pour les canards, comme aux Pays-Bas où ce problème est devenu la plus grande menace (Marchowski *et al.*, 2020). A Grand-Lieu, la Jussie prend la place des plantes autochtones productrices de graines dans les marais, alors principal garde-manger des canards hivernants. L'Ecrevisse de Louisiane dégrade également la végétation des marais.
- **L'augmentation de la prédation sur les nids** devient plus importante dans la toundra à cause du phénomène de verdissement de l'Arctique. Ce phénomène augmente la production primaire de l'écosystème qui entraîne une plus grande abondance de prédateurs (corbeaux, renards), surtout après un pic des populations de petits rongeurs (comme les lemmings) (Ims *et al.*, 2019).
- On note aussi le **dérangement par les activités humaines**, notamment la chasse, dans les pays traversés lors des migrations.
- Enfin, une possible **concurrence entre espèces** pourrait être accentuée avec les déplacements d'aires de répartition et les décalages de dates de migration. Une concurrence a déjà lieu à Grand-Lieu, sans être liée au changement climatique, avec un **effectif de Canard colvert entretenu** pour l'activité cynégétique par des lâchers réguliers. De façon anecdotique, la crise de botulisme de 1995 avait fait chuter le nombre de colverts du lac de 11 000 à 600, et à la suite a été observé une forte augmentation des effectifs des autres espèces. Les effectifs de colverts trop importants peuvent créer de la compétition en termes de ressources et de place.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

La vulnérabilité des anatidés hivernants varie selon l'échelle considérée. À l'échelle du **cortège fonctionnel** dans son ensemble, la vulnérabilité du Lac de Grand-Lieu semble relativement faible : le site devrait continuer à accueillir des anatidés hivernants dans le futur. En revanche, la vulnérabilité apparaît plus **forte** lorsqu'on considère le **cortège spécifique actuel**. En effet, la plupart des canards fréquentant actuellement le lac en hiver risquent d'hiverner de plus en plus **vers le Nord-Ouest de l'Europe** à cause

de l'adoucissement des hivers. La Sarcelle d'hiver, le Fuligule milouin, le Canard siffleur ou encore le Canard souchet n'auront plus besoin de migrer autant au Sud pour hiverner.

Ainsi, ce n'est pas nécessairement la présence d'anatidés hivernants au Lac de Grand-Lieu qui est menacée, mais plutôt la **stabilité de la composition spécifique** actuelle du cortège. En plus, les **effectifs** des espèces pourraient aussi être affectés par une dégradation des milieux dans leurs aires de répartition.

Les menaces du changement climatique ainsi que les facteurs externes risquent d'entraîner une **poursuite de la dégradation des habitats et ressources alimentaires** des anatidés, à chaque étape de leur migration et de leur cycle de vie. Les canards ont une bonne **plasticité concernant le choix de leur zone d'hivernage**, ce qui pourra leur être bénéfique face à une raréfaction de sites propices.

Vulnérabilité

nulle	faible	moyenne	**forte**	très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

D'une part, des actions peuvent avoir une visée locale :

- **Conserver et participer à la restauration des marais**, habitats favorables et garde-manger des oiseaux en hivernage.
- **Préserver la tranquillité du site,** le dérangement étant déjà bien limité par les réglementations en réserves naturelles.
- **Continuer le suivi des populations**, essentiel pour comprendre les évolutions locales et obtenir des données long-terme.
- **Restaurer les habitats de reproduction** dans leur aire de répartition, donc en restaurant la végétation palustre.

D'autre part, il est important de **garder un bon rapport avec les réseaux de suivis** (comme Wetlands) ou les autres espaces protégés sur l'ensemble de l'aire de répartition des anatidés pour prendre des décisions collectives à l'échelle de plusieurs pays pour augmenter l'efficacité des mesures.

La Nette rousse, la Sarcelle d'été ou encore le Canard pilet sont des anatidés qui pourraient remplacer les canards actuellement hivernants. Hormis la Sarcelle d'été, ces canards ont déjà été observés en hivernage au lac.

Sources :

En complément des informations récoltées lors de l'atelier "Patrimoine naturel" avec le comité technique de la démarche Natur'Adapt du lac de Grand-Lieu :

Berti, S. (2023). Changes in the waterbirds migratory patterns and wintering areas in Europe in relation to climate change. Ça' Foscari University of Venice. https://unitesi.unive.it/retrieve/3e70443b-aae0-4abd-8b3b-d29e0cc25e6f/890353-1280656.pdf

Fox, A. D., Jónsson, J. E., Aarvak, T., Bregnballe, T., Christensen, T. K., Clausen, K. K., Clausen, P., Dalby, L., Holm, T. E., Pavón-Jordan, D., Laursen, K., Lehikoinen, A., Lorentsen, S.-H., Møller, A. P., Nordström, M., Öst, M.,

Söderquist, P., & Therkildsen, O. R. (2015). Current and Potential Threats to Nordic Duck Populations—A Horizon Scanning Exercise. Annales Zoologici Fennici, 52(4), 193-220. https://doi.org/10.5735/086.052.0404

Fox, A. D., Nielsen, R. D., & Petersen, I. K. (2019). Climate-change not only threatens bird populations but also challenges our ability to monitor them. Ibis, 161(2), 467-474. https://doi.org/10.1111/ibi.12675

Gillier, J.-M., & Reeber, S. (2018). Plan de gestion 2018-2027, Réserve Naturelle Nationale du Lac de Grand-Lieu.

Guillemain, M., Pöysä, H., Fox, A. D., Arzel, C., Dessborn, L., Ekroos, J., Gunnarsson, G., Holm, T. E., Christensen, T. K., Lehikoinen, A., Mitchell, C., Rintala, J., & Møller, A. P. (2013). Effects of climate change on European ducks : What do we know and what do we need to know? Wildlife Biology, 19(4), 404-419. https://doi.org/10.2981/12-118

Guillemain, M., Plaquin, B., Caizergues, A., Bacon, L., & Van De Wiele, A. (2021). La migration des anatidés : Patron général, évolutions, et conséquences épidémiologiques | Bulletin épidémiologique. (92). https://be.anses.fr/fr/node/1807

Ims, R. A., Henden, J.-A., Strømeng, M. A., Thingnes, A. V., Garmo, M. J., & Jepsen, J. U. (2019). Arctic greening and bird nest predation risk across tundra ecotones. Nature Climate Change, 9(8), 607-610. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0514-9

Lehikoinen, A., Jaatinen, K., Vähätalo, A. V., Clausen, P., Crowe, O., Deceuninck, B., Hearn, R., Holt, C. A., Hornman, M., Keller, V., Nilsson, L., Langendoen, T., Tománková, I., Wahl, J., & Fox, A. D. (2013). Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common waterbird species. Global Change Biology, 19(7), 2071-2081. https://doi.org/10.1111/gcb.12200

LPO – Ligue pour la protection des oiseaux. (2025). Comptage des Oiseaux d'eau à la mi-janvier en France. Résultats 2025 du comptage Wetlands International. LPO BirdLife France - Service Connaissance, Wetlands International, Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche. 26 pp.& annexes 101 pp., Rochefort.

Marchowski, D., Ławicki, Ł., Fox, A. D., Nielsen, R. D., Petersen, I. K., Hornman, M., Nilsson, L., Haas, F., Wahl, J., Kieckbusch, J., Nehls, H. W., Calbrade, N., Hearn, R., Meissner, W., Fitzgerald, N., Luigujoe, L., Zenatello, M., Gaudard, C., & Koschinski, S. (2020). Effectiveness of the European Natura 2000 network to sustain a specialist wintering waterbird population in the face of climate change. Scientific Reports, 10(1), 20286. https://doi.org/10.1038/s41598-020-77153-4

Potvin, D. A., Välimäki, K., & Lehikoinen, A. (2016). Differences in shifts of wintering and breeding ranges lead to changing migration distances in European birds. Journal of Avian Biology, 47(5), 619-628. https://doi.org/10.1111/jav.00941

Reeber, S. (2026). Les oiseaux du lac de Grand-Lieu : Inventaire actualisé, statut et conservation de l'avifaune du lac de Grand-Lieu. *Société Nationale de Protection de la Nature – RNN du lac de Grand-Lieu*. https://www.snpn.com/wp-content/uploads/2026/01/Inventaire-des-oiseaux-de-Grand-Lieu.pdf



Anguille européenne

Anguilla anguilla

JM Gillier, anguillettes (RNN lac de Grand-Lieu)

L'Anguille européenne est une grande migratrice : naissant au milieu de l'océan Atlantique, les larves (leptocéphales) de cette anguille se développent en civelles et remontent vers les côtes européennes grâce au courant océanique du Gulf Stream. Elles traversent les estuaires, remontent les cours d'eau et se développent dans les eaux douces intérieures, passant de civelles à anguilles "jaunes". Après plusieurs années de développement, les anguilles deviennent "argentées", sexuellement matures, et redescendent tous les cours d'eau pour rejoindre leur lieu de naissance dans l'océan Atlantique pour s'y reproduire.

L'Anguille est menacée d'extinction ("CR" sur liste rouge de l'UICN) sur l'ensemble de son aire de répartition et protégée. A l'échelle de la Loire, **le recrutement des anguilles a chuté dans les années 1980**, de même que dans toute l'Europe. Le taux de recrutement est alors ces dernières années à moins de 10% de celui des années 1970 (ONEMA, 2010). Dans la Loire, **l'abondance d'anguilles argentées a connu une baisse brutale en 2005**. Le taux d'exploitation de l'espèce est en baisse depuis plus de 20 ans, et une perte de fécondité ainsi qu'une croissance difficile des femelles ont été constatées (Feunteun *et al.*, 2020).

Le lac de Grand-Lieu constitue un habitat important pour cette espèce sur le bassin versant de la Loire, s'agissant **d'un site de croissance rapide permettant une forte productivité d'anguilles argentées** (213 000 en 2015/2016), avec une majorité de mâles produits (~90%).

A forte valeur patrimoniale, elle reste une espèce exploitée : elle est pêchée au lac de Grand-Lieu, étant **la principale source de revenue des pêcheurs professionnels** qui exercent sur ce lac.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

A l'échelle de l'océan Atlantique :

Il a été constaté **une diminution du recrutement des civelles en Europe** depuis quelques décennies, qui pourrait être expliquée par certains facteurs climatiques en mer (en plus de facteurs anthropogéniques sur leur phase continentale) :

- Les courants océaniques de l'Atlantique nord, en particulier le Gulf Stream autour de la convergence Nord Atlantique, permet le transport des leptocéphales vers les côtes européennes. **Ce Gulf Stream pourrait être actuellement plus lent**, à cause du changement climatique et de l'augmentation des températures de l'eau (Piecuch & Beal, 2023). Cela pourrait affecter la survie des leptocéphales, qui **mettent alors plus de temps à parcourir l'océan** : le recrutement littoral, plus faible (Friedland *et al.*, 2006), se fait aujourd'hui plus tardivement (entre janvier et mars plutôt qu'en décembre-janvier).

- Dans l'océan Atlantique, les leptocéphales se nourrissent de la neige marine, débris organiques issues de la mort de planctons (phyto- et zoo-) et autres particules de matières organiques et minérales qui tombent au fond des océans. Il est suspecté **une diminution de la production primaire dans certaines régions océaniques** à cause de la stratification des eaux limitant les remontées de nutriments, depuis le début des années 2000 (Hong *et al.*, 2025), ce qui pourrait réduire la quantité de neige marine et donc **la quantité de nourriture pour les leptocéphales**.

- Il a aussi été estimé **un probable déplacement des aires de pontes** (3 millions de km^2 au total) plus au Nord, avec le décalage de l'isotherme à 22,5°C dans l'océan Atlantique (Friedland *et al.*, 2006).

A l'échelle continentale :

- Dans l'estuaire de la Loire, on constate une différence de recrutement entre l'aval et l'amont, avec **un recrutement estuarien bien supérieur au recrutement fluvial**. Cette différence entre estuaire et fleuve illustre un problème de **survie entre les deux.** Cela peut être expliqué par un décalage de la période du **bouchon vaseux estuarien** plus tôt dans l'année (mai-juin) à cause de la hausse des températures et la modification des débits fluviaux, lorsque des civelles traversent encore l'estuaire.
  Le bouchon vaseux est une zone de forte turbidité située à l'interface entre eaux douces et salées, caractérisée par une accumulation de sédiments fins et de matière organique. Cette zone peut présenter des conditions d'hypoxie, voire d'anoxie, favorisant la remobilisation des polluants présents dans les sédiments, néfastes pour les anguilles.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

A l'échelle de l'océan Atlantique :

La sensibilité de l'Anguille repose sur **sa forte dépendance aux courants** pour sa migration lorsqu'elle est sous forme de leptocéphale. Les larves (ainsi que les œufs) pourraient être **potentiellement sensibles à l'acidification de l'eau**, qui affecterait leurs systèmes olfactifs et récepteurs ainsi que leur taux de survie selon le scénario d'acidification future (Sganga *et al.*, 2022).

A l'échelle continentale :

L'Anguille est reconnue pour sa **forte tolérance aux faibles concentrations en oxygène dissous** (hypoxie), supérieure à celle de nombreuses autres espèces de poissons (Peyraud-Waitzenegger & Soulier, 1989). En revanche, cette tolérance peut avoir ses limites, notamment lors d'épisodes d'anoxie (plusieurs heures sans oxygène) plus fréquents dans le futur avec la combinaison de la hausse des températures et de l'eutrophisation du milieu. En parallèle, **les crues brutales plus fréquentes et intenses pourraient être bénéfiques** pour évacuer les sédiments et les nutriments du lac ou potentiellement faciliter les migrations.

Les anguilles sont **particulièrement dépendantes au débit des cours d'eau** (donc aux précipitations) **et à la température de l'eau** (Arevalo *et al.*, 2021) qui agissent comme un signal de montaison au printemps ou de dévalaison en hiver (associé à de gros coups de vents). La diminution précoce du débit est néfaste, car la survie des anguilles dans les rivières peut en être affectée avec des périodes d'étiage plus longues, des assecs…

Cependant, la sensibilité de l'Anguille semble moins liée au changement climatique qu'à la **dégradation de la qualité de l'eau, aux polluants et contaminants**.

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

A l'échelle de l'océan Atlantique :

L'Anguille est exposée au potentiel **ralentissement des courants océaniques**, à l'**affaiblissement des vents favorables** et à l'**augmentation de la température de surface de l'eau** (Dìaz *et al.*, 2016 ; Friedland *et al.*, 2006). Ces changements pourront modifier la zone de fraie et les zones de recrutement. Avec une augmentation de la température viendra une **acidification de l'océan**, qui pourrait avoir un impact sur les larves d'anguille (Sganga *et al.*, 2022).

A l'échelle continentale :

Au niveau du continent, l'Anguille pourra être exposée à des évènements extrêmes de **crues ou de sécheresses** plus fréquents et intenses, ainsi qu'à des **précipitations saisonnières** (et donc des débits) plus variables. Les précipitations hivernales pourraient augmenter d'ici la moitié et la fin du siècle. L'**augmentation des températures** prévue impactera la température de l'eau du lac qui augmentera également, pouvant impacter la dévalaison en automne-hiver.

A horizon 2100, **avec une hausse du niveau marin entre 0,60cm et 1,10m**, il serait possible que lors d'évènements extrêmes simultanés de submersion marine et de fortes pluies, le réseau hydrographique de la Loire et du lac soit trop saturé pour pouvoir évacuer l'eau. Cela pourrait potentiellement représenter des conditions facilitant la migration des anguilles.

Niveau de confiance : 😐

favorable	neutre	**défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

A l'échelle de l'océan Atlantique :

L'Anguille existe sur Terre depuis des millions d'années, avant la formation du Gulf Stream. Elle serait alors capable en mer de s'adapter à des courants changeants, en modifiant sa **dispersion régionale** du recrutement larvaire aux zones continentales (par exemple Bénézech *et al*. 2026).

Cependant, l'acidification de l'océan risque d'affecter le développement par la **réduction de la taille des œufs** et même une **diminution du taux de survie des embryons**, montrant des capacités d'adaptation physiologiques limitées à ce stade, au cours duquel les systèmes de régulation du pH sont en plein développement (Sganga *et al*. 2022). Les civelles pourraient également avoir une **réponse migratoire réduite** face à l'acidification de l'eau, et s'installer de plus en plus en aval des cours d'eau voire dans les estuaires (Borges *et al.*, 2019).

A l'échelle continentale :

L'Anguille est capable de **décaler sa date de dévalaison** si les conditions environnementales favorables ne sont pas réunies. Les anguilles argentées effectuent leur dévalaison malgré des températures d'eau plus importantes, tant qu'il y a une diminution de température et un fort débit (Arevalo *et al.* 2021).

Il y a cependant un **risque de discordance** entre la maturité des anguilles argentées prêtes à partir et la fenêtre de conditions environnementales propices à la dévalaison, avec des températures futures de plus en plus élevées entre août et décembre. De cette façon, les populations du Nord et celles du Sud de l'Europe risqueraient de ne plus se rencontrer au même moment dans l'océan Atlantique (**migration**

asynchrone), les conséquences en termes d'adaptation des populations étant pour l'instant difficiles à anticiper.

L'Anguille **supporte une fourchette assez large de températures**, ce qui est avantageux dans un lac peu profond comme celui de Grand-Lieu, avec de grandes variations de températures (température maximale critique entre 33 et 39°C et minimale entre 1 et 3°C, pour une anguille acclimatée entre 14 et 29°C : Sadler, 1979).

Niveau de confiance : 😐

nulle	faible	**moyenne**	forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Les pollutions et la dégradation de la qualité de l'eau sont d'importants facteurs qui s'ajoutent aux effets du changement climatique sur l'Anguille européenne.

- Déjà dans l'océan, les leptocéphales sont potentiellement exposés, entre autres, à la **pollution plastique** : la zone de convergence des eaux Nord Atlantique étant fortement polluée aux micro- et nanoplastiques (ten Hietbrink *et al.*, 2025), les larves de poissons, dont les anguilles, pourraient consommer ces plastiques via leur régime alimentaire. Les microplastiques peuvent en effet intégrer la neige marine (Herring, 2023), et les leptocéphales consomment alors moins de "vraie" nourriture et plus de contaminants. Cela pourrait **affecter leur croissance (ralentissement) et leur santé générale.**

- De plus, **les pollutions sont un stress qui diminue l'immunité de l'Anguille**. Elle se nourrit dans les vases qui ont accumulées des polluants et les bioaccumule, comme le plomb, d'autres métaux lourds et les organochlorés (PCB, dioxines, pesticides…), impactant négativement sa **fécondité** (Bourillon *et al.*, 2022) et impactant sa santé générale (Bruslé, 1994).

- Face au développement des cyanobactéries avec les fortes chaleurs, les toxines libérées par les bactéries sont ingérées par les anguilles. Chez d'autres poissons, ces **cyanotoxines** ont démontré des effets négatifs sur les réponses immunitaires, inflammatoires et endocrines, perturbant également la croissance, l'osmorégulation et impactant directement le foie (Falfushynska *et al.*, 2025 ; Malbrouck & Kestemont, 2006). Chez l'Anguille, ces effets pourraient potentiellement impacter sa capacité à croître, faire des réserves de graisses et donc à migrer puis se reproduire, les réserves de graisse étant d'une importance majeure pour la migration et la reproduction (Belpaire *et al.*, 2009). Cependant, les impacts réels sur la migration et la reproduction sont encore mal connus.

S'ajoutent à cela **les ruptures de continuité écologique des cours d'eau** par les ouvrages hydrauliques. Au niveau du lac, une gestion adaptative du vannage de Bouaye est nécessaire pour favoriser d'une part l'accès des civelles au lac, d'autre part la dévalaison des anguilles argentées.

Ces dernières se présentent au niveau du vannage lors d'une hausse d'au moins 10 cm du niveau d'eau en deux jours, ce qui impose alors l'ouverture des portes sur au moins 70 cm afin de permettre leur passage (Bourgeaux *et al.*, 2022). De même pour la montaison, l'ouverture du vannage est nécessaire pour le passage des jeunes anguilles et pour créer un flux afin qu'elles trouvent la passe. Toutefois, dans un contexte de changement climatique marqué par des sécheresses estivales et des précipitations hivernales plus importantes, cette gestion pourrait être compromise selon le niveau d'eau.

Enfin, on peut également citer l'impact du **braconnage des civelles**, dans une moindre mesure la pression de la **pêche** de l'Anguille à chaque étape de son cycle de vie. Les opportunités favorables à l'Anguille sont par exemple les **réglementations et statuts de protection** ainsi que les programmes de **restauration des continuités écologiques**.

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Le changement climatique impacte l'Anguille européenne d'une part dans l'océan, la **survie des larves pouvant être compromise** par le ralentissement du Gulf Stream et l'acidification de l'eau. Au-delà du changement climatique, ce sont **les pollutions et la mauvaise qualité de l'eau qui impactent le plus les traits de vie des anguilles,** les rendant alors **plus vulnérables** aux autres perturbations comme les parasites, le changement climatique et la pollution aux microplastiques.

Bien que l'espèce soit **très plastique en termes de températures et de concentrations en oxygène**, le déclin général des années 1980, la difficulté du recrutement au lac avec entre autres la construction du vannage de Bouaye, et la dégradation de la santé des populations ont fragilisé l'espèce. La résilience de l'espèce face au changement climatique localement mais aussi plus globalement pourrait être remise en question à cause des nombreux facteurs extérieurs l'impactant.

Vulnérabilité

nulle | faible | moyenne | **forte** | très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

- Face à ces constats, la **restauration des zones humides littorales annexes et latérales à la Loire, du bassin versant du lac et des bocages** apparait comme une des seules actions possibles et impactantes (Feunteun, 2002). Cela permettrait de créer des zones tampons pour dépolluer l'eau par filtration mais aussi de recréer de la continuité écologique.
- **L'adaptation de la gestion du vannage de Bouaye** en termes d'ouverture de vannes, de façon judicieuse et adaptative en fonction des conditions hydrologiques et météorologiques, est nécessaire pour réduire la sensibilité des anguilles au changement climatique et diminuer la pression liée à la rupture de continuité écologique. Le renouvellement du vannage et de l'arrêté sur les niveaux d'eau devra prendre en compte les migrations des anguilles dans un contexte de changement climatique, avec des systèmes ou aménagements particuliers.
- **L'usage des contaminants** (pesticides, engrais…) dans le bassin versant reste aussi un réel problème qu'il faudrait traiter en parallèle pour garantir la restauration de la qualité de l'eau du bassin versant arrivant au lac de Grand-Lieu.

- Enfin, **améliorer la connaissance sur les effets des toxines des cyanobactéries** sur l'Anguille permettrait de mieux anticiper les réponses des populations d'anguilles avec le changement climatique attendu.

Sources :

En complément des informations récoltées lors d'un entretien avec Eric Feunteun (enseignant-chercheur en écologie marine, MNHN) et de l'atelier "Patrimoine naturel" avec les gestionnaires du lac de Grand-Lieu :

Arevalo, E., Drouineau, H., Tétard, S., Durif, C. M. F., Diserud, O. H., Poole, W. R., & Maire, A. (2021). Joint temporal trends in river thermal and hydrological conditions can threaten the downstream migration of the critically endangered European eel. Scientific Reports, 11(1), 16927. https://doi.org/10.1038/s41598-021-96302-x

Belpaire, C. G. J., Goemans, G., Geeraerts, C., Quataert, P., Parmentier, K., Hagel, P., & De Boer, J. (2009). Decreasing eel stocks : Survival of the fattest? Ecology of Freshwater Fish, 18(2), 197-214. https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00337.x

Bénézech, M., Drouineau, H., Bornarel, V., Briand, C., Díaz, E., Mateo, M., & Beaulaton, L. (2026). Shifts in the European eel recruitment distribution : The impact of changing environmental conditions? Marine Environmental Research, 214, 107723. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107723

Borges, F. O., Santos, C. P., Sampaio, E., Figueiredo, C., Paula, J. R., Antunes, C., Rosa, R., & Grilo, T. F. (2019). Ocean warming and acidification may challenge the riverward migration of glass eels. Biology Letters, 15(1), 20180627. https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0627

Bourgeaux, J., Teichert, N., Gillier, J.-M., Danet, V., Feunteun, E., Acou, A., Charrier, F., Mazel, V., Carpentier, A., & Trancart, T. (2022). Modelling past migrations to determine efficient management rules favouring silver eel escapement from a large regulated Floodplain Lake. Journal for Nature Conservation, 67, 126192. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126192

Bourillon, B., Feunteun, E., Acou, A., Trancart, T., Teichert, N., Belpaire, C., Dufour, S., Bustamante, P., Aarestrup, K., Walker, A., & Righton, D. (2022). Anthropogenic Contaminants Shape the Fitness of the Endangered European Eel : A Machine Learning Approach. Fishes, 7(5). https://doi.org/10.3390/fishes7050274

Bruslé, J. (1994). L'anguille européenne Anguilla anguilla, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, (335), 237-260. https://doi.org/10.1051/kmae:1994015

Dìaz, E., Korta, M., Chust, G., Ribalaygua, J., Pòrtoles, J., & Monjo, R. (2016). European Eel (Anguilla anguilla) Under Climate Change. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4349.0809

Falfushynska, H., Kasianchuk, N., Siemens, E., Henao, E., & Rzymski, P. (2023). A Review of Common Cyanotoxins and Their Effects on Fish. Toxics, 11(2), 118. https://doi.org/10.3390/toxics11020118

Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*) : An impossible bargain. *Ecological Engineering*, *18*(5), 575-591. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00021-6

Feunteun, E., Bourillon, B., Trancart, T., Teichert, N., Virag, L., Acou, A., Bodin, M., Boisneau, P., & Macé, D. (2020). *Evolution temporelle de la population d'anguilles de Loire : 20 années de recherches collaboratives pêcheurs-chercheurs*. Journées « Poissons Migrateurs en Rhône-Méditerranée », Avignon.

Friedland, K. D., Miller, M. J., & Knights, B. (2007). Oceanic changes in the Sargasso Sea and declines in recruitment of the European eel. ICES Journal of Marine Science, 64(3), 519-530. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm022

Herring, M. (2023, décembre 20). Microplastics Are the Not-So-Secret Ingredient in Marine Snow. Eos. https://eos.org/articles/microplastics-are-the-not-so-secret-ingredient-in-marine-snow

Hong, Z., Long, D., Shan, K., Zhang, J.-M., Woolway, R. I., Liu, M., Mann, M. E., & Fang, H. (2025). Declining ocean greenness and phytoplankton blooms in low to mid-latitudes under a warming climate. Science Advances, 11(42), eadx4857. https://doi.org/10.1126/sciadv.adx4857

Malbrouck, C., & Kestemont, P. (2006). Effects of microcystins on fish. Environmental Toxicology and Chemistry, 25(1), 72-86. https://doi.org/10.1897/05-029R.1

ONEMA (Office national de l'eau et des milieux aquatiques). (2010). *Plan de gestion Anguille de la France*. Ministères de l'Environnement et de la Pêche.

Peyraud-Waitzenegger, M., & Soulier, P. (1989). Ventilatory and circulatory adjustments in the European eel (Anguilla anguilla L.) exposed to short term hypoxia. *Experimental Biology*, *48*(2), 107-122.

Piecuch C. G. et Beal L. M. (2023). Robust Weakening of the Gulf Stream During the Past Four Decades Observed in the Florida Straits. Geophysical Research Letters, 50(18). https://doi.org/10.1029/2023GL105170

Sadler, K. (1979). Effects of temperature on the growth and survival of the European eel, Anguilla anguilla L. Journal of Fish Biology, 15(4), 499-507. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1979.tb03633.x

Sganga, D. E., Dahlke, F. T., Sørensen, S. R., Butts, I. A. E., Tomkiewicz, J., Mazurais, D., Servili, A., Bertolini, F., Politis, S. N., Sørensen, S. R., Butts, I. A. E., Tomkiewicz, J., Mazurais, D., Servili, A., Bertolini, F., & Politis, S. N. (2022). CO2 induced seawater acidification impacts survival and development of European eel embryos. Plos One, 17(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267228

ten Hietbrink, S., Materić, D., Holzinger, R., Groeskamp, S., & Niemann, H. (2025). Nanoplastic concentrations across the North Atlantic. Nature, 643(8071), 412-416. https://doi.org/10.1038/s41586-025-09218-1

Grands échassiers nicheurs



S Reeber, Spatules blanches dans la saulaie (RNN Lac de Grand-Lieu)

Le cortège des grands échassiers nicheurs est composé d'espèces patrimoniales, constituant d'importantes colonies dans les saulaies du lac de Grand-Lieu. On compte sept espèces majoritaires en nidification comme la **Spatule blanche** (*Platalea leucorodia*), le **Bihoreau gris** (*Nycticorax nycticorax*), le **Héron garde-bœufs** (*Bubulcus ibis*), l'**Aigrette garzette** (*Egretta garzetta*), la **Grande aigrette** (*Ardea alba*) ou encore le **Héron pourpré** (*Ardea purpurea*). En outre, on retrouve à Grand-Lieu toutes les espèces de hérons nicheuses en Europe de l'Ouest.

La présence et l'abondance de ces espèces ont participé à justifier le classement du site et sa protection, avec près de **2500 couples** de grands échassiers. L'abondance est ainsi possible par la **tranquillité du site** mais aussi par l'existence de **vastes zones d'alimentation**, à Grand-Lieu comme un peu plus loin (estuaire de la Loire, Marais breton ou vallée de l'Acheneau).

Espèces "étendard", ces oiseaux jouent un rôle majeur pour la communication sur le lac et sa protection, comme les spatules et les aigrettes qui sont facilement identifiables. Ils permettent notamment d'attirer du monde et de favoriser une activité touristique autour de la découverte du lac et de sa biodiversité.

Ce cortège d'oiseaux sert également de support scientifique, en faisant l'objet d'un suivi spécifique de leur distribution et de leurs effectifs à Grand-Lieu.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Les grands échassiers nicheurs sont les oiseaux qui se portent le mieux au niveau du lac. Une **explosion des effectifs** a été constaté pour la majorité des espèces composant ce cortège. Alors que les espèces historiques (19e siècle) à Grand-Lieu sont les Hérons cendré et pourpré et le Bihoreau gris, la plupart des espèces actuellement présentes sont remontées au fur et à mesure du **réchauffement du climat** vers le Nord, profitant de **la raréfaction des gelées et des vagues de froid**.

Pour la Spatule blanche, la raison principale de cette explosion réside dans la **présence de l'Ecrevisse de Louisiane**, espèce exotique envahissante, ayant su profiter de son arrivée en l'utilisant comme **ressource alimentaire** principale. De ce fait, la population nicheuse de spatules à Grand-Lieu, première population française de l'espèce, repose **exclusivement** sur cette ressource alimentaire.

L'**Ibis falcinelle** (*Plegadis falcinellus*), qui était rare en France il y a encore 20 ans, a connu une explosion de ses effectifs nicheurs à Grand-Lieu et s'est bien installé sur le site. Il s'agit d'une **espèce plus méditerranéenne**, qui profite également de la forte densité des proies dont fait partie l'Ecrevisse de Louisiane, ainsi que de la disponibilité des zones de nidification favorisées par la perte de végétation palustre.

La forte hausse et l'installation d'effectifs nicheurs de certaines espèces comme l'Aigrette garzette ou le Bihoreau gris pourraient être expliquées par des **sécheresses successives ayant touché l'Espagne**, faisant remonter ces espèces.

A l'inverse, le Crabier chevelu (*Ardeola ralloides*) a **quasiment disparu** de Grand-Lieu et nationalement. Cette évolution négative serait expliquée à Grand-Lieu par la **perte de sa ressource alimentaire**, les gros insectes aquatiques dans les marais, qui ont totalement disparu avec l'arrivée de l'Ecrevisse de Louisiane.

(Gillier & Reeber, 2018 ; Reeber, 2026)

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Les grands échassiers nicheurs sont **sensibles aux périodes de froid et de gel**. En tant qu'espèces méridionales, le réchauffement du climat leur est favorable, les grands échassiers vont donc coloniser petit à petit des zones plus au nord et leurs effectifs pourraient continuer à progresser, ou du moins rester stables.

Leur sensibilité repose aussi indirectement sur la **sensibilité de leurs habitats**. Ainsi, sur les sites d'hivernage pour certaines espèces, **87% des sites cruciaux africains** pour les oiseaux d'eaux migrateurs (incluant les grands échassiers) pourraient ne plus convenir pour l'accueil de ces oiseaux d'ici 2050, en raison des sécheresses importantes et de la diminution du débit des cours d'eau (Breiner *et al.*, 2022).

A Grand-Lieu, les grands échassiers sont dépendants du **bon état des saules** (support de nidification) et **de l'Ecrevisse de Louisiane** pour la plupart (ressource trophique), tous deux sensibles aux sécheresses.

De façon anecdotique, il semblerait que l'intensification des pluies et des orages puissent **réduire la résilience et la croissance des populations** de grands échassiers (Kelly & Condeso, 2014).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	**moyenne**	forte

L'exposition de l'objet au changement climatique

Les grands échassiers nicheurs de Grand-Lieu seront exposés à des **hivers plus doux**, à une **absence de « vrais » froids** et à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des **sécheresses estivales**. Localement, d'ici le milieu du siècle, nous pourrions perdre deux semaines de gel et gagner 2°C en hiver. Ces évolutions continueront d'ici la fin du siècle, avec une perte de plus de deux semaines de gel et une hausse de 3°C en hiver, atteignant une moyenne hivernale de presque 10°C.

Dans l'ensemble, le changement climatique (notamment en termes de températures) sera favorable à Grand-Lieu pour ce cortège.

Cependant, les migrateurs obligatoires (Crabier chevelu et Héron pourpré) seront également exposés aux modifications climatiques affectant leurs zones d'hivernage, notamment le **réchauffement et l'assèchement des zones humides méditerranéennes et africaines** (Breiner *et al.*, 2022). **L'extension du Sahel** est également un facteur aggravant, compliquant sa traversée lors de la migration.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	défavorable

localement

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Les populations de grands échassiers s'adaptent bien à la hausse des températures et surtout à la diminution du froid, avec une **augmentation des effectifs** déjà constatée à Grand-Lieu. Les grands échassiers sont des **espèces pionnières** qui vont coloniser des zones devenues récemment favorables, et semblent **s'acclimater** assez bien aux conditions hivernales rudes que l'on peut encore parfois avoir à Grand-Lieu.

Ils ont également su profiter et s'adapter de façon spectaculaire à la nouvelle ressource alimentaire que leur offre **la population d'Ecrevisse de Louisiane** à Grand-Lieu. Cependant, cette monodépendance peut être une fragilité face au changement climatique pour les espèces qui dépendent de cette ressource, telle que la Spatule blanche devenue **spécialiste des naissains d'écrevisse** à Grand-Lieu. Les hérons, aigrettes et Garde-bœufs sont généralistes et peuvent alors changer de proies facilement en cas de chute de la population d'Ecrevisse de Louisiane.

Les grands échassiers démontrent aussi une **stratégie d'adaptation à la prédation des nids**, consistant à changer d'emplacement de nidification au bout d'une dizaine d'années en général. Les colonies **changent alors de saulaies** au niveau du lac, ce qui pourrait leur permettre aussi de retrouver facilement une autre saulaie si l'ancienne commençait à dépérir.

Niveau de confiance : 😐

nulle	faible	moyenne	**forte**

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Localement, les facteurs extérieurs pourraient avoir des impacts importants sur la capacité d'adaptation des grands échassiers au changement climatique. Mais les évolutions de ces facteurs restent difficiles à prévoir.

- **L'Ecrevisse de Louisiane** est donc devenue une nouvelle ressource alimentaire abondante, dont les grands échassiers ont su tirer parti. Mais certaines populations en sont en fait très dépendantes, comme les spatules. L'Ecrevisse de Louisiane semble sensible aux sécheresses estivales, qui risquent d'être plus importantes dans le futur. La fluctuation de la disponibilité de cette ressource pourrait impacter négativement les grands échassiers et particulièrement les Spatules blanches. A noter que la disparition de l'Ecrevisse de Louisiane, même si peu probable, permettrait à la **macrofaune aquatique** de revenir, étant elle-même la ressource historique de nombreuses espèces de grands échassiers.

- **La disparition de la roselière** semble leur être favorable, leur facilitant l'accès à leur ressource trophique. Cependant, cette évolution a été fatale pour le Butor étoilé, et cette tendance risque de se poursuivre dans le futur à cause de la qualité de l'eau et du niveau de l'eau. *A contrario*, **le dépérissement et la fragilisation des saules** à cause des sécheresses intensifiées dans le futur et de l'Yponomeute (ravageur) leur serait défavorable.

- **La protection des espèces et des sites de nidification** localement et dans le département (avec notamment l'interdiction de la chasse sur ces espèces, comme le Héron cendré) leur a été favorable. Le déclassement des espèces semble peu probable, mais dépendra des politiques publiques futures.

- **Des difficultés de migration** ont été notées pour le Crabier chevelu et le Héron pourpré, avec une traversée du Sahel de plus en plus compliquée. La destruction des zones humides au profit de rizières en Afrique est également un facteur aggravant pour ces deux espèces.

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Le changement climatique semble être majoritairement **favorable** aux grands échassiers nicheurs de Grand-Lieu, sauf pour quelques espèces avec des besoins spécifiques. Par exemple, le Butor étoilé est très dépendant des roselières et a disparu du site avec le déclin de son habitat.

Le réchauffement du climat a favorisé la venue et l'installation des grands échassiers de **plus en plus vers le Nord**, tendance qui pourrait bien se poursuivre dans le futur. Mais cette opportunité face au changement climatique pourrait être fragilisée par la **monodépendance** de la Spatule blanche notamment à l'Ecrevisse de Louisiane, espèce exotique envahissante à la population fluctuante et sensible aux sécheresses. La question est aussi posée du devenir des populations nicheuses face à des saulaies fragilisées et sensibles aux sécheresses.

Opportunité

nulle | faible | moyenne | forte | **très forte**

Quelles pistes d'adaptation ?

Comme les grands échassiers nicheurs de Grand-Lieu sont pour l'instant évalués comme ayant une opportunité très forte face au changement climatique, les pistes d'adaptation restent assez réduites :

- Préserver la saulaie pour leur nidification ;
- Préserver la tranquillité du site, grâce au maintien des règles liées aux réserves du lac ;
- Anticiper le comportement des oiseaux : si les saules dépérissent, peuvent-ils nicher sur un autre habitat à Grand-Lieu ? Si la population d'écrevisses chute à cause des sécheresses, pourront-ils se tourner facilement sur une autre proie ?

Sources :

En complément des informations récoltées lors de l'atelier "Patrimoine naturel" avec le comité technique de la démarche Natur'Adapt du lac de Grand-Lieu :

Breiner, F. T., Anand, M., Butchart, S. H. M., Flörke, M., Fluet-Chouinard, E., Guisan, A., Hilarides, L., Jones, V. R., Kalyakin, M., Lehner, B., van Leeuwen, M., Pearce-Higgins, J. W., Voltzit, O., & Nagy, S. (2022). Setting priorities for climate change adaptation of Critical Sites in the Africa-Eurasian waterbird flyways. *Global Change Biology*, *28*(3), 739-752. https://doi.org/10.1111/gcb.15961

Gillier, J.-M., & Reeber, S. (2018). Plan de gestion 2018-2027, Réserve Naturelle Nationale du Lac de Grand-Lieu.

Kelly, J. P., & Condeso, T. E. (2014). Rainfall Effects on Heron and Egret Nest Abundance in the San Francisco Bay Area. *Wetlands*, *34*(5), 893-903. https://doi.org/10.1007/s13157-014-0551-0

Reeber, S. (2026). Les oiseaux du lac de Grand-Lieu : Inventaire actualisé, statut et conservation de l'avifaune du lac de Grand-Lieu. Société Nationale de Protection de la Nature – RNN du lac de Grand-Lieu. https://www.snpn.com/wp-content/uploads/2026/01/Inventaire-des-oiseaux-de-Grand-Lieu.pdf



Guifette moustac
Chlidonias hybrida

S. Reeber, Guifette sur son nid de nénuphars (RNN lac de Grand-Lieu)

VU

Oiseau emblématique du lac de Grand-Lieu, la Guifette moustac forme des colonies dans les **herbiers de nénuphars** du lac. Cette espèce, connue et reconnue des habitués à Grand-Lieu, est menacée en France car ne se concentre que sur **quelques sites** pour la nidification (Brenne, Brière, Dombes, Grand-Lieu, Forez et Sologne). Elle est classée comme **vulnérable** (VU) sur liste rouge de l'UICN au niveau national.

Depuis presque 30 ans, Grand-Lieu est le premier site français pour la reproduction de la Guifette moustac, accueillant entre **25 et 40%** de la population française. Le site fait en outre partie des sites primordiaux pour l'espèce en Europe, accueillant **3%** de la population européenne. Il existe cependant de grandes variations interannuelles sur l'effectif nicheur à Grand-Lieu, avec 400 à 1800 nids selon les années. Cette variation s'explique par la formation d'une **métapopulation**, initialement constatée avec le site de la Brière, mais qui semble s'étendre sur d'autres sites français (Brenne, Sologne), avec même parfois des individus de Grand-Lieu nichant l'année suivante dans le sud de l'Espagne.

La guifette est souvent associée aux herbiers flottants pour la nidification, et à Grand-Lieu, elle est singulièrement et fortement associée aux nénuphars sur lesquels elle construit son **nid flottant**. Le développement des nénuphars conditionne en grande partie l'installation des guifettes sur le lac.

En outre, la Guifette moustac est une espèce longévive, qui a besoin de grands sites favorables pour nicher et qui se nourrit de petits poissons blancs et d'écrevisses. Occupant le dernier niveau trophique, cette espèce n'est pas considérée comme fonctionnellement déterminante, mais sa présence témoigne d'un **bon état de conservation du site**, en particulier de la **qualité de la végétation**.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

La Guifette moustac serait remontée en France à cause de **sécheresses en Espagne**, d'où elle est originaire. Il s'agit d'une théorie, qui n'est pas bien documentée. Bien qu'elles soient d'une grande importance pour les oiseaux notamment migrateurs, **les zones humides espagnoles ont en effet fortement régressé**. Les causes de ces assèchements peuvent être naturelles, à cause de sécheresses climatiques répétées, mais surtout anthropiques à des fins agricoles par exemple (Dìaz-Paniagua *et al.*, 2023 ; Reyes, 2023). L'arrivée des guifettes à Grand-Lieu s'est d'ailleurs faite de **manière brutale** : avant **1995**, les nidifications étaient épisodiques sur le site, puis à partir de cette année (1995 étant d'ailleurs une année de sècheresse record), elles se sont bien installées à Grand-Lieu.

L'espèce a ainsi exploité les **conditions favorables du lac** (voir la partie « Capacité d'adaptation ») pour s'y installer massivement. La question demeure néanmoins de savoir quels facteurs ont retardé cette installation, alors que le site semblait réunir depuis longtemps les conditions nécessaires à son accueil.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

La Guifette moustac est très sensible aux orages, aux vents forts et aux fortes précipitations, car ces évènements font **tremper les nids dans l'eau**, noyant alors les œufs. De plus, il semblerait qu'une augmentation du cumul des précipitations fasse **reculer la date de ponte** (Denoual, 2022).

Les grêles sont aussi très néfastes car elles peuvent **abîmer ou détruire les nids, les œufs et même parfois les adultes** lorsqu'elles sont fortes et que les grêlons sont gros.

L'espèce est **thermophile**, donc elle n'est pas sensible à la hausse des températures, bien que les effets des canicules (juin 2026 : 4 jours à plus de 40°C) sur les poussins ne soient pas bien connus. Pour la migration, la guifette n'est pas non plus sensible aux conditions climatiques : quelles que soient les conditions, les adultes s'en vont du site **dès que la nichée est finie**.

Niveau de confiance : 

nulle	faible	**moyenne**	forte

L'exposition de l'objet au changement climatique

La Guifette moustac risque d'être exposée aux **évènements extrêmes** à Grand-Lieu, qui sont cependant difficiles à prédire. Les précipitations augmenteront en hiver et diminueront en été, avec une intensification possible des pluies en hiver. Ce paramètre semble dur à prédire, et il est incertain si cela concernerait les guifettes en nidification.

Les **orages** et les **vents** n'ont pas été analysés durant le récit climatique mais ces évènements extrêmes risquent d'être intensifiés également, en étant plus fréquents et plus violents.

La colonie de guifettes à Grand-Lieu est **la plus septentrionale**, donc elles seraient exposées aux températures en hausse sans que cela ne les impacte vraiment.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

La guifette possède une **grande plasticité pour le choix de son site de nidification**. Elle n'a pas d'attachement au site, et peu même rester longtemps en mer avant de chercher à nicher.

Bien qu'elle soit adaptable en termes de site, elle n'est cependant **pas adaptable en termes d'habitat**. Il est nécessaire pour elle que son site de nidification soit en eau douce (bien qu'elle tolère l'eau saumâtre), qu'il y ait de la végétation flottante sur de grandes étendues, du calme (sans passage sur l'eau) et de la place. Le lac de Grand-Lieu est alors un des seuls sites en France à remplir tous ces critères. Bien qu'il soit le plus favorable tardivement, lorsque le niveau d'eau est assez bas pour favoriser au mieux la pousse des nénuphars, il reste un bon site pour la ressource trophique qui n'est *a priori* pas limitée, le site étant toujours en eau.

Chaque individu répond différemment aux conditions environnementales de l'année selon son expérience. Les stratégies peuvent être de **pondre un maximum d'œufs mais de plus petite taille** ou bien **moins d'œufs mais plus gros** (Paillisson *et al.*, 2007). Si le nid et les œufs sont détruits à cause des intempéries, les adultes peuvent **nicher à nouveau** sur place si le site est toujours attractif et que les œufs détruits avaient été pondus récemment, en s'investissant moins dans la nichée. Ils peuvent également changer de site, ou même reprendre le chemin de l'hivernage.

Elle passe l'hiver en Afrique de l'Ouest et tropicale, où elle pourrait **bénéficier indirectement des rizières** face au potentiel assèchement des zones humides africaines dans le futur (Breiner *et al.*, 2022).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	**moyenne**	forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Les **herbiers flottants** sont le support de nidification des guifettes à Grand-Lieu, la qualité des nénuphars est alors importante pour la stabilité du nid, avec une bonne densité de feuilles (Paillisson & Chambon, 2021). A Grand-Lieu, il existe initialement une bonne diversité de végétation aquatique utilisée par les guifettes pour construire leur nid : les **nénuphars blancs** sont utilisés de préférence, avec l'ajout d'**hélophytes** comme matériaux de construction de la plate-forme flottante de nidification, stabilisant le nid. Il y a ainsi une relation directe entre l'utilisation de scirpes ou autre hélophyte et le succès de l'envol des jeunes.

A titre de comparaison, les Guifettes utilisent aussi des supports de nidification alternatifs (rarement sur Grand-Lieu) : les herbiers de jussie en Brière, des secteurs de prairies inondées voire des touradons de *Carex*.

Le **niveau d'eau** impacte indirectement la Guifette moustac en influant sur les nénuphars. Avec un niveau d'eau plus haut au printemps, les nénuphars produisent des tiges plus longues et plus fines (Paillisson & Marion, 2006), rendant l'herbier plus **instable**. Au contraire, un niveau d'eau plus bas au printemps est davantage favorable, permettant une **émergence plus tôt** des herbiers et une **formation plus stable** de ces derniers pour l'installation des nids (Paillisson *et al.*, 2006).

Une **qualité d'eau** avec un minimum de **transparence** est aussi nécessaire à la guifette pour pouvoir voir les poissons et pêcher.

La **qualité de l'habitat de reproduction et le type de proies** (invertébrés ou poissons) détermine la taille de la ponte et la taille des œufs (Paillisson *et al.*, 2007). Auparavant, les invertébrés étaient des proies faciles dans les marais, mais ils ont subi une forte régression face à la prédation par l'Ecrevisse de Louisiane et face à la dégradation de la qualité d'eau.

Dans le futur, il est possible que les herbiers de nénuphars connaissent une **dégradation dans la continuité actuelle**, en lien avec une diminution de la qualité de l'eau et la prédation par les espèces exotiques envahissantes.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

La Guifette moustac, espèce **témoin du bon état écologique** d'un site, est exigeante concernant son habitat de nidification. De ce fait, seulement **quelques sites français** accueillent cet oiseau en période de nidification (Brenne, Brière, Dombes, Grand-Lieu, Forez et Sologne).

Même si cette espèce est **sensible aux orages et aux fortes précipitations** (qui risquent de s'intensifier avec le changement climatique futur), le principal facteur déterminant sa persistance au lac de Grand-Lieu est moins le changement climatique que **l'état de l'herbier de nénuphars**. Sans ces herbiers, les guifettes ne pourront plus nicher à Grand-Lieu. Sur la tendance actuelle, les nénuphars sont **en régression** et la tendance risque de se poursuivre, à cause notamment de la dégradation de la qualité de l'eau et des espèces exotiques envahissantes. Le changement climatique accentuera alors davantage ces causes de dégradation de l'herbier, en plus d'impacter la survie des nichées avec des évènements de précipitations et de chaleur plus intenses.

Il y aurait alors un **risque de perte locale**, dans un contexte où seulement six sites sont favorables à la nidification de la Guifette moustac en France. Cette espèce **pourra se relocaliser**, à condition qu'elle trouve des conditions aussi favorables dans d'autres pays.

Vulnérabilité

nulle	faible	**moyenne**	forte	très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

- Face à la régression et la fragilisation des herbiers de nénuphars, une première action pourrait être de diversifier les herbiers en **restaurant une diversité d'hélophytes et de plantes aquatiques**.
- Notamment, les scirpes sont des plantes de choix pour la stabilité et la flottaison des nids. Une autre action pourrait être de **fournir des scirpes** aux guifettes pour favoriser des nids solides, mais encore faudrait-il avoir des scirpes. En plus de restaurer par exemple des scirpaies, l'idée pourrait être de fournir directement aux oiseaux des tiges ou des radeaux flottants d'hélophytes (scirpes ou roseaux).
- Les **grosses exondations** semblent favorables aux herbiers, scirpaies et roselières, en plus d'être efficace pour lutter contre la Jussie. Bien que la gestion du niveau d'eau soit très discutée à Grand-Lieu, ce type d'action pourrait être considérée certaines années, pour redynamiser la végétation du lac.
- Devenir **présent et actif sur les réseaux sociaux** serait un moyen de **communiquer des faits scientifiques** notamment sur les conséquences de la gestion des niveaux d'eau sur l'écosystème, sur les nénuphars et les guifettes mais aussi sur les autres milieux et espèces.

Sources :

En complément des informations récoltées lors d'un entretien avec Sébastien Reeber, chargée d'études scientifiques et ornithologue à la RNN du lac de Grand-Lieu :

Breiner, F. T., Anand, M., Butchart, S. H. M., Flörke, M., Fluet-Chouinard, E., Guisan, A., Hilarides, L., Jones, V. R., Kalyakin, M., Lehner, B., van Leeuwen, M., Pearce-Higgins, J. W., Voltzit, O., & Nagy, S. (2022). Setting priorities for climate change adaptation of Critical Sites in the Africa-Eurasian waterbird flyways. *Global Change Biology*, *28*(3), 739-752. https://doi.org/10.1111/gcb.15961

Denoual, L. (2022). Impact des conditions hydroclimatiques sur les variations inter-annuelles des traits de reproduction chez la Guifette moustac (*Chlidonias hybrida*). Rapport de stage de master, Université de Rennes 1.

Díaz-Paniagua, C., Borrego, D. A., & Toro, M. de F. (2023, juin 7). *Satellite images show that Spain is in danger of drying out one of the main wetlands in Europe*. The Conversation. https://doi.org/10.64628/AAO.v5snkhvfr

Paillisson, J.-M., & Chambon, R. (2021). Variation in male-built nest volume with nesting-support quality, colony, and egg production in whiskered terns. *Ecology and Evolution*, *11*(22), 15585-15600. https://doi.org/10.1002/ece3.8162

Paillisson, J.-M., & Marion, L. (2006). Can small water level fluctuations affect the biomass of *Nymphaea alba* in large lakes? *Aquatic Botany*, *84*(3), 259-266. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.10.004

Paillisson, J.-M., Reeber, S., Carpentier, A., & Marion, L. (2006). Plant-water regime management in a wetland : Consequences for a floating vegetation-nesting bird, whiskered tern Chlidonias hybridus. In D. L. Hawksworth & A. T. Bull (Éds.), *Marine, Freshwater, and Wetlands Biodiversity Conservation* (p. 101-112). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5734-2_8

Paillisson, J.-M., Reeber, S., Carpentier, A., & Marion, L. (2007). Reproductive parameters in relation to food supply in the whiskered tern (Chlidonias hybrida). *Journal of Ornithology*, *148*(1), 69-77. https://doi.org/10.1007/s10336-006-0102-4

Reyes, L. F. B. (2023). An Approach to the Natural and Induced Evolution of Wetlands at La Mancha Húmeda (Central Spain) – We Are Arriving Too Late. In *Birds—Conservation, Research and Ecology*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1001847

Peuplement piscicole



JM Gillier, brochet juvénile (RNN Lac de Grand-Lieu)

Le peuplement piscicole à Grand-Lieu est le support de l'activité de **pêche professionnelle**, comportant des espèces patrimoniales et protégées, dont la pêche est réglementée (**Anguille européenne**, **Brochet**). Ce cortège est également une importante **ressource trophique** pour les oiseaux piscivores.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Représentatif de l'état trophique d'une masse d'eau, le peuplement de poissons du lac de Grand-Lieu a bien évolué au fil des années, suivant la **dégradation de la qualité de l'eau**. Les **poissons omnivores et tolérants** sont devenus dominants, passant d'un assemblage typique des lacs de plaine végétalisés en eaux peu turbides (Perche-Brochet-Rotengle) à un **assemblage de lac eutrophisé** (Brème-Sandre-Gardon). De plus, la guilde des migrateurs amphihalins s'est bien appauvrie notamment à cause des **ouvrages hydrauliques**, et les poissons prédateurs ont régressé, donnant lieu à un **déséquilibre dans les niveaux trophiques** (rapports DCE, 2017, 2025).

Avec la hausse des températures et l'eutrophisation de l'eau, la population de **carassins** a fortement augmenté depuis la dernière décennie dans le lac, tandis que le **Gardon** a régressé. La **population d'anguilles semble rester relativement stable selon les pêcheurs**, avec un assez bon recrutement naturel des civelles si la gestion du niveau d'eau est bien adaptée. **L'Ecrevisse de Louisiane** (espèce exotique envahissante) est arrivée depuis 15-20 ans à Grand-Lieu.

L'épisode caniculaire de juin 2026, avec **4 jours à plus de 40°C**, a provoqué une mortalité de poissons sans précédent : des centaines de poissons morts dans les verveux et flottants à la surface, majoritairement des gros brochets. Des gros sandres ainsi que des perches (petites et grosses) sont également mortes. Même des poissons-chats ont été vu en souffrance, s'agitant sous la surface de l'eau, avec une température maximale de l'eau enregistrée à 36°C.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

- + de 42% des poissons d'eau douce **menacés d'extinction** (Ford *et al.*, 2026).
- Perte d'adéquation thermique de l'habitat plus rapide pour les **espèces d'eau plus froide** et les **espèces sténothermes** (supportant de faibles variations de températures) (Jeppesen *et al.*, 2012 ; Xu *et al.*, 2024).
- **Limites thermiques** (Tissot & Souchon, 2011) **:**
  - Brochet → 31°C
  - Perche → 33°C
  - Brème et Sandre → 35°C
  - et donc sensibilité à la **↘ d'oxygène**.

- **Eclosion des œufs** et **croissance des jeunes poissons** sensibles à la température (Mooij *et al.*, 2008).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

- ↗ des **températures de l'eau** du lac avec la ↗ des températures atmosphériques.
- **12%** (RCP2.6), **27%** (RCP6.0) ou **66%** (RCP8.5) des lacs du monde évolueront vers une région thermale de plus basse latitude d'ici la fin du siècle (Maberly *et al.*, 2020).
- ↗ des **températures maximales** : plus grave que les variations extrêmes des débits (Barbarossa *et al.*, 2021).
- **36%** (à +3,2°C), **9%** (à +2°C) ou **4%** (à +1,5°C) des espèces de poissons d'eau douce du monde auront plus de la moitié de leur aire géographique actuelle exposée à des **extrêmes climatiques majeurs** (Barbarossa *et al.*, 2021).
- ↗ des **précipitations hivernales**, **intensification** des pluies.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

- **Espèces eurythermes** (supportant une large gamme de températures) avantagées par l'augmentation des températures (Jeppesen *et al.*, 2012).
- **Augmentation du taux de croissance** de la Brème, du Gardon (où introduit) et de la Perche (jusqu'à un certain point) avec ↗ des températures (dans le nord surtout – Pays-Bas, mais pas dans le sud – Italie – pour la Perche) (Jeppesen *et al.*, 2012 ; Tien *et al.,* 2024).

  Pareil pour le Sandre avec ↗ des températures et de la concentration en chlorophylle-*a* (Europe centrale) (Tesfaye *et al.,* 2023).
- **Avancement de l'éclosion** et **augmentation de la taille des juvéniles** (Brème) ? (Mooij *et al.*, 2008)

Niveau de confiance : 

nulle	**faible**	moyenne	forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

- **Obstacles à la migration** et **discontinuité écologique :** impacts sur les espèces migratrices, encore plus vulnérables. Facteurs majeurs de perte de résilience des bassins versants européens face au changement climatique (Ford *et al.*, 2026 ; Markovic *et al.*, 2017).

- **Eutrophisation :** favorise les espèces tolérantes et résistantes → croissance favorisée par charge en chlorophylle-*a* et turbidité (Sandre) (Tesfaye *et al.*, 2023).

  Interaction entre température de l'eau et **eutrophisation** (« browning ») ↘ la biomasse des stocks de poissons (Perche) (van Dorst *et al.*, 2019), possiblement lié à **↘ du taux d'oxygène disponible** sur longues périodes. ↗ de la température favorisée par l'eutrophisation dans lac peu profond ?

- Augmentation du **lessivage des sols** lors des fortes pluies : renforcement de l'eutrophisation et des cyanobactéries toxiques → effets négatifs des **cyanotoxines** sur la santé des poissons : effets négatifs sur les systèmes antioxydant, immunitaire, inflammatoire ou endocrinien (Falfushynska *et al.*, 2023). Petits poissons consommant les prédateurs des phytoplanctons favorisés (Jeppesen *et al.*, 2011).

- **Pollution de l'eau :** en plus de l'eutrophisation, impact des PFAS, produits pharmaceutiques non-traités, microplastiques et pesticides sur la santé des poissons : toxiques (cellules, gènes, neurones…), bioaccumulation (Ford *et al.,* 2026 ; Huang *et al.*, 2026 ; Savoca & Pace, 2021).

- **Niveau d'eau** : ex. Brochet → doit permettre le développement des brochetons dans les marais (frayères) (Béon, 2018). Impacts de la concentration des poissons lors des niveaux (très) bas (O_2, polluants…) ?

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Les poissons ont globalement **peu de possibilité d'adaptation** face à une eau qui surchauffe et qui perd en oxygène. La qualité de l'eau déjà dégradée risque d'empirer, avec des cyanotoxines néfastes, des polluants qui s'accumulent et se concentrent lors des niveaux d'eau bas et des sécheresses. Les espèces eurythermes et les exotiques envahissantes pourraient mieux s'en sortir, mais la question du taux d'oxygène risque de les impacter aussi.

Vulnérabilité

nulle | faible | moyenne | forte | **très forte**

Quelles pistes d'adaptation ?

- **Renforcer les lois et les réglementations** : mieux traiter les eaux usées, avoir des contrôles plus stricts des pollutions en amont, saisons de fermeture de pêche, zones de protection strictes… (Ford *et al.*, 2026).

- **Restaurer les écosystèmes aquatiques et leur permettre d'être plus résilients face aux perturbations**. 5 piliers : régime hydrologique, connectivité, qualité de l'eau, habitats diversifiés et complexes, communautés d'espèces diversifiées, complexes et endémiques (Ford *et al.*, 2026).
  → Changer les pratiques agricoles pour réduire la charge de nutriments s'écoulant dans l'eau,

restaurer des zones humides et zones tampons, reméandrer les cours d'eau en amont… (Jeppesen *et al.*, 2011).

Sources :

Béon, L. (2018). Etude de la dynamique de population des brochetons et de la fonctionnalité des frayères à brochets sur le lac de Grand-Lieu en lien avec la gestion des niveaux d'eau. [Mémoire de stage]. Université de Rennes 1, Master Gestion des Habitats et des Bassins Versants

Barbarossa, V., Bosmans, J., Wanders, N., King, H., Bierkens, M. F. P., Huijbregts, M. A. J., & Schipper, A. M. (2021). Threats of global warming to the world's freshwater fishes. *Nature Communications*, *12*(1), 1701. https://doi.org/10.1038/s41467-021-21655-w

Falfushynska, H., Kasianchuk, N., Siemens, E., Henao, E., & Rzymski, P. (2023). A Review of Common Cyanotoxins and Their Effects on Fish. *Toxics*, *11*(2), 118. https://doi.org/10.3390/toxics11020118

Ford, M., Adams, C., Amaral, S., Artaev, O., Bănăduc, D., Barbieri, R., Bean, C., Bravničar, J., Buj, I., Ćaleta, M., Carosi, A., Denys, G., Didenko, A., Doadrio, I., Filipe, A. F., Freyhof, J., Golub, D., Kostov, V., Lorenzoni, M., Magalhães, M. F., Marčić, Z., Marić, S., Oikonomou, A., Perea, S., Ribeiro, F., Šanda, R., Seehausen, O., Selz, O., Shumka, S., Simonović, P., Stefanov, T., Clay, J., Sayer, C. A., Shirkhorshidi, M., and Trottet, A. (2026). Measuring the pulse of European biodiversity. European Red List of Freshwater Fishes. Brussels, Belgium: European Commission. https://doi.org/10.2779/880135

Huang, K., Zhang, Z., Han, G., Kong, R., Qin, H., Zhang, H., Letcher, R. J., Qiu, W., Liu, C., Shi, J., & Rohr, J. R. (2026). Chronic low-dose exposure to chlorpyrifos reduces life span in a wild fish by accelerating aging. *Science*, *391*(6782), 275-279. https://doi.org/10.1126/science.ady4727

Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J. E., Audet, J., Søndergaard, M., Hoffmann, C. C., Andersen, H. E., Lauridsen, T. L., Liboriussen, L., Larsen, S. E., Beklioglu, M., Meerhoff, M., Özen, A., & Özkan, K. (2011). Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe : Implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, *663*(1), 1-21. https://doi.org/10.1007/s10750-010-0547-6

Jeppesen, E., Mehner, T., Winfield, I. J., Kangur, K., Sarvala, J., Gerdeaux, D., Rask, M., Malmquist, H. J., Holmgren, K., Volta, P., Romo, S., Eckmann, R., Sandström, A., Blanco, S., Kangur, A., Stabo, H. R., Tarvainen, M., Ventela, A.-M., Sondergaard, M., … Meerhoff, M. (2012). Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia*, *694*(1), 1-39. https://doi.org/10.1007/s10750-012-1182-1

Maberly, S. C., O'Donnell, R. A., Woolway, R. I., Cutler, M. E. J., Gong, M., Jones, I. D., Merchant, C. J., Miller, C. A., Politi, E., Scott, E. M., Thackeray, S. J., & Tyler, A. N. (2020). Global lake thermal regions shift under climate change. *Nature Communications*, *11*(1), 1232. https://doi.org/10.1038/s41467-020-15108-z

Markovic, D., Carrizo, S. F., Kärcher, O., Walz, A., & David, J. N. W. (2017). Vulnerability of European freshwater catchments to climate change. *Global Change Biology*, *23*(9), 3567-3580. https://doi.org/10.1111/gcb.13657

Mooij, W. M., De Senerpont Domis, L. N., & Hülsmann, S. (2008). The impact of climate warming on water temperature, timing of hatching and young-of-the-year growth of fish in shallow lakes in the Netherlands. *Journal of Sea Research*, *60*(1-2), 32-43. https://doi.org/10.1016/j.seares.2008.03.002

Savoca, D., & Pace, A. (2021). Bioaccumulation, Biodistribution, Toxicology and Biomonitoring of Organofluorine Compounds in Aquatic Organisms. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(12), 6276. https://doi.org/10.3390/ijms22126276

Tesfaye, M., Souza, A. T., Soukalová, K., Šmejkal, M., Hejzlar, J., Prchalová, M., Říha, M., Muška, M., Vašek, M., Frouzová, J., Blabolil, P., Boukal, D. S., & Kubečka, J. (2023). Somatic growth of pikeperch (Stizostedion lucioperca) in relation to variation in temperature and eutrophication in a Central Europe Lake. *Fisheries Research*, *267*. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106824

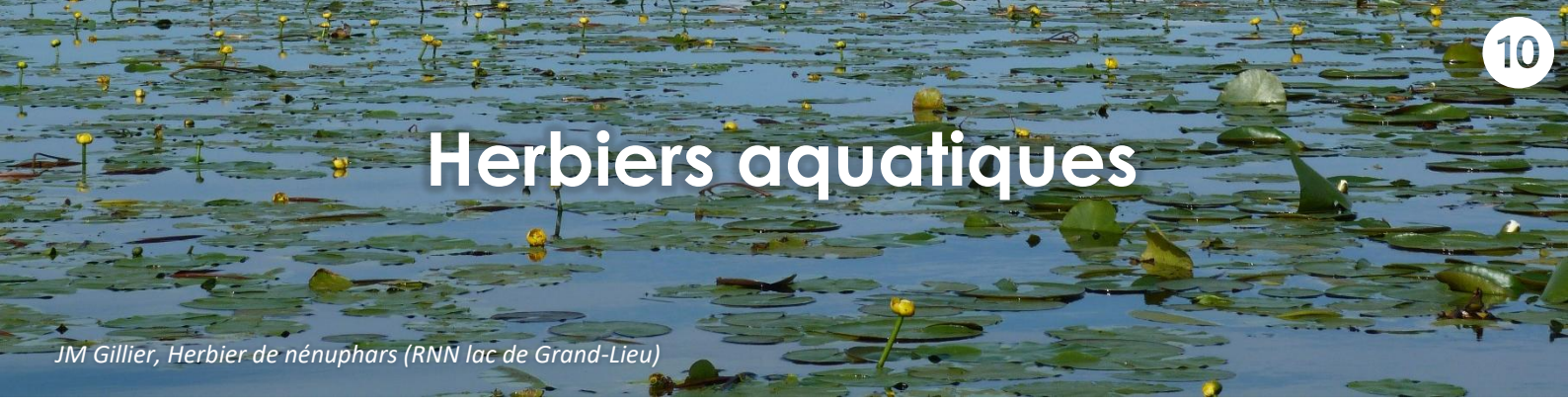
Tien, N. S. H., de Leeuw, J. J., van Rijssel, J. C., van der Hammen, T., & Volwater, J. J. J. (2024). Temperature-related increase in growth rate in four freshwater lake fish species. *Journal of Fish Biology*, *104*(6), 2044-2055. https://doi.org/10.1111/jfb.15745

Tissot, L., & Souchon, Y. (2011). Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécologie Appliquée*, *17*, 17-76. Hal-00602627.

Van Dorst, R. M., Gårdmark, A., Svanbäck, R., Beier, U., Weyhenmeyer, G. A., & Huss, M. (2019). Warmer and browner waters decrease fish biomass production. *Global Change Biology*, *25*(4), 1395-1408. https://doi.org/10.1111/gcb.14551

Xu, L., Feiner, Z. S., Frater, P., Hansen, G. J. A., Ladwig, R., Paukert, C. P., Verhoeven, M., Wszola, L., & Jensen, O. P. (2024). Asymmetric impacts of climate change on thermal habitat suitability for inland lake fishes. *Nature Communications*, *15*(1), 10273. https://doi.org/10.1038/s41467-024-54533-2

Herbiers aquatiques



JM Gillier, Herbier de nénuphars (RNN lac de Grand-Lieu)

Les herbiers aquatiques à Grand-Lieu, emblématiques du site, font partie intégrante du patrimoine paysager du lac.

Les potamots et lentilles d'eau sont des habitats d'intérêts communautaires, alors que les herbiers flottants de nénuphars ne le sont pas. Ces derniers sont cependant **les plus largement représentés** à Grand-Lieu aujourd'hui : les **Nuphars jaunes et Nénuphars blancs** occupent 600 ha de la zone centrale, suivis par les **Châtaignes d'eau** sur 12 ha puis par les **Limnanthèmes faux-nénuphar** sur moins de 2 ha. L'ensemble Nénuphars - Chataîgnes d'eau - Limnanthèmes est d'ailleurs un assemblage **unique** par sa superficie en Europe de l'Ouest.

Les herbiers aquatiques flottants, les plus présents au lac, sont **importants pour la biodiversité** : ils servent de support de nidification à la Guifette moustac, oiseau emblématique du lac ; ils sont des zones d'alimentation ou de reproduction pour les poissons ou les insectes ; ils structurent le peuplement phytoplanctonique et favorisent la coexistence de communautés de phytoplanctons différentes (Pannard *et al.*, 2023). En effet, en faisant baisser la température de l'eau, la turbidité ou en modifiant la concentration en oxygène, ils créent des micro-habitats contrastés qui empêchent une homogénéisation du lac et favorisent la biodiversité phytoplanctonique. Enfin, ils jouent également un rôle **d'épuration de l'eau** des excès d'azote et de phosphore (Wang *et al.*, 2022) et des métaux lourds (Dumalagan *et al.*, 2022).

Au-delà des herbiers émergeants, les herbiers de **plantes immergées** étaient également structurants à Grand-Lieu, composés de différents potamots, de la Grande naïade ou encore de la Zannichellie des marais. Mais ceux-ci, nécessitant une bonne transparence de l'eau, ont **subi l'eutrophisation du lac**, laissant la place à des espèces plus polluo-tolérantes ou flottantes (Palominos, 2016).

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

La faible tendance à la progression des herbiers de nénuphars du lac de Grand-Lieu entre 2007 et 2015 n'est aujourd'hui plus d'actualité : les herbiers de nénuphars ont **perdu 5% de leur surface entre 2018 et 2021** (Gillier & Reeber, 2024).

Les explications possibles sont **multiples**, le changement climatique en faisant partie. Il provoque en effet des pics de températures très importantes, pouvant brûler les feuilles, et induit une élévation générale des températures favorisant des blooms de cyanobactéries de plus en plus importants et précoces, liés à l'eutrophisation. Ces conditions ont favorisé l'installation de l'Ecrevisse de Louisiane et de poissons fouisseurs pouvant aussi dégrader ces herbiers. Les contraintes mécaniques du vent dans le nord-est de la zone centrale, les mouvements sédimentaires ou encore les micropolluants s'ajoutent aux nombreuses causes possibles de la **réduction des nénuphars** et du **déchaussement de leurs rhizomes** sur la partie ouest. Une **forte régression du Limnanthème faux-nénuphar et de la Châtaigne d'eau** a également été observée.

Les plantes aquatiques immergées sont finalement celles qui ont le plus souffert à Grand-Lieu. Elles ont quasiment **disparu** du site à cause de l'eutrophisation et de la turbidité, renforcées d'année en année avec les blooms de cyanobactéries. Lors d'un échantillonnage en 2021, seulement 9 taxons des 15 comptés en 2018 ont été retrouvés, avec **seulement deux potamots** (Potamot à feuilles de graminée, Potamot

pectiné) et **sans aucune characée** (algue d'eau douce exigeante en termes de qualité d'eau) (Gillier & Reeber, 2024).

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Les herbiers aquatiques sont sensibles à de nombreux paramètres climatiques :

- Le **niveau d'eau** influence la croissance et la fragilité des nénuphars (Paillisson & Marion, 2006) : plus le niveau d'eau est haut (par ex. : précipitations hivernales importantes), plus les nénuphars fabriquent des tiges longues mais fines. Ils mettent également plus de temps à émerger de la surface.
- Les **pics de chaleur** et les **extrêmes de température en été** peuvent brûler les feuilles de nénuphars, comme cela a déjà été constaté sur le lac.
- Les **chaleurs précoces et récurrentes** provoquent des blooms de cyanobactéries qui bloquent la lumière et empêchent le développement des plantes immergées (Lind *et al.*, 2022).
- De plus, les plantes aquatiques immergées sont fortement sensibles à la **conjonction entre les vagues de chaleur et les effluents agricoles et domestiques** provoquant l'eutrophisation du lac. Cela favorise la croissance d'algues, la turbidité de l'eau et donc le déclin des végétaux immergés (Zhang *et al.*, 2022).
- Enfin, la **hausse générale des températures** permet aux espèces exotiques envahissantes de se développer, notamment l'Ecrevisse de Louisiane qui consomme les feuilles des plantes aquatiques et contribue fortement à la dégradation des herbiers à Grand-Lieu.

Les plantes aquatiques flottantes, dominantes à Grand-Lieu, semblent alors **moins sensibles** que les plantes immergées.

Niveau de confiance : 



L'exposition de l'objet au changement climatique

Le changement climatique sera **très défavorable** aux herbiers aquatiques, particulièrement aux plantes immergées restantes.

L'évolution du niveau d'eau dépendra de la **gestion du vannage**, mais aussi des **évènements extrêmes :** les sécheresses estivales plus importantes influenceront ce paramètre à la baisse, alors que les inondations et les pluies plus importantes en hiver l'influenceront à la hausse.

A l'image de l'été 2026, les pics de chaleur et les extrêmes de températures seront **plus importants et plus longs**. Les grosses chaleurs seront aussi **plus précoces**, donnant la possibilité aux cyanobactéries de **se développer plus tôt dans l'année**, bloquant la lumière de façon précoce. Les dernières plantes immergées du lac auront alors du mal à persister.

La hausse générale des températures sera favorable à l'installation et au développement des **espèces exotiques envahissantes et des espèces tolérantes**, telles que l'Ecrevisse de Louisiane ou les poissons fouisseurs, qui augmentent la turbidité du lac (Moi *et al.*, 2020).

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Face aux changements du niveau d'eau, les nénuphars sont capables de s'y adapter en **modifiant la longueur et la robustesse de leur tige** pour pouvoir atteindre la surface (Paillisson & Marion, 2006). Mais les extrêmes de hauteur d'eau pourraient les fragiliser, notamment lors des fortes exondations en fin d'été.

Au sein de la communauté des plantes immergées, **l'hypohydrophilie** (le transport du pollen dans l'eau pour la reproduction) augmente pour s'adapter à une augmentation des précipitations (Kim & Nishihiro, 2020).

Mais face à la turbidité de l'eau, les plantes immergées n'ont **pas de capacité d'adaptation**. Les plantes aquatiques flottantes en profiteront alors et **domineront** le peuplement de végétaux aquatiques (Lind *et al.*, 2022 ; Kim & Nishihiro, 2020). La succession écologique dans ce cas peut même mener à une **dominance par les algues**. Ces changements risqueraient d'être **plus rapides** dans les lacs petits et peu profonds (Lind *et al.*, 2022).

Cette succession semble confirmée par la classification de Rozanska-Boczula et Sender (2025), ou par les équilibres alternatifs de Scheffer (1993) : dans les lacs peu profonds très eutrophes et hypereutrophes, **l'équilibre de l'écosystème est rompu**, avec la dominance des macrophytes émergeants qui remplacent les macrophytes immergés déclinants. Les macrophytes émergeants peuvent ensuite eux-mêmes décliner, résultant en un lac dépourvu de végétation, les algues prenant finalement le dessus. En conséquence de ce changement de régime est attendue une **augmentation des émissions de gaz à effet de serre** du lac, notamment de méthane (Aben *et al.*, 2022). Le changement climatique en serait alors renforcé.

La hausse des températures fait augmenter **la richesse spécifique** quel que soit le type trophique du lac (Lewerentz *et al.*, 2023). Mais **combinée à une importante turbidité et une forte concentration en nutriments**, la réponse est différente : les espèces **les plus vulnérables** sont celles nécessitant une bonne luminosité, c'est-à-dire les plantes immergées. Les **moins vulnérables** sont celles avec une forte biomasse, comme cela est le cas pour les nénuphars ou les jussies.

Finalement, dans de telles conditions, les **espèces plus compétitives et invasives** pourraient prendre la place des espèces moins tolérantes et plus fragiles (Lind *et al.*, 2022).

Niveau de confiance : 

nulle | **faible** | moyenne | forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

L'**eutrophisation** est le premier et le plus impactant des facteurs extérieurs pour les herbiers aquatiques. Les impacts sont bien plus importants pour les plantes immergées que pour les flottantes, étant très sensibles à la turbidité.

En fait, les caractéristiques du lac (turbidité, qualité) causent la majorité des changements dans la communauté de macrophytes aquatiques, le **climat n'intervenant qu'en second plan** (Kim & Nishihiro, 2020). Le **bassin versant du lac et l'urbanisation alentour** ont ainsi de gros impacts : la taille du bassin versant influence les apports de nutriments et la sédimentation, ce qui peut faire changer la trophie du lac, donc la composition et la biodiversité des plantes aquatiques comme vu précédemment (Rozanska-Boczula & Sender, 2025). L'eutrophisation induira un avantage compétitif pour le phytoplancton (notamment les cyanobactéries) et les pesticides fragiliseront les macrophytes (Lopez Moreira Mazacotte *et al.*, 2023).

Les **plantes exotiques, les crustacés exotiques envahissants ou encore les poissons fouisseurs** seront plus dominants dans le futur car ils sont en général polluo-résistants et tolérants à la chaleur. Les risques de dégradation des herbiers (par **consommation**, **bioturbation** ou **compétition**) par ces espèces seront alors plus importants.

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Les herbiers aquatiques sont dans l'ensemble en déclin au lac de Grand-Lieu, et **l'addition du changement climatique et de l'eutrophisation** rendent cet ensemble floristique fortement vulnérable. Les **plantes immergées sont particulièrement menacées**, alors qu'elles sont structurantes et indispensables au bon fonctionnement de l'écosystème lacustre. Sans elles, le lac risque d'émettre une quantité importante de **gaz à effet de serre**, notamment du méthane, renforçant le changement climatique.

Le système du lac de Grand-Lieu semble avoir déjà évolué vers un lac **dominé par les macrophytes flottants, eux-mêmes déjà en régression**, témoignant d'une dégradation prononcée de l'écosystème. Les effluents agricoles et domestiques sont la cause principale de ce changement de régime, et la restauration de la qualité de l'eau ressort comme étant la mesure la plus indispensable et urgente.

Vulnérabilité

nulle | faible | moyenne | **forte** | très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

- La **restauration de la qualité de l'eau** est le premier levier à activer, permettant du même coup de réduire la dominance des cyanobactéries et la turbidité.
- Par la suite, la **restauration d'herbiers immergées** permettrait de retrouver un équilibre au sein du cortège floristique aquatique, mais ne fonctionnera pas sans restaurer d'abord la qualité de l'eau.
- La dominance de macrophytes flottants indique souvent une simplification du réseau trophique (contrôle « bottom-up »). Une mesure proposée par Moi *et al.* (2020) consisterait en la

réintroduction de poissons top-prédateurs pour favoriser le contrôle « top-down », permettant de favoriser les plantes immergées, par la réduction de la disponibilité en phosphore et donc de la turbidité.

Sources :

Aben, R. C. H., Velthuis, M., Kazanjian, G., Frenken, T., Peeters, E. T. H. M., Van de Waal, D. B., Hilt, S., de Senerpont Domis, L. N., Lamers, L. P. M., & Kosten, S. (2022). Temperature response of aquatic greenhouse gas emissions differs between dominant plant types. *Water Research*, *226*, 119251. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119251

Dumalagan, F. A., Escote, M. J. V., & Boyles, L. Z. (2022). Bioaccumulation of Heavy Metals in Water Lilies (Nymphaea sp.) and Water Analysis in Lake Leonard and Lake PBCC, Mindanao Island, Philippines. *International Journal of Biosciences*, *21*(6), 140-150. https://doi.org/10.12692/ijb/21.6.140-150

Gillier, J.M. et Reeber, S. (2024). Suivi de la zone centrale du lac de Grand-Lieu 2021-2022. Rapport – Société Nationale de Protection de la Nature.

Kim, J. Y., & Nishihiro, J. (2020). Responses of lake macrophyte species and functional traits to climate and land use changes. *Science of The Total Environment*, *736*, 139628. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139628

Köhler, J., Hilt, S., Adrian, R., Nicklisch, A., Kozerski, H. P., & Walz, N. (2005). Long-term response of a shallow, moderately flushed lake to reduced external phosphorus and nitrogen loading. *Freshwater Biology*, *50*(10), 1639-1650. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01430.x

Lewerentz, A., Hoffmann, M., Hovestadt, T., Raeder, U., & Sarmento Cabral, J. (2023). Synergistic effects between global warming and water quality change on modelled macrophyte species richness. *Oikos*, *2023*(10), e09803. https://doi.org/10.1111/oik.09803

Lind, L., Eckstein, R. L., & Relyea, R. A. (2022). Direct and indirect effects of climate change on distribution and community composition of macrophytes in lentic systems. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *97*(4), 1677-1690. https://doi.org/10.1111/brv.12858

López Moreira Mazacotte, G. A., Polst, B. H., Gross, E. M., Schmitt-Jansen, M., Hölker, F., & Hilt, S. (2023). Microcosm experiment combined with process-based modeling reveals differential response and adaptation of aquatic primary producers to warming and agricultural run-off. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1120441. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1120441

Moi, D. A., Alves, D. C., Antiqueira, P. A. P., Thomaz, S. M., & Et., A. (2020). Ecosystem Shift from Submerged to Floating Plants Simplifying the Food Web in a Tropical Shallow Lake. *Ecosystems*. https://doi.org/10.1007/s10021-020-00539-y

Paillisson, J.-M., & Marion, L. (2006). Can small water level fluctuations affect the biomass of *Nymphaea alba* in large lakes? *Aquatic Botany*, *84*(3), 259-266. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.10.004

Palominos, L. (2016). Synthèse et mise à jour des données sur les habitats naturels de la Réserve Naturelle Nationale du lac de Grand-Lieu. Rapport - Société Nationale de Protection de la Nature.

Pannard, A., Massé, S., Llopis, S., Leitao, M., Morata, S., Bouger, G., Gillier, J.-M., & Piscart, C. (2024). Rooted floating-leaf macrophytes structure the coexistence of different phytoplankton assemblages within a shallow lake. *Hydrobiologia*, *851*(4), 915-939. https://doi.org/10.1007/s10750-023-05366-5

Różańska-Boczula, M., & Sender, J. (2025). Exploring the relationships between macrophyte groups and environmental conditions in lake ecosystems. *Scientific Reports*, *15*(1), 11162. https://doi.org/10.1038/s41598-024-80553-5

Scheffer, M., Hosper, S. H., Meijer, M.-L., Moss, B., & Jeppesen, E. (1993). Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology & Evolution*, *8*(8), 275-279. https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90254-M

Wang, X., Jain, A., Chen, B., Wang, Y., Jin, Q., Yugandhar, P., Xu, Y., Sun, S., & Hu, F. (2022). Differential efficacy of water lily cultivars in phytoremediation of eutrophic water contaminated with phosphorus and nitrogen. *Plant Physiology and Biochemistry*, *171*, 139-146. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.001

Zhang, P., Wang, T., Zhang, H., Wang, H., Hilt, S., Shi, P., Cheng, H., Feng, M., Pan, M., Guo, Y., Wang, K., Xu, X., Chen, J., Zhao, K., He, Y., Zhang, M., & Xu, J. (2022). Heat waves rather than continuous warming exacerbate impacts of nutrient loading and herbicides on aquatic ecosystems. *Environment International*, *168*, 107478. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107478



11

Roselières

JM Gillier, roselière à Roseaux communs (RNN Lac de Grand-Lieu)

A Grand-Lieu, les roselières revêtent une importance particulière. Elles jouent les rôles **d'épuration de l'eau**, **d'hydro-sédimentation**, de **stockage de carbone**, de **zone de frayère**, de **concurrence à la jussie** ou encore **d'habitat majeur pour de nombreuses espèces** (passereaux paludicoles, anatidés lors de la nidification, Butor étoilé avant de disparaitre, insectes, chiroptères comme zone de gagnage, Campagnol amphibie…).

Les roselières à Grand-Lieu sont de plusieurs types (Palominos, 2016) :

- **Roselières à Roseaux communs** (*Phragmites australis*), en régression, parfois accompagnées de la **Fougère des marais** (*Thelypteris palustris*). Cette association, peu commune, est en régression à cause de l'eutrophisation et d'un battement de la nappe plus important (Marquet *et al.,* 2024) ;
- **Roselières à Baldingères** (*Phalaris arundinacea*), forme dégradée des roselières à Roseaux communs. Ce type de roselière est particulièrement résistant à la sécheresse, à la pollution et aux autres perturbations, mais peut être impacté par les espèces exotiques envahissantes (EEE). En régression, elle a laissé la place à la Jussie ou bien à des formations dominées par l'Iris des marais (*Iris pseudacorus*) ;
- **Magnocariçaies**, en groupements de Laîche élevée (*Carex elata*) ou de Laîche paniculée (*Carex paniculata*) sous forme de touradons, ayant un caractère pionnier.
- **Massifs de Joncs des tonneliers** (*Schoenoplectus lacustris*) ou **scirpaies**, en très forte régression depuis les années 80-90, pour ne plus atteindre que quelques milliers de m^2 aujourd'hui ;
- **Roselières exploitées**, composées du roseau, de la baldingère et de la Grande glycérie (*Glyceria maxima*), localement appelé « rouche ». Cette dernière peut accumuler d'importantes quantités de phosphore et potassium. Elle se développe sur des substrats plus minéraux et supportent les exondations estivales prolongées.

Autrefois habitat structurant pour le lac en s'étendant sur des centaines d'hectares, les roselières sont aujourd'hui en très forte régression. La jussie prend le dessus là où les roselières ont disparu, résultant en des zones de vasière pourvues de plantes annuelles.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Les roselières en général à Grand-Lieu sont en régression, les **typhaies et scirpaies** ayant même quasiment **disparu**. Le changement climatique peut être une des causes possibles, en plus du régime hydrologique : la baisse estivale importante du niveau d'eau peut induire des changements dans les roselières. La Roselière à fougère des marais supporte par exemple des exondations assez brèves, mais moins un rabattement prolongé de la nappe.

Mais les causes principales identifiées sont cependant exogènes au lac, et correspondent à l'**eutrophisation** du milieu par l'apport de nutriments du bassin versant, au développement et à l'installation des **espèces exotiques envahissantes** (EEE). Les **températures en hausse** ont d'ailleurs favorisé l'installation des EEE comme le ragondin et le rat musqué à Grand-Lieu. De plus, la disparition des

ceintures de grands hélophytes a exposé les roselières à l'**érosion mécanique**, fragilisant davantage ces groupements.

La roselière à roseaux communs est caractérisée à Grand-Lieu par une faible dynamique, avec une croissance tardive et une densité faible. Elle a particulièrement régressé depuis les années 2000, par des mortalités locales. En plus des causes identifiées plus haut, il se pourrait aussi que cette végétation soit **naturellement vieillissante**. La plupart du temps, sa régression laisse place à la **Jussie**. Cette dernière semble moins dynamique dans les roselières à roseaux communs accompagnées de la Fougère des marais, notamment sur les levis. Les **roselières sur levis**, donc flottantes, semblent moins souffrir des apports de nutriments, qui favorisent hors levis les espèces nitrophiles et plus tolérantes.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Les roselières ont une sensibilité très forte aux **crues printanières**, traduite par une **perte de superficie** (Dienst *et al.*, 2004). En effet, la régénération et l'expansion des roselières sont bien plus efficaces lors de plusieurs années consécutives de faibles niveaux d'eau printaniers. A l'inverse, les roselières dans un niveau d'eau haut **ne parviennent pas à se régénérer**.

Notamment, les roselières à *Phragmites australis* sont sensibles à la **durée d'inondation** et à la **profondeur d'eau**. Si ces paramètres sont trop importants, ils peuvent induire un stress hydrique pour ces plantes qui voient leur **biomasse aérienne diminuer** (Xia *et al.*, 2025). Mais d'après des observations de terrain à Grand-Lieu, les roselières même inondées se portaient bien avant, avec une hypothèse que **l'apport de pollution dans l'eau au fil des années les ait fragilisées** et rendus beaucoup plus sensibles au niveau d'eau haut.

Le **roseau commun** et la **baldingère** sont des espèces moins sensibles à la chaleur qu'à l'inondation. A l'inverse, il semblerait que les roselières à **fougère des marais** soient plus sensibles à l'augmentation des températures, la Fougère des marais colonisant difficilement des zones plus méridionales que l'Italie (Sciandrello *et al.*, 2021).

Carex acuta et *Glyceria maxima* sont également sensibles aux périodes d'inondation, vécus comme des **stress** (Edwards *et al.*, 2025), alors que le jonc des tonneliers ne tolère pas l'exondation (Palominos, 2016).

Enfin, pour germer et coloniser de nouvelles zones, les **graines de roseaux** (*Phragmites australis*) nécessite un sol **nu**, **humide** mais **exondé** ainsi qu'une température **supérieure ou égale à 10°C** avec une bonne amplitude de températures journalières, pendant environ 4 mois (Tougas-Tellier, 2013).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

La température de l'air augmentera de +2°C en moyenne annuelle d'ici la moitié du siècle et de +3,6°C d'ici la fin du siècle (RCP8.5). Les évènements extrêmes de températures seront plus fréquents et intenses. Ces évolutions seront **défavorables** au type de roselière à Fougère des marais, avec un risque d'assèchement de son substrat tourbeux.

L'évolution des précipitations est incertaine, mais elles pourraient être marquées par une forte saisonnalité (augmentation des pluies en hiver et diminution en été). Les périodes d'inondation en hiver pourraient être plus longues et l'eau pourrait arriver plus rapidement du bassin versant. Les pluies

risqueront d'être intensifiées, tombant plus brutalement. Des conditions d'inondation plus importantes ou plus longues seront **défavorables** aux roselières à roseaux communs, à baldingères, à la rouche ainsi qu'aux magnocariçaies.

Niveau de confiance : 😐

favorable | neutre | **défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Une hauteur d'eau plus importante impose aux roseaux (*Phragmites australis*) de produire des **tiges moins nombreuses et plus hautes**, et d'allouer moins de ressources aux parties souterraines (Vretare *et al.*, 2001). Les roseaux développent alors des **rhizomes horizontaux** pour la reproduction végétative, alors qu'en zone plus terrestre ils développent des **rhizomes plus verticaux** pour une meilleure assimilation des nutriments. Les roseaux dans une hauteur d'eau plus importante seraient alors **moins adaptés et moins résistants** aux perturbations comme l'érosion mécanique et le déracinement.

Pour la baldingère (*Phalaris arundinacea*), l'adaptation au niveau d'eau dépend de la hauteur de celui-ci : elle semble **tolérante au stress d'inondation jusqu'à une certaine hauteur**, puis meurt après quelques dizaines de jours lorsque l'inondation est trop importante (Wang *et al.*, 2024).

Globalement, l'adaptation des roselières peut être compliquée à moins d'envahir des **zones moins inondées**, telles que les marais. Les espèces les moins sensibles seront les plus adaptées au climat futur.

Niveau de confiance : 😐

nulle | faible | **moyenne** | forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Une conjonction de facteurs défavorables peut accentuer la vulnérabilité des roselières au changement climatique :

- **Le niveau d'eau** est, comme vu dans la partie « sensibilité intrinsèque », très important dans l'expansion, la croissance et la survie des roselières. Notamment, un niveau d'eau trop haut en hiver peut **accentuer l'érosion mécanique** de la roselière, et peut **empêcher la croissance des tiges** au printemps (Pôle-relais lagunes méditerranéennes, 2014). Une inondation constante provoque même le **dépérissement** des roselières (Gigante *et al.*, 2014). Des exondations peuvent alors leur être bénéfiques pour se redynamiser et s'étendre (Tougas-Tellier *et al.*, 2015).

- Les **espèces exotiques envahissantes** à Grand-Lieu, particulièrement le ragondin et le rat musqué, fragilisent et détruisent les roselières. Particulièrement en début de saison, ils les consomment ou nichent dedans, provoquant un retard de croissance des roseaux que l'on constate par comparaison avec les roseaux protégés dans les exclos expérimentaux.

- La **mauvaise qualité de l'eau**, notamment l'**eutrophisation**, entraîne des épisodes d'anoxie néfastes aux roselières (Pôle-relais lagunes méditerranéennes, 2014). C'est un facteur aggravant, qui diminue les chances de survie des roseaux. Les nitrates, le rubidium, le nickel, le baryum ou encore le manganèse sont des paramètres chimiques qui semblent jouer un rôle dans le déclin des roselières (Gigante *et al.*, 2014). Bien que les roselières soient de bonnes accumulatrices de métaux lourds, ces composants additionnés à des conditions hydriques défavorables affectent

leur croissance. Ce facteur, avec le niveau d'eau, a pu être la cause de disparition de la diversité des roselières à Grand-Lieu.

- La **disparition des ceintures de grands hélophytes** rend les roselières à phragmites beaucoup plus sensibles à l'érosion mécanique.
- Enfin, **l'abandon de certains marais** pourrait, transitoirement, favoriser l'invasion par les roselières, en zone moins inondées.

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Les roselières sont plus ou moins sensibles à la hausse des températures, selon les espèces qui les composent. En revanche, elles sont **toutes sensibles au niveau d'eau**, et des niveaux d'eau trop importants associés à la pollution de l'eau ne sont pas favorables à leur croissance et à leur expansion.

Face à la hauteur d'eau, les roseaux communs peuvent **ajuster la taille de leurs tiges** et le **développement de leurs rhizomes**. Mais les facteurs les plus impactant sont finalement anthropiques : **l'eutrophisation et la pollution de l'eau** induisent des anoxies néfastes aux roselières, qui peuvent grandement les affecter avec des niveaux d'eau non propices. Le **ragondin** et le **rat musqué** ainsi que **l'érosion mécanique** fragilisent davantage ces plantes.

Avec le changement climatique, des hivers plus doux et plus pluvieux devraient favoriser la **prolifération des rongeurs exotiques** ainsi qu'une **élévation du niveau d'eau en hiver** et plus longtemps dans la saison. Par ailleurs, les fortes chaleurs estivales devraient accentuer les épisodes d'**anoxie** et favoriser le développement des **cyanobactéries**. Certaines roselières turficoles (Roselière à fougère des marais) peuvent être fragilisées, voire disparaitre, à cause d'un **rabattement estival de la nappe** plus important. L'ensemble de ces conditions est susceptible d'avoir encore des effets néfastes sur les roselières, qui sont ainsi considérées comme fortement vulnérables face aux changements climatiques futurs. Les plus sensibles telles que les roselières à fougère des marais et les scirpaies pourraient disparaître de Grand-Lieu.

Vulnérabilité

nulle | faible | moyenne | **forte** | très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

- Une **jachère temporaire des marais**, temporelle ou surfacique, pourrait laisser de l'espace aux roselières pour coloniser ce milieu, permettant de les redynamiser.
- Une **gestion du niveau d'eau pensée pour l'écosystème** pourrait redynamiser les roselières, ou favoriser la germination de nouvelles graines grâce à des exondations volontaires certaines années. Cette gestion devrait aussi tenir compte de **l'évolution de la bathymétrie** du lac.

- **L'installation d'exclos** semble bien fonctionner pour supprimer l'impact d'un facteur d'influence, le ragondin, sur les roselières à roseaux communs. Les roseaux sont plus hauts et plus denses dans les exclos comparés à ceux en dehors des installations. Cette action pourrait se poursuivre en maintenant les exclos actuels, et en installant de plus grands exclos.
- Enfin, une action multi-bénéfique serait la **réduction drastique des apports en nutriments** (phosphore prioritairement, et azote), au travers de la sensibilisation mais aussi de mesures concrètes à l'échelle du bassin versant.

Sources :

Dienst, M., Schmieder, K., & Ostendorp, W. (2004). Dynamik der Schilfröhrichte am Bodensee unter dem Einfluss von Wasserstandsvariationen. *Limnologica, Lake-shores — Ecology, Quality Assessment, Sustainable Development*, *34*(1), 29-36. https://doi.org/10.1016/S0075-9511(04)80019-7

Edwards, K. R., Glocker, B., Mastný, J., & Picek, T. (2025). Changing environmental conditions impact the phenotypic plasticity of Carex acuta and Glyceria maxima, two common wet grassland species. *Frontiers in Plant Science*, *16*. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1542907

Gigante, D., Angiolini, C., Landucci, F., Maneli, F., Nisi, B., Vaselli, O., Venanzoni, R., & Lastrucci, L. (2014). New occurrence of reed bed decline in southern Europe : Do permanent flooding and chemical parameters play a role? *Comptes Rendus Biologies*, *337*(7), 487-498. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2014.05.005

Hudon, C., Gagnon, P., & Jean, M. (2005). Hydrological factors controlling the spread of common reed (Phragmites australis) in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Ecoscience*, *12*(3), 347-357. https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-3-347.1

Palominos, L. (2016). Synthèse et mise à jour des données sur les habitats naturels de la Réserve Naturelle Nationale du lac de Grand-Lieu. Rapport - Société Nationale de Protection de la Nature.

Pôle-relais lagunes méditerranéennes. (2014). Méthodes et outils de diagnostic des roselières méditerranéennes françaises en faveur de l'avifaune paludicole. Recueil d'expérience, 34 p.

Priot, C. (2025, décembre 15). Lac de Grand-Lieu : Résultats 2025 Bathymétrie de la zone centrale. *Société Nationale de Protection de la Nature*. https://www.snpn.com/lac-de-grand-lieu-resultat-2025-de-la-bathymetrie-de-la-zone-centrale/

Sciandrello, S., Cambria, S., del Galdo, G. G., Tavilla, G., & Minissale, P. (2021). Unexpected Discovery of Thelypteris palustris (Thelypteridaceae) in Sicily (Italy) : Morphological, Ecological Analysis and Habitat Characterization. *Plants*, *10*(11), 2448. https://doi.org/10.3390/plants10112448

Tougas-Tellier, M.-A. (2013). *Impact des changements climatiques sur l'expansion du roseau envahisseur dans le fleuve Saint-Laurent* [Mémoire]. Université de Laval - maîtrise en aménagement du territoire et développement régional.

Tougas-Tellier, M.-A., Morin, J., Hatin, D., & Lavoie, C. (2015). Freshwater wetlands : Fertile grounds for the invasive Phragmites australis in a climate change context. *Ecology and Evolution*, *5*(16), 3421-3435. https://doi.org/10.1002/ece3.1576

Vretare, V., Weisner, S. E. B., Strand, J. A., & Granéli, W. (2001). Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth. Aquatic Botany, 69(2), 127-145. DOI:10.1016/S0304-3770(01)00134-6

Wang, Y., Min, J., Li, Z., Cao, Y., Huang, L., & Chen, C. (2024). Influence of different flooding depth on wetland plant Phalaris arundinacea. *Journal of Freshwater Ecology*, *39*(1), 2429564. https://doi.org/10.1080/02705060.2024.2429564

Xia, J., Shi, X., Zhou, M., Liu, S., & Deng, S. (2025). Modeling the growth dynamics of *Phragmites australis* with flooding stress in the Middle Yangtze River. *Ecological Modelling*, *510*, 111314. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111314

Ensemble saulaies-aulnaies



S Reeber, saulaies-aulnaies et levis (RNN Lac de Grand-Lieu)

Habitat pionnier du lac de Grand-Lieu mais également **climax** du site, l'ensemble saulaies-aulnaies d'environ 900 ha représente **un habitat clé et structurant** pour de nombreuses espèces emblématiques du lac. Les saulaies-aulnaies regorgent de ressources trophiques (insectes) pour les oiseaux en migration comme les passereaux paludicoles, servent de zones de nidification pour les ardéidés, le Busard des roseaux et même le Milan noir notamment sur les Saules blancs. Les aulnaies abritaient historiquement une importante et dense population de Hérons cendrés, et aujourd'hui des colonies de Cormorans ainsi que des oiseaux communs et espèces arboricoles. La Loutre d'Europe semble également bien apprécier les levis colonisés par ces aulnes.

L'aulnaie marécageuse à Aulnes glutineux (*Alnetum glutinosa*) est **l'un des rares habitats qui progressent** au niveau de Grand-Lieu. Elle se développe sur des sols plutôt acides comme les levis, sur les secteurs les plus tourbeux. Les aulnes entretiennent aussi eux-mêmes ce substrat acide, en relarguant des cations H+ lors de la fixation de l'azote par les nodules racinaires (Van Miegroet & Cole, 1984). Les aulnaies sont situées sur l'ouest du lac, et peuvent être flottantes si implantées sur des levis (morceaux flottants de terre tourbeuse).

Les saulaies à Saules roux (*Salix atrocinerea*) et **Saules fragiles** (*Salix fragilis*) sont présentes partout au niveau du lac, sans restriction spatiale. On retrouve également des **Saules blancs** (*Salix alba*), ainsi que des **fourrés à Saules roux et Piment royal** (*Myrica gale*, protégé au niveau régional), ces derniers étant localisés sur les secteurs les plus tourbeux (sur la partie Ouest de l'ensemble « roselières boisées », et également au cœur des marais, du côté de Saint-Lumine de Coutais et Saint-Mars de Coutais). A part les saulaies de bordure, sur prés et marais, qui connaissent une bonne dynamique depuis quelques années, peu de recrutements de jeunes saules sont constatés, peut-être dus à des saulaies vieillissantes.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Le changement climatique **semble avoir très peu impacté les saulaies-aulnaies du lac** pour le moment. Les aulnaies sont en progression sur le site, sans avoir de ravageurs particuliers.

Seules **les saulaies ont connu un dépérissement important durant l'été 2022**, année de sécheresse atmosphérique intense, qui a d'ailleurs fortement impacté les forêts de feuillus européennes (Gharun *et al.*, 2024). Les différents types de forêts européennes ont eu des réponses variées, expliquées par des régulations variables des mécanismes de contrôle de la perte en eau (régulation de l'ouverture des stomates, profondeur, morphologie et distribution des racines...). Les aulnes et les Saules fragiles (saules les moins affectés) de notre site **ont probablement bénéficié de la saturation en eau des sols** grâce au lac malgré la sécheresse. Il est aussi possible que cet épisode de sécheresse intense, après ceux de 2003 et 2018, ait affaibli la résilience des forêts (au niveau mondial) face aux changements climatiques actuels et attendus, avec une diminution de la productivité primaire (Forzieri *et al.*, 2022).

Certains ravageurs et parasites ont pu profiter des hivers plus humides et des étés plus chauds, comme l'oomycète *Phytophthora alni* (microorganisme pathogène proche des algues) répandu dans le nord de la France (Bjelke *et al.*, 2016). Infectant les aulnes par des zoospores flottants dans les cours d'eau, le pathogène entre dans l'arbre par des racines souvent fragilisées et provoque entre autres le dépérissement de la cime des arbres. Cependant, **ce pathogène a été observé à Grand-Lieu mais sans impacts**. La

« jeunesse » des aulnaies du site pourrait être une explication : poussant sur un sol tourbeux instable, les aulnes n'atteignent jamais de grandes tailles, le renouvellement étant alors fréquent.

Les saules du site, quant à eux, semblent **fragilisés par des ravageurs comme l'Yponomeute du saule** (*Yponomeuta rorrella*) provoquant des défoliations régulières. Les proliférations de ce petit papillon sont récentes et spectaculaires, les premières proliférations ayant eu lieu vers 2010 à Grand-Lieu. Aucune étude à ce jour n'a été menée concernant l'impact de ce papillon et des défoliations répétées sur les saules.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Les arbres survivent aux conditions rudes de l'hiver grâce à une période de dormance, qui leur permet de reprendre la floraison lorsque les conditions deviennent meilleures, comme c'est le cas pour les fruitiers. Pour sortir de dormance et commencer la floraison, **l'arbre doit accumuler un certain nombre de jours de froid** suivi d'une période de réchauffement (Gonzàlez-Parrado *et al.*, 2006). Dans le contexte du changement climatique, la réduction du nombre de jours de froid hivernal pourrait donc perturber ce mécanisme pour certaines espèces. Toutefois, les aulnes et les saules de Grand-Lieu se distinguent par un débourrement particulièrement précoce, parfois dès le mois de février, ce qui suggère que leurs **besoins en froid sont relativement faibles**. La diminution des jours de froid ne constituerait donc pas un facteur de vulnérabilité majeur pour ces espèces.

Les Aulnes glutineux pourraient mieux résister à la sécheresse que les scientifiques ne le pensaient initialement : les graines des aulnes peuvent supporter plus de 16 jours de conditions défavorables avant de germer, et de longues périodes de pluies dans l'année peuvent compenser les sécheresses de printemps et d'été (Tiebel & Karge, 2026). Cependant, **les jeunes pousses sont sensibles à des périodes sèches** de plusieurs semaines sans sol humide durant le printemps, l'été ou l'automne et ne survivent généralement pas (Tiebel & Karge, 2026). Les aulnaies avec une bonne alimentation en eau, comme à Grand-Lieu, **semblent peu sensibles aux fortes températures**, mais **pourraient souffrir d'un excès d'eau en été** (Tokarska-Osyczka *et al.*, 2025).

A Grand-Lieu, **les saules (surtout les Saules roux) semblent sensibles aux vagues de chaleur et aux températures maximales d'été**, augmentant la sécheresse et la dessication de ces arbres hydrophiles. Contrairement à d'autres espèces dioïques (chaque arbre est soit mâle, soit femelle), **les saules n'ont pas de microhabitats spécifiques entre mâles et femelles** (par exemple, les peupliers femelles supportent moins bien les microhabitats secs que les peupliers mâles), diminuant les risques de sex-ratio biaisé et donc de problème d'équilibre dans la population (Hultine *et al.*, 2018).

Niveau de confiance : 😐

nulle	**faible**	moyenne	forte

L'exposition de l'objet au changement climatique

Les saulaies-aulnaies du lac de Grand-Lieu sont déjà et seront davantage exposées au changement climatique, surtout en termes de température et de ressource en eau.

En été, les saulaies-aulnaies seront exposées à **des vagues de chaleur encore plus intenses et fréquentes** : un mois d'ici le milieu du siècle, et même deux mois d'ici la fin du siècle. La température estivale augmentera de +4°C en moyenne par rapport à aujourd'hui.

Un stress hydrique sera de plus en plus marqué par des niveaux d'eau estivaux très bas, avec une évapotranspiration totale annuelle dépassant le total des pluies de l'année, et une diminution des précipitations estivales de -14% (2055) à -23% (2085). Sur des années comme 2026, avec des cotes du lac à 1,20m – 1,30m fin d'été, le niveau de la nappe peut se situer à 50 cm de la surface, ce rabattement pouvant même être plus important sur certains secteurs.

Les saulaies-aulnaies connaitront aussi **l'augmentation des températures hivernales**, avec des "vagues de douceur", et même un hiver à environ 10°C en moyenne d'ici 2085.

Par ailleurs, il est incertain si le **niveau de la nappe phréatique** soutenant le lac sera maintenu dans le futur ou s'il diminuera. Avec sa diminution, la charge en eau du sol diminuera et pourra affecter les habitats de Grand-Lieu, dont les saulaies-aulnaies.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Les aulnes et les saules **semblent très peu exigeants**, ils ont une **forte valence écologique** leur permettant d'être présents relativement partout en Europe et au-delà, **à conditions d'être dans un environnement humide** (Houston Durrant *et al.*, 2016). Aulnaies et saulaies constituent le "climax" du site de Grand-Lieu. La **capacité d'adaptation des saules et aulnes aux températures futures** leur sera bénéfique face au changement climatique.

Face aux périodes de sécheresse et de stress hydrique, l'Aulne glutineux semble avoir **un fort potentiel adaptatif** grâce à une importante diversité génétique au sein des populations (flux de gènes importants et forte sélection environnementale) (De Kort *et al.*, 2014). Les aulnes peuvent en outre **réduire la taille de leurs feuilles pour limiter les pertes en eau**.

Les saules ont, quant à eux, des **racines plutôt superficielles, qui pourraient les rendre plus sensibles aux fortes chaleurs et sécheresses**. Cependant, en 2022 lors de l'épisode de dépérissement de saules à Grand-Lieu, certaines souches semblaient **particulièrement plus résistantes**. Il existe alors peut-être aussi un potentiel adaptatif chez les saules.

Les graines de l'Aulne glutineux sont disséminées par l'eau, **facilitant la colonisation** notamment des levis à Grand-Lieu, et sont aussi **très plastiques en termes de température** (Gosling *et al.*, 2009). Elles germent donc facilement si les conditions sont favorables.

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Les températures plus douces de l'hiver risquent de favoriser la progression de **ravageurs comme le pathogène de l'aulne *Phytophtora alni***, principale menace actuelle pour cet arbre (Bjelke *et al.*, 2016 ; Gomes Marques *et al.*, 2024). Mais la jeunesse des aulnes de Grand-Lieu semble les en épargner. **L'Yponomeute du saule** pourrait aussi en profiter, continuant de fragiliser les saules par défoliation d'année en année. Une régulation par les oiseaux est possible, ce papillon étant une source de nourriture importante lorsqu'il est présent.

L'eutrophisation de l'eau pourrait être **temporairement favorable aux saules** en augmentant leur taille et biomasse, les saules et les aulnes participant à l'épuration de l'eau des nitrates et phosphates (Mohsin *et al*. 2021 ; Zak *et al*. 2018). Mais **l'excès d'azote réduit voire inhibe la symbiose entre l'Aulne glutineux et la bactérie *Frankia***, qui lui permet de fixer l'azote atmosphérique en conditions pauvres en azote (Bélanger *et al.*, 2011). Les aulnes captent alors directement l'azote dans l'eau, participant à l'épuration du lac. Cette espèce semble particulièrement bien adaptée à Grand-Lieu, face aux fluctuations saisonnières en termes de disponibilité d'azote dans l'eau, avec un manque d'azote entre le printemps et l'automne, consommé par les phytoplanctons.

La pollution aux PFAS est, elle, bien néfaste (Battisti *et al.*, 2023) : s'accumulant dans les différents organes des saules, ils provoquent **la réduction de la conductance stomatique** (mécanisme permettant de réguler la diffusion du CO_2 et les pertes en eau par l'ouverture ou la fermeture des stomates), donc la fermeture partielle des stomates. Cela a pour conséquence de perturber l'équilibre hydrique de l'arbre et d'augmenter le risque de blocage du transport de l'eau, **rendant les saules plus sensibles à la sécheresse**.

De façon plus anecdotique, **les ragondins peuvent manger les jeunes pousses de saules**, pouvant alors réduire davantage la dynamique des saules, même si rien de flagrant n'est actuellement constaté à Grand-Lieu. Cependant, **les saules favorisent les ragondins en leur servant d'abris**. Les aulnes sont astringents à cause de leurs tanins, donc peu appétents, réduisant les risques que les ragondins les consomment.

Le Castor pourrait, en phase de recolonisation, consommer les saules et potentiellement participer à leur rajeunissement.

Niveau de confiance : 😐

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

La sensibilité des saulaies-aulnaies au changement climatique est finalement assez faible, car leur **grande valence écologique** leur permettrait potentiellement de bien supporter les modifications climatiques, sauf face aux sécheresses. Les aulnes semblent posséder un **fort potentiel adaptatif** les avantageant encore plus, avec l'hypothèse que la « jeunesse » des aulnaies de Grand-Lieu leur soit bénéfique. Les saules sont quant à eux sensibles à la sécheresse, ayant des racines superficielles. La **contamination aux PFAS** risquerait de limiter encore plus les capacités d'adaptation des saules face aux sécheresses. La fragilisation des saules par l'**Yponomeute** n'est pas bien documentée, ni la raison de la non-contamination des jeunes aulnes par ***P. alni***.

Vulnérabilité

nulle | **faible** | moyenne | forte | très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

- S'il y avait une volonté de relancer la saulaie, **la coupe des vieux saules** pourrait les redynamiser avant qu'ils ne meurent. Mais cette action serait compliquée à l'échelle du lac, et **la nécessité ne s'en fait peut-être pas ressentir pour le moment**.
- Des lacunes de connaissances pourraient être comblées concernant **les traits d'histoire de vie des saules et aulnes du lac** (dispersion des graines, conditions de germination), **leur âge, leur diversité génétique** (les saules se sont-ils beaucoup marcottés ?) et **leur sensibilité aux ravageurs** présents actuellement et ceux qui pourront arriver dans le futur.

Sources :

En complément des informations récoltées lors de l'atelier "Patrimoine naturel" avec les gestionnaires du lac de Grand-Lieu :

Battisti, I., Zambonini, D., Ebinezer, L. B., Trentin, A. R., Meggio, F., Petit, G., & Masi, A. (2023). Perfluoroalkyl substances exposure alters stomatal opening and xylem hydraulics in willow plants. Chemosphere, 344, 140380. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140380

Bélanger, P.-A., Bissonnette, C., Bernèche-D'Amours, A., Bellenger, J.-P., & Roy, S. (2011). Assessing the adaptability of the actinorhizal symbiosis in the face of environmental change. Environmental and Experimental Botany, 74, 98-105. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.05.004

Bjelke, U., Boberg, J., Oliva, J., Tattersdill, K., & McKie, B. G. (2016). Dieback of riparian alder caused by the Phytophthora alni complex : Projected consequences for stream ecosystems. Freshwater Biology, 61(5), 565-579. https://doi.org/10.1111/fwb.12729

De Kort, H., Vandepitte, K., Bruun, H. H., Closset-Kopp, D., Honnay, O., & Mergeay, J. (2014). Landscape genomics and a common garden trial reveal adaptive differentiation to temperature across Europe in the tree species Alnus glutinosa. Molecular Ecology, 23(19), 4709-4721. https://doi.org/10.1111/mec.12813

Forzieri, G., Dakos, V., McDowell, N. G., Ramdane, A., & Cescatti, A. (2022). Emerging signals of declining forest resilience under climate change. Nature, 608(7923), 534-539. https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9

Gharun, M., Shekhar, A., Xiao, J., Li, X., & Buchmann, N. (2024). Effect of the 2022 summer drought across forest types in Europe. Biogeosciences, 21(23), 5481-5494. https://doi.org/10.5194/bg-21-5481-2024

Gomes Marques, I., Vieites-Blanco, C., Rodríguez-González, P. M., Segurado, P., Marques, M., Barrento, M. J., Fernandes, M. R., Cupertino, A., Almeida, H., Biurrun, I., Corcobado, T., Costa e Silva, F., Díez, J. J., Dufour, S., Faria, C., Ferreira, M. T., Ferreira, V., Jansson, R., Machado, H., … Jung, T. (2024). The ADnet Bayesian belief network for alder decline : Integrating empirical data and expert knowledge. Science of The Total Environment, 947, 173619. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173619

González-Parrado, Z., Fuertes-Rodríguez, C. R., Vega-Maray, A. M., Valencia-Barrera, R. M., Rodríguez-Rajo, F. J., & Fernández-González, D. (2006). Chilling and heat requirements for the prediction of the beginning of the pollen season of Alnus glutinosa (L.) Gaertner in Ponferrada (León, Spain). Aerobiologia, 22(1), 47-53. https://doi.org/10.1007/s10453-005-9008-5

Gosling, P. G., McCartan, S. A., & Peace, A. J. (2009). Seed dormancy and germination characteristics of common alder (Alnus glutinosa L.) indicate some potential to adapt to climate change in Britain. Forestry, 82(5), 573-582. https://doi.org/10.1093/forestry/cpp024

Houston Durrant, T., de Rigo, D., Caudullo, G. (2016). Alnus glutinosa in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01f3c0+

Hultine, K. R., Bush, S. E., Ward, J. K., & Dawson, T. E. (2018). Does sexual dimorphism predispose dioecious riparian trees to sex ratio imbalances under climate change? Oecologia, 187(4), 921-931. https://doi.org/10.1007/s00442-018-4190-7

Mohsin, M., Kaipiainen, E., Salam, M. M. A., Evstishenkov, N., Nawrot, N., Villa, A., Wojciechowska, E., Kuittinen, S., & Pappinen, A. (2021). Biomass Production and Removal of Nitrogen and Phosphorus from Processed Municipal Wastewater by Salix schwerinii : A Field Trial. Water, 13(16). https://doi.org/10.3390/w13162298

Rojo, J., Fernández-González, F., Lara, B., Bouso, V., Crespo, G., Hernández-Palacios, G., Rodríguez-Rojo, M. P., Rodríguez-Torres, A., Smith, M., & Pérez-Badia, R. (2021). The effects of climate change on the flowering phenology of alder trees in southwestern Europe. Mediterranean Botany, 42, e67360-e67360. https://doi.org/10.5209/mbot.67360

Tiebel, K., & Karge, A. (2026). Can we expect more from Alnus glutinosa (L.) Gaertn. In a changing climate? IForest, 19, 69-76. https://doi.org/10.3832/ifor4842-019

Tokarska-Osyczka, A., Ksepko, M., Terlecka, M., Kolendo, Ł., Chmur, S., Lasek, M., & Iszkuło, G. (2025). Species-Specific Growth Responses to Climate in a Multi-Site Study, NE Poland. Forests, 16(9). https://doi.org/10.3390/f16091447

Van Miegroet, H., & Cole, D. (1984). The Impact of Nitrification on Soil Acidification and Cation Leaching in a Red Alder Ecosystem. Journal of Environmental Quality, 13(4), 586-590. https://doi.org/10.2134/jeq1984.00472425001300040015x

Zak, D., Kronvang, B., Carstensen, M. V., Hoffmann, C. C., Kjeldgaard, A., Larsen, S. E., Audet, J., Egemose, S., Jorgensen, C. A., Feuerbach, P., Gertz, F., & Jensen, H. S. (2018). Nitrogen and Phosphorus Removal from Agricultural Runoff in Integrated Buffer Zones. Environmental Science & Technology, 52(11), 6508-6517. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01036

Prairies inondables et marais



JM Gillier, marais (RNN Lac de Grand-Lieu)

Les prairies inondables et marais de Grand-Lieu sont le support de l'activité ancestrale et économique d'exploitation des marais **par fauche et pâturage**. Sur 1600 ha, les marais de Grand-Lieu sont en majorité des **prairies permanentes**, avec 6% de cette surface couverte par des **habitats d'intérêt communautaire Natura 2000**, tels que les prairies hygrophiles oligotrophes à mésotrophes ou les pelouses amphibies annuelles ou vivaces (Halleguen *et al*., 2023). Le cortège d'espèces retrouvées sur ces parcelles comprend des *Agrostis*, des laîches (*Carex vesicaria*), des scirpes (*Eleocharis palustris*), de la Molinie bleue, des renoncules, lysimaques, phalaris ou encore de la Menthe aquatique. Leur exploitation agricole concoure également au **maintien d'une mosaïque de milieux** favorable à la biodiversité (notamment avifaune) et à **l'identité paysagère des marais**.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

La qualité des marais s'est dégradée, liée plus ou moins indirectement au changement climatique, à cause des **niveaux d'eau**, de la **Jussie** et de l'**eutrophisation** majoritairement, avec en plus l'impact de **l'Ecrevisse de Louisiane** (consommation de la végétation) sur les secteurs les plus longuement inondés. En conséquence, de nombreuses espèces d'intérêt et oligotrophes ont disparu et la rentabilité fourragère s'est effondrée.

Le maintien de l'agriculture de marais est donc **compromis** à moyen voire court terme. Mais elle a déjà décliné : le désintérêt pour les marais conduit à avoir un chargement de bétail de plus en plus faible (notamment sur les communs de Saint-Lumine de Coutais). Cette diminution de chargement ne semble alors pas favorable sur des secteurs en cours d'envahissement par la Jussie, car les autres fourragères sont consommées en priorité, renforçant la **compétitivité** de la Jussie.

Paradoxalement, il est aussi possible que les parcelles de fauche oligotrophes notamment aient subit une **intensification des pratiques agricoles de fauche** : il était documenté par le passé que certaines parcelles n'étaient pas exploitées certaines années. Aujourd'hui, et depuis plus de 20 ans, elles sont finalement fauchées tous les ans, ce qui pourrait affecter ces prairies naturellement pauvres.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

- **Lessivage et inondations tardives :** les pluies ramènent des quantités importantes de matière organique → turbidité, manque de lumière pour les pousses encore sous l'eau au printemps. Longues inondations favorisent les espèces non spécialistes : *Phalaris* et *Carex* au détriment des espèces spécialistes, plus sensibles à la compétition interspécifique (Peintinger *et al.,* 2007).
- **Manque d'oxygène** si eau trop haute au printemps → asphyxie.
- **Fortes chaleurs au printemps**, si niveau d'eau encore élevé : développement des rhizomes mais manque de lumière → plantules pourrissent.
- **Précipitations de fin d'été** : reprise de la végétation pour préparer le fond prairial de l'année suivante

- Impact des sécheresses estivales et des niveaux d'eau bas estivaux sur la **minéralisation de la tourbe** des marais tourbeux ? Hypothèse de l'activation de la minéralisation, pouvant faire baisser le niveau du marais (Gmitrowitz-Iwan *et al.*, 2025).
- Molinie bleue : espèce résistante et résiliente.

(DDTM Loire Atlantique, 2020)

Niveau de confiance : 

nulle | faible | moyenne | **forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

- **Intensification des pluies** (période hivernale : ↗ pluies et fortes pluies) et inondations, **intensification des sécheresses** (période estivale : ↘ pluies, ↗ ETP). Hiver : risque que l'eau arrive plus rapidement du bassin versant.
- **Hausse des températures**, vagues de chaleur plus tôt et plus longtemps.

➔ **Modification hydrologie des prairies humides** (Joyce *et al.*, 2016).

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

- **Capacité de récupération en automne** après inondations tardives au printemps : retour d'une diversité végétale. Productivité reste faible, persistance de trouées (DDTM Loire Atlantique, 2020).
- **Adaptation aux inondations extrêmes :** avancée de la floraison de certaines espèces. Avec ↗ durée d'inondation : ↘ abondance des fleurs, élongation des feuilles et tiges. Mais réponses très variables selon la nature de l'évènement, sa fréquence, sa durée et la composition de la communauté floristique (Brotherton, 2017).
- Adaptation surtout par les **espèces rudérales** (colonisatrices poussant spontanément dans des milieux perturbés) et par les **EEE** face aux évènements extrêmes (Joyce *et al.*, 2016).

Niveau de confiance : 

nulle | **faible** | moyenne | forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

- **Eutrophisation de l'eau** : perte des espèces et communautés oligo- et mésotrophes au profit d'espèces plus résistantes. Renforcée par le lessivage des sols du bassin versant.
- **Espèces exotiques envahissantes (EEE)** : **Jussie** envahit et domine les marais bas, les marais hauts semblants mieux épargnés. Favorisée par l'eutrophisation et les niveaux d'eau hauts.

Ecrevisse de Louisiane dégrade les marais, consomme les plantules et renforce la Jussie, potentiellement peut participer au tassement des marais avec ses terriers. EEE renforcées par le changement climatique, espèces particulièrement résistantes.

- **Gestion du niveau d'eau** : niveau d'eau haut au printemps favorise la Jussie au détriment du fond prairial. *Agrostis*, plante au cœur du cortège floristique du marais, et *Phalaris*, souffrent des longues submersions, nécessitant des conditions hydrologiques idéales pour leur reprise au printemps.
- **Pratique agricole sur les marais :** fauche et pâturage permettent de maintenir une diversité végétale. Mais dégradation des marais et perte de rendement risquent de ne plus attirer les exploitants → déprise agricole à moyen voire court terme.

(DDTM Loire Atlantique, 2020 ; Joyce *et al.*, 2016)

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Les marais de Grand-Lieu, déjà dégradés, le seront davantage avec des **inondations plus longues en hiver** ou des **températures en hausse** favorisant les EEE et **l'eutrophisation**, qui fait disparaitre les espèces d'intérêt à faible trophie. La qualité fourragère déjà médiocre risquera de s'empirer, accélérant la **déprise agricole** et l'abandon des parcelles. La vulnérabilité des marais est très forte car ils sont soumis à de nombreux facteurs extérieurs à forts enjeux tels que **le niveau de l'eau ou la pollution**. Le maintien de la biodiversité de ces prairies dépend pourtant du maintien de leur exploitation.

Vulnérabilité

nulle | faible | moyenne | **forte** | **très forte**

Quelles pistes d'adaptation ?

Voir la fiche n°2 « Activité d'élevage et d'exploitation des marais », p. 58.

Sources :

Brotherton, S. J. (2017). Responses of floodplain grassland plants to extreme climate events : Survival, growth and flowering. Doctoral thesis, University of Brighton. https://research.brighton.ac.uk/en/studentTheses/responses-of-floodplain-grassland-plants-to-extreme-climate-event/

Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM), Loire Atlantique. (2020). Synthèse missions d'expertise Lac de Grand-Lieu, mai-juin à octobre 2020.

Gmitrowicz-Iwan, J., Futa, B., Poręba, L., & Kawałko, D. (2025). From Carbon Sinks to Carbon Sources : A Regime Shift Induced by the Desiccation of Floodplain Lakes. *Water (Switzerland)*, *17*(24). https://doi.org/10.3390/w17243527

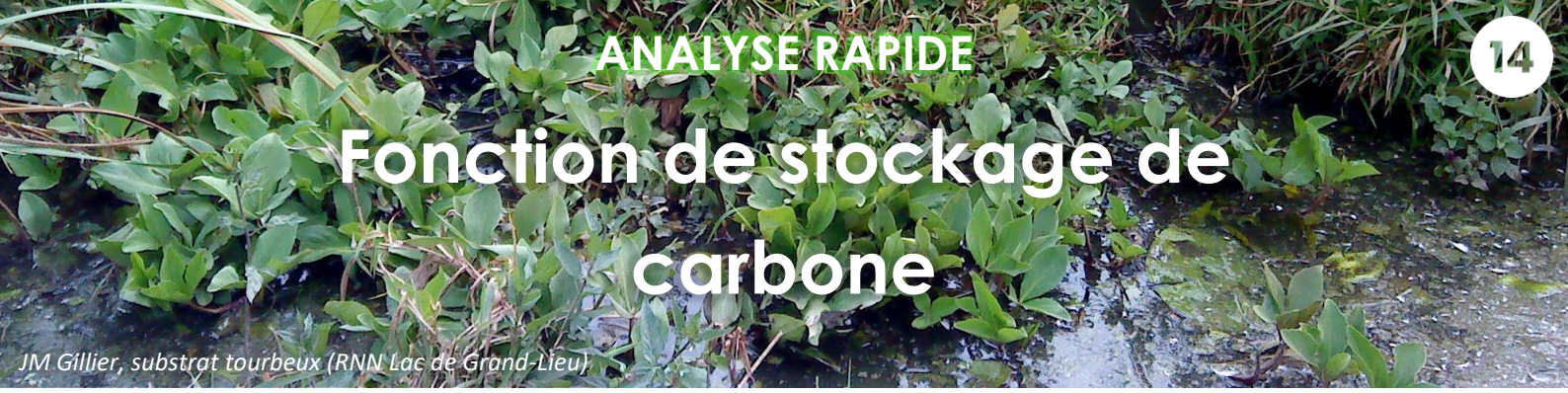
Hallegen, A., Lebot, L., Le Hyaric, R., Rozo, C., Frin, P., Gillier, J. M., Guitton, H., Marie, A., Rolandeau, P. (2023). Etude des habitats et cartographie du site Natura 2000 du lac de Grand-Lieu (44). Rapport d'étude. *Thema environnement, i-Sea, Biophilum*.

Joyce, C. B., Simpson, M., & Casanova, M. (2016). Future wet grasslands : Ecological implications of climate change. *Ecosystem Health and Sustainability*, *2*(9), e01240. https://doi.org/10.1002/ehs2.1240

Peintinger, M., Prati, D., & Winkler, E. (2007). Water level fluctuations and dynamics of amphibious plants at Lake Constance : Long-term study and simulation. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, *8*(4), 179-196. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.02.001

14

Fonction de stockage de carbone



JM Gillier, substrat tourbeux (RNN Lac de Grand-Lieu)

Les zones humides sont connues comme étant de bons **puits de carbone**. Avec ses marais et ses roselières, le lac de Grand-Lieu peut stocker en théorie une bonne quantité de carbone dans sa **tourbe**. Cette tourbe, à Grand-Lieu, est **très ancienne** (7000 ans) au niveau des marais notamment. Il a été mesuré une profondeur de tourbe de 3 m en moyenne sous les prairies et localement 5 m par endroit. Cependant, le stockage de carbone à Grand-Lieu a été très peu étudiée et n'est pas vraiment connu.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Il a été constaté que **les marais se tassent**, avec l'hypothèse que **la vieille tourbe évacuerait maintenant du carbone**. La baisse du niveau de l'eau en été **aurait stoppé le processus de tourbification**, la tourbe étant alors fossilisée sous les marais. Les secteurs les plus vaseux, et en particulier le réseau de douves, émettent du méthane (dégazage constaté) sans que l'importance de ces émissions soit connue.

Il a aussi été mesuré un stockage de carbone **dans l'horizon du sol entre 51 et 100 cm de profondeur, en contact avec la nappe phréatique**, avec 45% de carbone contenu. Selon les parcelles, il est estimé un stock de **30 à 500 T de C/ha** (Chauvin, 2022).

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Du carbone peut être réémis dans l'atmosphère lors de sécheresses et d'importantes exondations, pouvant faire passer les marais et prairies inondables de puit à source de carbone (Gmitrowitz-Iwan *et al.*, 2025). La **faible humidité des sédiments** favoriserait l'exposition de composés organiques à la minéralisation.

Des températures plus importantes **augmentent l'activité microbienne** du lac, faisant diminuer l'oxygène dans les sédiments et favorisant une production de méthane (Xu *et al.*, 2024).

Niveau de confiance : 😐

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

Il est prévu que la hausse des températures se poursuive, avec **+2°C** en moyenne annuelle d'ici 2055, et même **+3,6°C** d'ici 2085. Des **canicules et vagues de chaleur** pourront s'enchainer, plus intenses et plus longues.

Cette élévation des températures sera accompagnée d'une **accentuation des épisodes de sécheresses estivales et de stress hydrique**, qui risquent d'être plus étendus dans l'année et plus sévères. En effet, il est prévu une diminution des précipitations estivales de -14% (2055) à -23% (2085) selon le RCP8.5. L'évapotranspiration totale de l'année pourrait même surpasser le cumul total annuel des pluies, dès la moitié du siècle.

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Les tourbières ont la capacité de **se régénérer naturellement** même après une grosse perturbation, mais sur un pas de temps très long (Swindles *et al.*, 2016). En revanche face au changement climatique, les possibilités d'adaptation de l'écosystème pour conserver le stock de carbone dans le sol du lac et de ses marais sont **inconnues** et il est possible que l'écosystème ne puisse pas s'adapter lui-même.

Niveau de confiance : 

nulle | faible | moyenne | forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

- **Le type de végétation** couvrant le sol influence le stockage (ou non) de carbone. Par exemple, les roselières sont efficaces pour stocker du carbone dans le sol (Liu *et al.* 2013), mais cet habitat est fortement vulnérable au changement climatique.
- **La gestion du niveau d'eau**, et donc l'inondation des marais et prairies, influe aussi sur le stockage ou l'émission de carbone. Les inondations saisonnières favorisent l'accumulation de carbone en surface, tandis que les zones constamment inondées accumulent davantage de carbone en profondeur (Shen *et al.*, 2022). Mais avec des crues, selon la hauteur d'eau et la durée, le stockage de carbone dans les marais peut être stoppé (Lindenberger *et al.*, 2025).
- **Le type d'exploitation des marais** peut influer sur leur capacité de stockage de carbone (Chauvin, 2022).
- **L'eutrophisation de l'eau** impacte les flux de carbone du lac : un lac eutrophe libère plus de gaz à effet de serre, surtout du méthane (DelSontro *et al.*, 2019).

Niveau de confiance : 

favorable | neutre | **défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

En plus d'un certain **manque de connaissance** sur la fonction de stockage de carbone à Grand-Lieu, sa vulnérabilité est estimée très forte car le changement climatique pourrait affecter le stockage du carbone par les **sécheresses** dans les marais, **l'exondation des vasières** et la **hausse des températures** dans l'eau. Au-delà du climat, l'eutrophisation de l'eau pourrait entrainer un **relargage de méthane** par les sédiments et la gestion du niveau d'eau influence le stockage du carbone.

Vulnérabilité

nulle	faible	moyenne	forte	**très forte**

Quelles pistes d'adaptation ?

- Limiter au maximum les intrants sur le bassin versant, pour limiter l'eutrophisation du lac et éventuellement retrouver une mésotrophie.
- Préserver et restaurer les roselières.
- Améliorer les connaissances sur le processus de tourbification au niveau du lac et des marais : le processus est-il encore en cours ? Le lac est-il encore un puit de carbone ? Quels impacts de la gestion du niveau d'eau sur les capacités de puits de carbone du lac et des marais ?

Sources :

Chauvin, V. (2022). Lake of Grand-Lieu, France : Carbon Connects pilot site - Monitoring report. Chamber of Agriculture of Pays de la Loire. Interreg (EU).

DelSontro, T., Beaulieu, J. J., & Downing, J. A. (2019). Greenhouse gas emissions from lakes and impoundments : Upscaling in the face of global change. *Limnology and Oceanography Letters*, *3*(3), 64-75. https://doi.org/10.1002/lol2.10073

Gmitrowicz-Iwan, J., Futa, B., Poręba, L., & Kawałko, D. (2025). From Carbon Sinks to Carbon Sources : A Regime Shift Induced by the Desiccation of Floodplain Lakes. *Water (Switzerland)*, *17*(24). https://doi.org/10.3390/w17243527

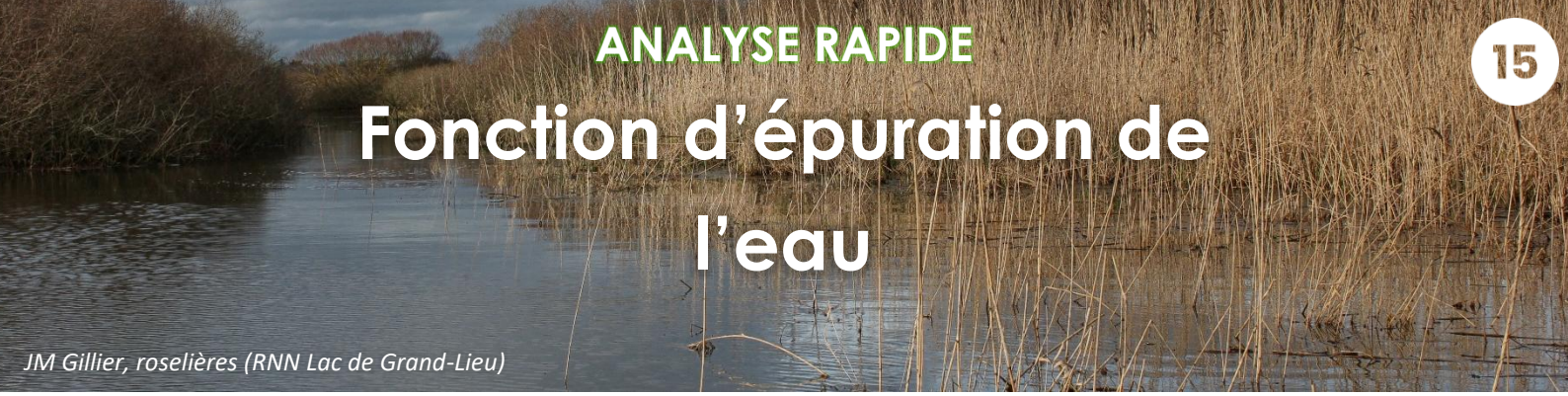
Lindenberger, A., Rauch, H. P., Kasak, K., Stelzhammer, M., & von der Thannen, M. (2025). Impact of various flood conditions on the CO2 ecosystem exchange as a component of floodplain grassland restoration. *Ecological Engineering*, *212*. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107489

Shen, R., Yang, H., Rinklebe, J., Bolan, N., Hu, Q., Huang, X., Wen, X., Zheng, B., & Shi, L. (2022). Seasonal flooding wetland expansion would strongly affect soil and sediment organic carbon storage and carbon-nutrient stoichiometry. *Science of the Total Environment*, *828*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154427

Swindles, G. T., Morris, P. J., Wheeler, J., Smith, M. W., Bacon, K. L., Edward Turner, T., Headley, A., & Galloway, J. M. (2016). Resilience of peatland ecosystem services over millennial timescales : Evidence from a degraded British bog. *Journal of Ecology*, *104*(3), 621-636. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12565

Xu, W.-X., Bai, G.-L., Li, B.-N., Wu, Z.-B., & Zhang, Y. (2024). ADVANCES IN RESEARCHES ON CARBON STORAGE AND EMISSION OF SEDIMENT AND FACTORS IN SHALLOW LAKES. *Acta Hydrobiologica Sinica*, *48*(5), 878-888. https://doi.org/10.7541/2024.2023.0292

Fonction d'épuration de l'eau



JM Gillier, roselières (RNN Lac de Grand-Lieu)

Le lac de Grand-Lieu est situé en aval de son bassin versant, qui est traversé par l'Ognon et la Boulogne alimentant le lac en eau de pluies. Mais **ce bassin versant est très agricole**, avec notamment une forte activité maraîchère. Par lessivage, les **substances utilisées dans les parcelles agricoles**, en plus de **celles des eaux usées** qui n'ont pas pu être traitées par les stations d'épuration, se retrouvent alors dans l'eau du lac. Les zones humides, par leur biodiversité et leurs végétations, agissent normalement comme **zone tampon** et comme éponge, jouant un rôle d'épuration.

Mais cette fonction d'autoépuration est assez **peu connue** au niveau du lac de Grand-Lieu. Pour les nutriments, il a été constaté que **les nitrates et la silice** se rechargent en hiver avec les pluies et le lessivage, puis sont consommés au printemps-été par le plancton (silice consommée par les diatomées, daphnies et chironomidés, nitrates consommés par les phytoplanctons). **La charge en azote est plus faible à la sortie du lac**, le lac semble agir alors comme puit d'azote (16 mg/L → 5.5 mg/L). **Les (ortho)phosphates semblent aussi épurés** (0.9 mg/L → <0.1 mg/L), arrivant notamment de l'Ognon en été. Mais les orthophosphates (et la silice) sont relargués dans la colonne d'eau en été, en lien avec la **forte charge interne** des sédiments (Pannard *et al.*, 2020).

De plus, concernant les **micropolluants** (produits phytosanitaires, métaux, PFAS...), aucune connaissance n'existe sur leur épuration au niveau du lac. Cependant, 3 des 315 substances chimiques achetées sur le bassin versant représentent à elles seules **92,7% du potentiel toxique total** : cyperméthrine, deltaméthrine et téfluthrine, insecticides de la famille des pyréthrinoïdes, très toxiques pour la faune aquatique. Depuis plusieurs années, une **baisse significative** des quantités achetées de produits phytopharmaceutiques a été constatée sur le bassin versant, mais **la toxicité globale n'a cependant pas baissé**. L'évaluation de la toxicité et des effets de ces substances semble biaisée, car les limites de quantification par les laboratoires pour certaines molécules sont toujours supérieures à la valeur PNEC (concentration limite en-dessous de laquelle il est prédit que la substance n'est pas d'effets) (Namy, 2024).

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Avec la hausse des températures atmosphériques, la température de l'eau a aussi augmenté au fil des étés. Globalement, il a été constaté une **diminution générale de la quantité d'oxygène** dans les eaux des lacs tempérés, due à l'augmentation des températures atmosphériques (Jane *et al.*, 2021). L'hypoxie (ou anoxie) des eaux facilite la libération de polluants stockés dans les sédiments, notamment la remobilisation des phosphates, résultant en des phénomènes d'eutrophisation puis de blooms de cyanobactéries.

Le suivi de la turbidité effectuée par la RNN peut servir de proxy pour avoir une idée de l'évolution de la concentration en chlorophylle-a, et donc de l'évolution des concentrations en nutriments dans l'eau. En 10 ans (entre 2011/2012 et 2021/2023), les mesures à plus de 70cm de profondeur au disque de Secchi sont passées **de 24% à moins de 5%** (Gillier & Reeber, 2024).

La végétation palustre et aquatique, participant grandement au rôle d'épuration du lac, a fortement décliné au fil des ans : les herbiers aquatiques, les roselières, mais aussi la végétation des prairies inondables sont en régression, sous l'effet d'une multitude de facteurs (changement climatique, EEE,

eutrophisation, niveau de l'eau…). Alors ce déclin a peut-être déjà pu entraîner une diminution de la capacité de captation des éléments nutritifs (nitrates, phosphates). Particulièrement, les pertes de rendements très importantes des prairies de fauche ont fait diminuer en cascade l''exportation de la végétation fauchée, et donc l'exportation des nutriments.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Une étude a estimé l'évolution des charges de nutriments dans les bassins versants européens face au changement climatique : sous le scénario RCP2.6, la mobilisation des nutriments par les précipitations ferait **augmenter légèrement la charge en azote inorganique et le phosphore total** dans l'eau du bassin versant. Sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, il pourrait y avoir **une diminution des charges d'azote inorganique** entre 16-26% et 21-50%, grâce à une **absorption** plus importante des cultures et à l'augmentation de l'**évapotranspiration** (modélisation de Wynants *et al.*, 2024). Mais les précipitations plus importantes et potentiellement plus intenses en hiver prévues pourraient **augmenter le lessivage des sols** du bassin versant et contrer ces modélisations (Jeppesen *et al.*, 2011).

Les sédiments réémettent des **phosphates** dans l'eau face à l'augmentation des températures, favorisant les phénomènes d'eutrophisation et donc les blooms de cyanobactéries (Jane *et al.*, 2021).

En outre, la sensibilité de la fonction repose sur la **sensibilité des végétations du lac** (roselières, herbiers aquatiques, prairies inondables) aux changements climatiques. La sensibilité de la végétation aquatiques et palustres du lac est évaluée dans l'ensemble comme forte (*voir les fiches DVO respectives*).

Niveau de confiance : 😐

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

Il est prévu que la hausse des températures se poursuive, avec **+2°C** en moyenne annuelle d'ici 2055, et même **+3,6°C** d'ici 2085. Cette évolution sera accompagnée de **canicules** plus longues et plus sévères, entrainant des épisodes **d'hypoxie ou anoxie** dans l'eau. Les **sécheresses estivales** risquent d'être aussi plus longues et plus sévères. Les pluies connaitront **une saisonnalité marquée et une intensification**, avec une hausse des pluies en hiver et une diminution en été.

Niveau de confiance : 😐

favorable	neutre	**défavorable**

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Face au changement climatique, les capacités d'adaptation de la fonction d'épuration reposent surtout **sur la végétation aquatique et palustre**, qui malheureusement est évaluée comme fortement vulnérable au changement climatique (*voir les fiches n°10 « Herbiers aquatiques », p. 101 ou N°11 « Roselières », p. 107*). L'écosystème semble plutôt **subir les apports excessifs** en nutriments et en micropolluants. Les cyanobactéries semblent les plus adaptées au changement climatique et les plus résistantes pour utiliser les nutriments du lac.

Niveau de confiance : 

nulle	**faible**	moyenne	forte

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

- **Herbiers de nénuphars :** structurent les masses d'eau du lac et la biodiversité phytoplanctonique, pour éviter la sur-dominance des cyanobactéries lors des phénomènes d'eutrophisation (Pannard *et al.*, 2024). Permettent de filtrer l'eau.
- **Roselières :** fort pouvoir filtreur, mais en forte régression sur le lac.
- **Phytoplanctons :** notamment les cyanobactéries, font fluctuer les concentrations de nitrates et de phosphates, en consommant d'abord les nitrates puis en remobilisant les phosphates une fois les nitrates épuisés.
- **Pratiques agricoles sur le bassin versant** : apports de nutriments en excès et de micropolluants.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	**défavorable**

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

La fonction d'épuration de l'eau du lac de Grand-Lieu est très peu étudiée. En plus du **manque de connaissances**, la vulnérabilité est estimée très forte par le **recul des végétations aquatiques et amphibies** contribuant à cette fonction d'une part. D'autre part, l'augmentation des pluies hivernales pourrait **accroitre les apports en nutriments et micropolluants** et mettre sous pression la fonction d'épuration.

Vulnérabilité

nulle	faible	moyenne	**forte**	**très forte**

Quelles pistes d'adaptation ?

- Une réduction de 50% de la charge en nutriments serait possible par une réduction de 20% de l'apport d'engrais minéraux dans le bassin versant, la mise en place de cultures de couverture (lors des jachères), et des mesures d'atténuation en cours d'eau par création de zones d'expansion des crues (Wynants *et al.*, 2024).
- Préserver et restaurer les roselières et herbiers de nénuphars.
- Restaurer les zones humides du bassin versant pour atténuer la pollution arrivant au lac.
- Manque de connaissances important sur les processus d'épuration à Grand-Lieu : l'épuration des nitrates et phosphates est toujours d'actualité ? La hausse des températures aura un impact sur

la biodisponibilité des nutriments et micropolluants, ou sur leur dégradation ? Y a-t-il une charge interne limite en phosphates ? Y a-t-il une concentration limite d'épuration des nitrates ?

Sources :

Gillier, J. M. & Reeber, S. (2024). Suivi de la zone centrale du lac de Grand-Lieu 2021/2022. Rapport SNPN – RNN du lac de Grand-Lieu. https://www.snpn.com/wp-content/uploads/2024/04/pdf_rnngl_sui_zone_centrale_2021_2022.pdf

Jane, S. F., Hansen, G. J. A., Kraemer, B. M., Leavitt, P. R., Mincer, J. L., North, R. L., Pilla, R. M., Stetler, J. T., Williamson, C. E., Woolway, R. I., Arvola, L., Chandra, S., DeGasperi, C. L., Diemer, L., Dunalska, J., Erina, O., Flaim, G., Grossart, H.-P., Hambright, K. D., … Rose, K. C. (2021). Widespread deoxygenation of temperate lakes. *Nature*, *594*(7861), 66-70. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y

Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J. E., Audet, J., Søndergaard, M., Hoffmann, C. C., Andersen, H. E., Lauridsen, T. L., Liboriussen, L., Larsen, S. E., Beklioglu, M., Meerhoff, M., Özen, A., & Özkan, K. (2011). Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe : Implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, *663*(1), 1-21. https://doi.org/10.1007/s10750-010-0547-6

Namy, U. (2024). Bilan des micropolluants sur le lac de Grand-Lieu et son BV à partir de données ouvertes. *Rapport de stage, Nantes Université. SNPN – RNN du lac de Grand-Lieu.*

Pannard, A., Massé, S., Llopis, S., Francez, A. J., Rodriguez-Perez, H., Caudal, J. P., Azougui, A., Gouesbet, V., Pallois, F., Bouger, G., Petton, C., Crave, A., Leitao, M., Gillier, J. M., Gallais, P. (2020). Fonctionnement biogéochimique et hydrosédimentaire du lac de Grand-Lieu (2018-2020). *Agence de l'eau Loire Bretagne - Université Rennes 1*.

Pannard, A., Massé, S., Llopis, S., Leitao, M., Morata, S., Bouger, G., Gillier, J.-M., & Piscart, C. (2024). Rooted floating-leaf macrophytes structure the coexistence of different phytoplankton assemblages within a shallow lake. *Hydrobiologia*, *851*(4), 915-939. https://doi.org/10.1007/s10750-023-05366-5

Wynants, M., Strömqvist, J., Hallberg, L., Livsey, J., Lindström, G., & Bieroza, M. (2024). How to Achieve a 50% Reduction in Nutrient Losses From Agricultural Catchments Under Different Climate Trajectories? *Earth's Future*, *12*(7), e2023EF004299. https://doi.org/10.1029/2023EF004299

Botulisme



S Reeber, rassemblement d'échassiers et de laridés (RNN lac de Grand-Lieu)

Le botulisme aviaire est une épizootie provoquée par une bactérie naturellement présente dans les sédiments de zones humides riches en matière organique, ***Clostridium botulinum***. Cette bactérie produit des **neurotoxines**, et ce sont principalement celles de type C/D qui affectent l'avifaune sauvage en France. Les neurotoxines provoquent une **paralysie flasque des muscles**, rendant les oiseaux incapables de se déplacer, de s'alimenter ou même de maintenir leur tête hors de l'eau, pouvant conduire à la noyade (Anses, 2025). Durant l'été 2025, ce sont **4 700 cadavres d'oiseaux** qui ont été ramassés sur le lac de Grand-Lieu par les deux réserves, dont **75% de Canards colvert**. En tout, ce sont **34 espèces** qui ont été touchées, parmi lesquelles des foulques, mouettes, Aigrettes garzette, même un Busard des roseaux… Des ragondins ont également été intoxiqués.

Dans les sédiments du lac de Grand-Lieu, la bactérie est sous forme de spores, « silencieuse », pour résister aux conditions défavorables à sa forme végétative. Puis quand arrivent les conditions idéales (à partir de 15-20°C, températures optimales entre 37-40°C, anoxie, forte concentration en matière organique), la bactérie peut commencer **à germer et à libérer des toxines** dans son environnement. Deux voies de contamination sont possibles pour les oiseaux à Grand-Lieu lors d'un épisode botulique : **l'ingestion directe** de la bactérie sous forme de spores ou de cellules végétatives qui produisent les toxines dans l'organisme (après développement de la bactérie dans le tractus digestif), ou durant l'alimentation par **l'ingestion indirecte des toxines**. Ces toxines peuvent être présentes directement dans le milieu (notamment la vase), ou être concentrées dans les asticots qui se développent sur des cadavres déjà contaminés (Anses, 2025). La consommation de ces asticots par les autres canards **amplifie** alors l'épizootie.

A Grand-Lieu, cette épizootie semble se manifester principalement sur les **zones de vasière, de levis et de nénuphars**, dans les zones supposées les plus riches en matière organique et avec moins d'oxygène.

Le premier épisode le plus violent connu à Grand-Lieu a été celui de **1995** avec **3 000 oiseaux ramassés**, mais une mortalité bien supérieure avec potentiellement des dizaines de milliers d'oiseaux. L'épisode de botulisme de 2025 a donc dépassé ce premier épisode. Il a été largement **médiatisé** à Grand-Lieu par son ampleur et par le développement du phénomène sur d'autres zones humides, la Brière en particulier.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

L'épisode de 2025 était tout d'abord **précoce**, avec un démarrage de l'épizootie à la **mi-juin**. Cet épisode était ensuite le deuxième épisode violent connu au lac de Grand-Lieu, mais **le plus important** en termes de nombre de cadavres ramassés. En comparaison, en 2003, 2005 et 2016, années considérées comme « très mauvaises » (plus de 400 cadavres), entre 408 et 714 oiseaux seulement avaient été ramassés.

Il a été constaté qu'en 2025 les **températures** étaient particulièrement hautes (2025 a été la 4e année la plus chaude depuis 1973), avec un maximum de **37°C à la fin juin**. En plus de cela, une **désoxygénation précoce** et longue a commencé dès le 20 mai, avec un niveau d'eau bas mais très proche de celui des années précédentes.

Au **Parc naturel régional de Brière**, zone naturelle avec un faciès de marais tourbeux et eutrophe au Nord-Ouest du lac, les mêmes épisodes violents de botulisme ont eu lieu, en 1995 et 2025. Les équipes du PNR

ont constaté que des pluies d'été remettant en suspension des vasières séchées corrélaient avec un rebond de contamination.

De plus, il pourrait exister des **cotes « à risque »**, quand le niveau d'eau se situe entre 1,55m et 1,70m (cote Buzay) au lac de Grand-Lieu (Priot, 2025).

Les causes de l'apparition d'un épisode violent de botulisme sont encore mal comprises. **La température, la concentration en oxygène et le niveau d'eau** sont trois facteurs en forte interaction qui semblent jouer un rôle important dans le déclenchement d'un épisode de botulisme. A cela pourrait donc s'ajouter la concentration en matière organique, la présence de macrophytes aquatiques, les conditions hydrologiques de la (ou des) saison(s) précédente(s), les espèces d'oiseaux sur le site ainsi que leurs nombres et leur concentration… (Ventujol *et al.*, 2017 ; Berrand *et al.*, 2026).

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Le déclenchement du botulisme est donc **sensible à une conjonction de facteurs**, un seul de ces facteurs ne suffisant pas à déclencher une crise botulique :

- La température optimale de la croissance et de la toxinogénèse pour *C. botulinum* se situe **entre 37 et 40°C**, avec déjà un développement à partir de 15-20°C.
- *C. botulinum* est une bactérie **anaérobie**, c'est-à-dire qu'elle se développe et vit en condition anoxique. La dégradation de la **matière organique autochtone** (macrophytes, phytoplanctons et cyanobactéries) provoque une forte consommation d'oxygène, induisant une anoxie dans les sédiments, fortement profitable à la bactérie.
- Le **niveau d'eau du lac** peut descendre assez bas en été, à cause des fortes températures, de l'évaporation de l'eau et d'un déficit de précipitations marqué.

➔ La concentration en oxygène est très étroitement liée à la température, car plus la température de l'eau augmente, moins il y a d'oxygène dissout. Le niveau d'eau influence également la température de l'eau, un niveau bas limitant l'inertie thermique (résistance au changement de température) de l'eau, donc l'eau chauffant davantage lorsque le niveau est bas.

Les précipitations hivernales apportent de la **matière organique allochtone** en plus dans le lac (phosphates, nitrates) par lessivage, favorisant encore la bactérie.

Niveau de confiance : 



L'exposition de l'objet au changement climatique

La température de l'air en été augmentera de +2°C en moyenne d'ici 2055, et de +4°C d'ici 2085, avec des **records** de températures attendus (Nantes, juin 2026 : record de 42,2°C). Les **vagues de chaleur et canicules** seront plus précoces, plus longues, plus fréquentes et plus intenses.

En parallèle, les **précipitations estivales diminueront**, et les **sécheresses** pourront être plus longues et plus intenses : la période chaude et sèche pourrait s'étaler du printemps à l'automne. A l'inverse, les **pluies hivernales** risquent d'être plus importantes, augmentant le lessivage des sols et l'apport de matière organique dans le lac.

Le changement climatique semble alors **favorable** au développement de la bactérie à Grand-Lieu. Il risque d'engendrer une **augmentation du nombre d'épisodes de botulisme** dans le lac dans les années à venir, à cause de l'élévation des températures de l'eau, des apports de matières organiques par des événements pluvieux extrêmes, de la baisse du niveau d'eau par l'augmentation de l'évaporation et par la diminution des apports en eaux en été… (Anses, 2025). Ces conditions favorisant aussi la **concentration d'oiseaux** plus importante sur le lac de Grand-Lieu, alors que de nombreuses autres zones humides seront asséchées.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	défavorable

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

La capacité d'adaptation de l'objet est difficile à estimer. *C. botulinum* ne s'adapte pas vraiment au changement climatique mais y répond de manière **opportuniste**, car le changement climatique favorisera fortement cette bactérie.

Les fortes chaleurs estivales et la hausse générale des températures permettront à la bactérie de **germer et se développer plus tôt dans l'année et plus longtemps**, libérant alors aussi plus tôt et plus longtemps des neurotoxines. La désoxygénation accompagnant la hausse des températures permettra, en même temps que de favoriser les **conditions anaérobiques** nécessaires au développement de la bactérie, de remobiliser davantage les nutriments stockés dans les sédiments du lac, augmentant l'eutrophisation.

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

La vulnérabilité des espèces d'oiseaux et leur concentration : selon l'espèce, le comportement de l'espèce et l'alimentation, la vulnérabilité des oiseaux au botulisme varie. La **Foulque macroule** et le **Canard colvert** semblent alors être les espèces les plus vulnérables (Anza *et al.*, 2016). De même, les espèces de surface, **herbivores ou omnivores** avec des *caeca* (parties du systèmes digestifs présentant des conditions anaérobies) plus gros semblent plus vulnérables (Anses, 2025). Les **anatidés** seraient ainsi les oiseaux les plus touchés par le botulisme en France, et particulièrement les **Canards colvert** (Ventujol *et al.*, 2017). La vulnérabilité des colverts en mue et la forte densité des colverts ainsi que d'autres espèces se regroupant favorisent la contamination et la transmission du botulisme (Anses, 2025).

L'eutrophisation : l'apport de **matière organique allochtone** venant du bassin versant, mais également la **remobilisation** de matière organique (notamment le phosphore) présente dans les sédiments du lac par bioturbation est favorable au botulisme. Le lessivage par les pluies hivernales et la désoxygénation en été remobilisant le phosphore du lac risquent d'augmenter dans le futur.

La présence d'espèces invasives perturbe l'équilibre des écosystèmes et pourrait également jouer un rôle dans l'émergence d'épisodes de botulisme aviaire. En effet, certains poissons envahissants mais aussi des poissons blancs avec des comportements de fouisseurs ou détritivores peuvent **remettre la matière en suspension**, et donc également des spores de *C. botulinum*. L'Ecrevisse de Louisiane pourrait aussi remettre en suspension la bactérie du fait de son comportement benthique mais aussi être porteuse de la bactérie, et potentiellement **transmettre la bactérie dans la chaine trophique**. Enfin, le ragondin

est également porteur et sensible, mais son rôle dans la transmission de la bactérie n'est **pas encore connu** (Anses, 2025).

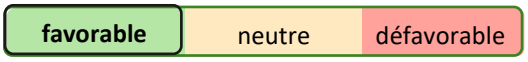
Le cycle « carcasse-asticot » : les larves d'insectes nécrophages concentrent les neurotoxines, qu'ils ingèrent en consommant les cadavres morts du botulisme. Ces mêmes invertébrés sont finalement la source de nourriture de nombreux oiseaux, qui se retrouvent intoxiqués et meurent également. Ce cycle perpétue et amplifie l'épisode botulique (Vidal *et al.*, 2013, Espelund & Klaveness, 2014).

Les cyanobactéries : pullulant en été, elles favorisent les épisodes botuliques car forment beaucoup de matière organique qui, en se décomposant, favorise la désoxygénation de l'eau.

Capacité de ramassage des cadavres par les techniciens : le ramassage des cadavres s'est révélé être le seul moyen de contenir l'épizootie au mieux, pour éviter une amplification, en attendant la fin de l'épisode botulique (Volponi *et al.*, 2024). A Grand-Lieu, la vaste superficie à surveiller et les moyens humains et techniques (équipe de 4 à la RNN, un seul hydroglisseur) peuvent vite se révéler limités face à un épisode aussi violent qu'en 2025.

➔ D'autres facteurs ou interactions encore inconnus pourraient aussi entrer dans l'équation.

Niveau de confiance : 

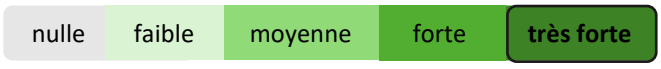


Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Le botulisme, ou plus précisément la bactérie *C. botulinum*, semble être **très opportuniste** face au changement climatique : en effet, toutes les **conditions favorables** de base pour la germination, la croissance et la toxinogénèse de la bactérie seront amplifiées dans le futur. Hausse des températures printanières et estivales, désoxygénation de l'eau, abaissement du niveau de l'eau avec les sécheresses et l'évaporation…

De nombreux facteurs externes accompagnent ces paramètres climatiques dans la mise en place propice d'un épisode de botulisme : l'eutrophisation de l'eau, la présence importante d'espèces vulnérables (Canards colvert) et les lâchers cynégétiques de colverts augmentant les concentrations, les espèces invasives et bioturbatrices, les blooms de cyanobactéries, les capacités limitées de ramassage des cadavres par les réserves… **De nombreuses connaissances manquent encore** à ce jour, pour connaitre tous les facteurs hydro-écologiques et les interactions qui permettent la mise en route d'un épisode de botulisme et qui déterminent sa violence. Mais il est très probable que des **épisodes de botulisme se manifestent plus tôt, plus longtemps et plus fréquemment** avec le changement climatique.

Opportunité



Quelles pistes d'adaptation ?

- Suivre la recherche sur le botulisme et ses mécanismes, prendre part à **l'amélioration des connaissances**.

B. Berrand mène actuellement **une thèse sur les mécanismes menant à une crise de botulisme en avifaune sauvage**, à l'Université de Lorraine (Berrand *et al.*, 2026). Les questionnements sont en effet multiples :

- Où se trouve la bactérie ? Dans les sédiments, à quelle profondeur ? Sur les végétaux ?

- Quels peuvent être les liens avec les autres bactéries, les cyanobactéries ? Comment est composée la communauté bactérienne ?

- Quels liens entre la sensibilité spécifique, individuelle des oiseaux, dans le temps et dans l'espace ?

- Quelles sont les successions physico-chimiques entrainant un épisode de botulisme ?

- **Arrêter les lâchers cynégétiques**, surtout durant la période printemps-été lorsque les risques de botulisme sont élevés. A défaut, **vacciner** systématiquement les canards lâchés avec les deux doses (comment faire vérifier la mise en pratique de cette mesure ?).

- Agir en amont du bassin versant et sensibiliser pour **limiter les apports de matière organique** et **d'intrants** au lac.

- Continuer **le ramassage systématique** des cadavres morts du botulisme ou des oiseaux intoxiqués pour limiter la propagation de la bactérie et couper le cycle : prospections quasi quotidiennes en hydroglisseur.

- Lors d'une crise botulique dans la région : **fermer la chasse au gibier d'eau sur les sites épargnés**, pour éviter de faire fuir les oiseaux vers un site contaminé et apporter davantage de « futurs cadavres » sur le site contaminé (*cf.* expérience entre Grand-Lieu et la Brière).

Sources :

En complément des échanges sur le botulisme à la RNN du lac de Grand-Lieu avec D. Banas, B. Berrand, A. Payne, C. Le Maréchal-Condy, M. Marquet, I. Moyon, C. Sorin, S. Reeber et JM Gillier :

Anses. (2022). Fiche « maladies animales » : Botulisme aviaire. *Maisons-Alfort : Anses*.

Anses. (2025). Évaluation des risques et mesures de gestion de cas de botulisme dans la faune sauvage (saisine n° 2019-SA-0115). *Maisons-Alfort : Anses*, 160 p.

Anza, I., Vidal, D., Feliu, J., Crespo, E., & Mateo, R. (2016). Differences in the Vulnerability of Waterbird Species to Botulism Outbreaks in Mediterranean Wetlands : An Assessment of Ecological and Physiological Factors. *Applied and Environmental Microbiology*, *82*(10), 3092-3099. https://doi.org/10.1128/AEM.00119-16

Berrand, B., Maréchal, C. L., Richomme, C., Reboul, G., Banas, D., & Payne, A. (2026, juin 3). *From C. botulinum spores to outbreaks : A review of potential hydro-ecological mechanisms leading to avian botulism outbreaks in wild birds (poster).* International Congress on One Health 2026 (One H Congress). https://hal.univ-lorraine.fr/hal-05659877

Espelund, M., & Klaveness, D. (2014). Botulism outbreaks in natural environments—An update. *Frontiers in Microbiology*, *5*, 287. https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00287

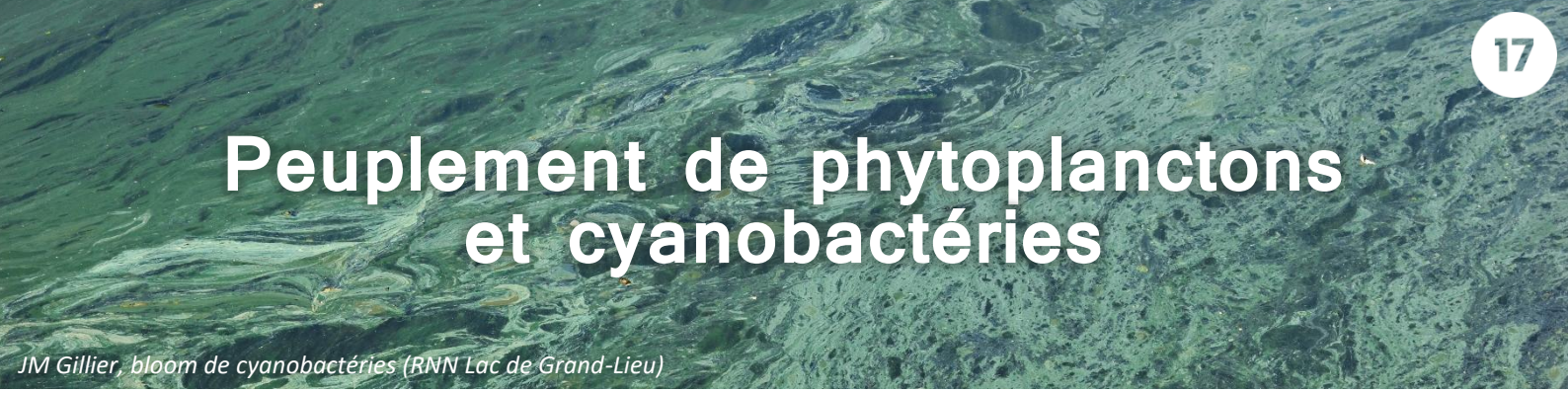
Priot, C. (2025, août 19). Etat des lieux sur la crise de botulisme / RNN Lac de Grand-Lieu / été 2025. *Société Nationale de Protection de la Nature*. https://www.snpn.com/etat-des-lieux-sur-la-crise-de-botulisme-rnn-lac-de-grand-lieu-ete-2025/

Ventujol, A., Decors, A., Le Maréchal, C., Toux, J. Y., Allain, V., Mazuet, C., Bayon-Auboyer, M.-H., & Le Bouquin, S. (2017). Le botulisme aviaire en France : étude des cas signalés dans la faune sauvage et dans les élevages par deux réseaux de surveillance entre 2000 et 2013. *Epidémiol. et santé anim., 72*, 85-102.

Vidal, D., Anza, I., Taggart, M. A., Pérez-Ramírez, E., Crespo, E., Hofle, U., & Mateo, R. (2013). Environmental factors influencing the prevalence of a Clostridium botulinum type C/D mosaic strain in nonpermanent Mediterranean wetlands. *Applied and Environmental Microbiology*, *79*(14), 4264-4271. https://doi.org/10.1128/AEM.01191-13

Volponi, S., De Marco, M. A., Benigno, R., Savorelli, E., Frasnelli, M., Fiorentini, L., Tosi, G., Bardasi, L., Toschi, E., Taddei, R., & Cocchi, R. (2024). Ecology and Management of a Large Outbreak of Avian Botulism in Wild Waterbirds in Northeastern Italy (2019–2022). *Animals : an Open Access Journal from MDPI*, *14*(16), 2291. https://doi.org/10.3390/ani14162291

Peuplement de phytoplanctons et cyanobactéries



JM Gillier, bloom de cyanobactéries (RNN Lac de Grand-Lieu)

Dans les milieux aquatiques, le peuplement de phytoplanctons constitue la **base du réseau trophique**, le premier maillon essentiel de l'écosystème, justifiant de son caractère structurant pour la chaîne trophique.

Au lac de Grand-Lieu, les phytoplanctons font varier les taux d'oxygène et de pH dans l'eau selon leur développement et la saison, impactant alors les **variations nycthémérales** de ces paramètres. Ils fonctionnent en **méta-communautés**, structurées par la présence des macrophytes aquatiques, et présentent une **très grande diversité planctonique** à l'échelle du lac (Pannard *et al.*, 2024). Mais **l'eutrophisation** du lac **liée à la pollution diffuse de l'eau venant du bassin versant** entraîne des déséquilibres du peuplement phytoplanctonique, avec la prolifération de **cyanobactéries** bloquant le passage de la lumière et menant à des phénomènes d'**anoxie** de l'eau. Cela impacte alors la végétation aquatique immergée ou flottante, puis les cortèges d'odonates, d'amphibiens ou encore de poissons. La **question sanitaire** est également soulevée, pour l'humain mais également pour la faune, car certaines cyanobactéries produisent des cyanotoxines.

Les suivis effectués sur le lac ont permis de tracer la chronologie annuelle du phytoplancton (Gillier et Reeber, 2018) :

- **Printemps :** des blooms de phytoplanctons peuvent être assez précoces, avec des valeurs de chlorophylle *a* élevée (plus de 150 µg/L entre février et avril) et un pic de diatomées, mais le développement des cyanobactéries reste contenu.
- **~Mai :** l'explosion du développement des zooplanctons consommant les phytoplanctons fait diminuer la quantité de ces derniers (chute du taux de chlorophylle *a* : moins de 30-40 µg/L), accompagnée d'une forte augmentation de la transparence de l'eau.
- **Eté :** les cyanobactéries et chlorophycées se développent davantage. Les cyanobactéries sont dominantes et dégradent la qualité de l'eau du lac avec des espèces parfois toxiques. La transparence de l'eau diminue fortement et des zones d'anoxie apparaissent. Les cyanobactéries consomment le phosphate (limitant) et le nitrate du lac.
- **Automne - Hiver :** la baisse des températures, de l'ensoleillement et l'homogénéisation des conditions par la montée des eaux font diminuer à nouveau le taux de cyanobactéries, avec principalement des diatomées dans le peuplement.

Ce schéma peut se décaler en fonction des conditions hydrologiques et météorologiques. Le basculement en phase turbide peut alors être plus précoce certaines années.

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

Des suivis du phytoplancton du lac de Grand-Lieu ont été réalisés à partir de 2017. Les analyses partielles des résultats suggèrent une **augmentation des cyanobactéries d'année en année**, avec des blooms plus précoces et plus longs. La part de cyanobactéries dans les blooms de phytoplanctons estivaux pourrait avoir augmenté également. Ces blooms ont été accentués ces dernières années par les fortes chaleurs.

Globalement, il a été constaté une **diminution générale de la quantité d'oxygène** dans les eaux des lacs tempérés, due à l'augmentation des températures atmosphériques (Jane *et al.*, 2021). Les eaux profondes

de ces lacs stratifiés deviennent hypoxiques (ou anoxiques), facilitant la libération de polluants stockés dans les sédiments, résultant en des phénomènes d'eutrophisation puis de blooms de cyanobactéries.

Le lac de Grand-Lieu n'est **pas assez profond pour avoir des eaux stratifiées durablement**, mais il existe des stratifications qui durent quelques heures, avec des différences de températures de plus de 3 ou 4 °C entre la surface et le fond. Les températures atmosphériques en hausse réchauffent bien plus rapidement la colonne d'eau peu profonde du lac, permettant aux cyanobactéries de se développer grâce à une eau chaude et des sédiments déjà très eutrophes (riches en nutriments).

La sensibilité de l'objet au changement climatique

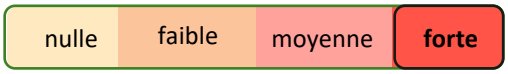
La communauté phytoplanctonique est fortement sensible aux augmentations de température : il a été observé **un avancement de la phénologie des phytoplanctons** avec le réchauffement global, pouvant déséquilibrer le réseau trophique, et cet avancement semble se faire plus rapidement en eau douce que dans les océans (Vadadi-Fülöp & Hufnagel, 2014). Cette sensibilité est encore accrue en présence d'une **forte charge en nutriments** (Elliott *et al.*, 2006) : la biomasse phytoplanctonique augmente alors, mais au profit de quelques taxons seulement, en particulier les cyanobactéries, **au détriment de la diversité spécifique**. En effet, à 35°C, il n'y a que les cyanobactéries qui puissent tenir.

Les cyanobactéries se développent **plus rapidement** que les autres espèces lorsque les températures sont plus importantes (US EPA, 2013), avec des proliférations **dès 20°C** et des blooms qui surviennent habituellement en **août-septembre** au lac de Grand-Lieu. Par ailleurs, la hausse des températures accentue la **libération de phosphore** depuis les sédiments, ce qui amplifie encore davantage ces proliférations. La hausse des températures, surtout combinée à de fortes concentrations en phosphore, **tend à affaiblir et simplifier le réseau écologique planctonique** : les interactions deviennent moins nombreuses et moins fortes, les cyanobactéries prennent un rôle central dans le réseau, et leur toxicité les protège de la prédation par le zooplancton (Merz *et al.*, 2023). Les épisodes de grosses chaleurs plus longs et plus fréquents favoriseront alors davantage les blooms de cyanobactéries, déséquilibrant la communauté planctonique.

Les cyanobactéries ne disparaissent pas à l'automne : certaines se maintiennent dans les sédiments, entrant en dormance avant de germer à nouveau au printemps. Ce phénomène pourrait entraîner une augmentation progressive de la charge en cyanobactéries d'année en année.

Le phytoplancton est **sensible à l'hydrologie et aux vents** de façon indirecte. L'intensification des pluies risque d'**accentuer le lessivage des sols** en amont et d'apporter encore plus de nutriments à un lac déjà eutrophe, profitant aux cyanobactéries lors des années sèches durant lesquelles les **concentrations en nutriments** atteignent des niveaux très élevés (Preece *et al.*, 2025 ; US EPA, 2013). La faible profondeur du lac de Grand-Lieu le rend particulièrement vulnérable à la remise en suspension des sédiments par les vents, favorisant la **turbidité** et les **cyanobactéries**, contrairement aux lacs plus profonds stratifiés en été (Huber *et al.*, 2012 ; Piccioni *et al.*, 2021).

Niveau de confiance : 



pour tout le peuplement

L'exposition de l'objet au changement climatique

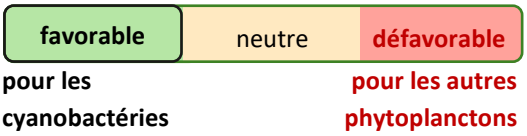
Les températures atmosphériques augmenteront considérablement, de **+2°C** d'ici 2055 à **+3,6°C** d'ici 2085 (en moyenne pour le RCP8.5), influençant directement l'**augmentation de la température de l'eau** du lac,

étant peu profond. L'augmentation de la température de l'eau induira également une **diminution de la solubilité de l'oxygène**. Le nombre de journées estivales (>25°C) et de jours de très fortes chaleur (>35°C) augmentera en parallèle, **étalant la période chaude et sèche** dans l'année.

La **température associée à la luminosité** sont les paramètres les plus impactant, fortement favorables aux cyanobactéries. **L'augmentation des précipitations hivernales** et **l'intensification probable des précipitations estivales** accentueront le lessivage des sols et donc les apports de nutriments au lac.

Les vents n'ont pas été analysés dans le récit climatique de cette démarche, bien qu'ils soient structurant pour le peuplement de phytoplanctons. Un **vent modéré** maintient en suspension des groupes comme les diatomées ; des **vents trop forts** génèrent des cellules de Langmuir (« bulles » de turbulence à la surface de l'eau) favorables aux cyanobactéries ; une **absence de vent** induit une stagnation de l'eau propice à leur prolifération.

Niveau de confiance : 



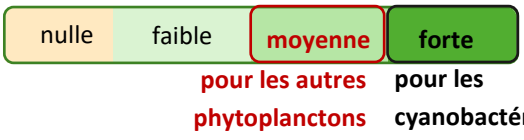
La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Les capacités d'adaptation au changement climatique sont variables selon les espèces de phytoplanctons, mais bien plus étudiées en milieu océanique : des diatomées océaniques semblent déjà abriter la **diversité génétique** nécessaire pour s'adapter à l'augmentation des températures (Bishop *et al.*, 2022). Cette capacité d'adaptation (dans l'usage des ressources, la tolérance à la chaleur...) pourrait finalement **réduire la brutalité des changements écosystémiques** qui sont souvent attendus suivant le changement climatique futur (par ex. sur-dominance de certains taxons) (Hochfeld et Hinners, 2024).

Mais face à des évènements extrêmes plus intenses, la capacité d'adaptation des phytoplanctons semble **insuffisamment rapide** (Sauterey *et al.*, 2023), pouvant laisser la place aux cyanobactéries qui semblent particulièrement plastiques et tolérantes. En effet, l'évolution de leurs **phycobilisomes** (structures qui permettent de collecter l'énergie lumineuse) au cours du temps serait la raison de leur forte adaptation à différentes lumières et conditions environnementales (Callieri, 2017).

Des **espèces exotiques de cyanobactéries**, bien mieux adaptées aux fortes températures, pourraient concurrencer le peuplement actuel de phytoplanctons, illustrant le risque d'un changement d'espèces. A Grand-Lieu, la cyanobactérie exotique ***Cylindrospermopsis raciborskii***, a déjà été détectée dans le lac en 2019, et est potentiellement toxique.

Niveau de confiance : 



Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

Le premier facteur externe impactant le peuplement de phytoplanctons est la **qualité de l'eau arrivant du bassin versant**. L'eutrophisation de l'eau est causée et accentuée avec l'usage de **pesticides et d'engrais** par les pratiques agricoles en amont ainsi que les **eaux usées**, pollution qui arrive avec les eaux pluviales et le lessivage des sols. Cette charge accrue en nutriments azotés et phosphatés accentue la turbidité et le développement des cyanobactéries (Elliott *et al.*, 2006 ; Merz *et al.*, 2023 ; Mooij *et al.*, 2007 ; Preece *et al.*, 2025).

L'**imperméabilisation du sol des communes** favorise finalement la venue des eaux du bassin versant au lac alors qu'elles pourraient être absorbées plus en amont, voire épurées.

Le **phosphate accumulé dans les sédiments** du lac est libéré par la diminution de l'oxygène dans l'eau, favorisant d'autant plus les cyanobactéries.

Il est également posé la question du rôle de la **gestion du vannage** dans le développement des cyanobactéries en été, qui pourraient être favorisées par la **stagnation de l'eau** quand le vannage est fermé plusieurs mois. De plus, un **niveau d'eau trop haut** notamment au printemps limite le bon développement des macrophytes, alors que les cyanobactéries se développent autant quel que soit le niveau d'eau.

En effet, la présence des **macrophytes enracinés flottants** (comme les nénuphars à Grand-Lieu) favorisent la coexistence de communautés de phytoplanctons différentes (Pannard *et al.*, 2024). En faisant baisser la température de l'eau, la turbidité ou encore en modifiant la concentration en oxygène, ils créent des micro-habitats contrastés qui empêchent une homogénéisation du lac et favorisent ainsi la biodiversité phytoplanctonique. En parallèle, l'eau libre favorise davantage les cyanobactéries. Il a déjà été constaté **une régression des herbiers aquatiques flottants à Grand-Lieu**, tendance qui risquerait de continuer avec le changement climatique, l'impact des espèces exotiques envahissantes et les phénomènes d'anoxie. Cela risquerait de favoriser encore les cyanobactéries au détriment des autres phytoplanctons.

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	défavorable
pour les cyanobactéries		pour les autres phytoplanctons

Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Dans un lac déjà fortement eutrophe et productif, le changement climatique **empirera le développement des cyanobactéries** au détriment des autres phytoplanctons de la communauté planctonique : hausse générale des températures et vagues de chaleur, inondations et sécheresses… **Couplé à l'eutrophisation de l'eau** à cause des pratiques polluantes sur le bassin versant, le changement climatique favorisera en effet les blooms de cyanobactéries plus fréquents et plus tôt dans l'année.

Les activités agricoles du bassin versant et le traitement insuffisant des eaux usées sont donc des facteurs très aggravants : ils apportent des charges en nutriments importantes qui dégradent la qualité de l'eau. La charge interne du lac en **phosphate** est très forte et nourrit les cyanobactéries.

Les cyanobactéries sont par ailleurs très **plastiques et tolérantes**, et deviennent vite **dominantes** dès que les conditions leur deviennent favorables. Elles risqueraient alors de déséquilibrer l'écosystème, de l'asphyxier et de l'appauvrir davantage. **La qualité de l'eau** doit donc être restaurée pour limiter leur développement, et ceci dès l'amont du bassin versant. Les **herbiers de nénuphars** jouent également un rôle primordial pour favoriser les autres phytoplanctons, et doivent être préservés voire restaurer.

Opportunité pour les cyanobactéries

nulle	faible	moyenne	forte	très forte

Vulnérabilité pour les autres phytoplanctons

nulle	faible	moyenne	**forte**	très forte

Quelles pistes d'adaptation ?

- Pour restaurer la qualité de l'eau arrivant au lac, la première adaptation serait de **limiter les intrants** sur le bassin versant et de **mieux traiter les eaux usées**.
- La qualité de l'eau pourrait également être améliorée en amont grâce à la filtration lors de son passage dans des zones humides ou autres zones naturels. Pour cela, il serait nécessaire de **limiter l'imperméabilisation des sols,** encourager la **désimperméabilisation** dans les communes du bassin versant et la **conservation et restauration des zones humides** dans ces communes, pour profiter des services écosystémiques (épuration de l'eau, zone tampon…) de ces espaces naturels.
- Une réflexion sur la **diminution de la charge interne du lac en phosphate** est aussi utile, car ce nutriment est fortement favorable aux cyanobactéries, surtout après que l'azote a été entièrement consommé au courant de l'été.
- L'enjeu consiste aussi à **préserver l'hétérogénéité du lac** grâce aux herbiers aquatiques. Des pistes seraient alors de restaurer des herbiers, de les protéger des turbulences ou même de créer des zones artificielles (poteaux, panneaux solaires flottants…).
- De façon anecdotique, l'ouverture d'un marché utilisant des molécules d'intérêt extraites des cyanobactéries permettrait d'évacuer les cyanobactéries du lac pour l'industrie.

Un manque de connaissances a été constaté concernant les phytoplanctons d'eau douce, notamment en ce qui concerne leur sensibilité et leur adaptabilité face au changement climatique. Davantage d'études ont été menées pour les phytoplanctons marins.

Sources :

En complément de l'entretien avec Alexandrine Pannard (enseignante-chercheuse sur le phytoplancton, Université de Rennes) et des informations récoltées lors de l'atelier "Patrimoine naturel" avec le comité technique de la démarche Natur'Adapt du lac de Grand-Lieu :

Bishop, I. W., Anderson, S. I., Collins, S., & Rynearson, T. A. (2022). Thermal trait variation may buffer Southern Ocean phytoplankton from anthropogenic warming. Global Change Biology, 28(19), 5755-5767. https://doi.org/10.1111/gcb.16329

Callieri, C. (2017). Synechococcus plasticity under environmental changes. FEMS Microbiology Letters, 364(23). https://doi.org/10.1093/femsle/fnx229

Elliott, J. A., Jones, I. D., & Thackeray, S. J. (2006). Testing the Sensitivity of Phytoplankton Communities to Changes in Water Temperature and Nutrient Load, in a Temperate Lake. Hydrobiologia, 559(1), 401-411. https://doi.org/10.1007/s10750-005-1233-y

Gillier, J.-M., & Reeber, S. (2018). Plan de gestion 2018-2027, Réserve Naturelle Nationale du Lac de Grand-Lieu.

Hochfeld, I., & Hinners, J. (2024). Phytoplankton adaptation to steady or changing environments affects marine ecosystem functioning. Biogeosciences, 21(23), 5591-5611. https://doi.org/10.5194/bg-21-5591-2024

Huber, V., Wagner, C., Gerten, D., & Adrian, R. (2012). To bloom or not to bloom : Contrasting responses of cyanobacteria to recent heat waves explained by critical thresholds of abiotic drivers. Oecologia, 169(1), 245-256. https://doi.org/10.1007/s00442-011-2186-7

Jane, S. F., Hansen, G. J. A., Kraemer, B. M., Leavitt, P. R., Mincer, J. L., North, R. L., Pilla, R. M., Stetler, J. T., Williamson, C. E., Woolway, R. I., Arvola, L., Chandra, S., DeGasperi, C. L., Diemer, L., Dunalska, J., Erina, O., Flaim, G., Grossart, H.-P., Hambright, K. D., … Rose, K. C. (2021). Widespread deoxygenation of temperate lakes. Nature, 594(7861), 66-70. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y

Merz, E., Saberski, E., Gilarranz, L. J., Isles, P. D. F., Sugihara, G., Berger, C., & Pomati, F. (2023). Disruption of ecological networks in lakes by climate change and nutrient fluctuations. Nature Climate Change, 13(4), 389-396. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01615-6

Mooij, W. M., Janse, J. H., De Senerpont Domis, L. N., Hülsmann, S., & Ibelings, B. W. (2007). Predicting the effect of climate change on temperate shallow lakes with the ecosystem model PCLake. Hydrobiologia, 584(1), 443-454. https://doi.org/10.1007/s10750-007-0600-2

Pannard, A., Massé, S., Llopis, S., Leitao, M., Morata, S., Bouger, G., Gillier, J.-M., & Piscart, C. (2024). Rooted floating-leaf macrophytes structure the coexistence of different phytoplankton assemblages within a shallow lake. Hydrobiologia, 851(4), 915-939. https://doi.org/10.1007/s10750-023-05366-5

Piccioni, F., Casenave, C., Lemaire, B. J., Le Moigne, P., Dubois, P., & Vinçon-Leite, B. (2021). The thermal response of small and shallow lakes to climate change : New insights from 3D hindcast modelling. Earth System Dynamics, 12(2), 439-456. https://doi.org/10.5194/esd-12-439-2021

Preece, E. P., Paerl, H. W., Plaas, H. E., & Cooke, J. (2025). From drought to deluge : Hydrologic extremes alter nutrient-driven harmful cyanobacterial blooms. Environmental Pollution, 382, 126731. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126731

Sauterey, B., Gland, G. L., Cermeño, P., Aumont, O., Lévy, M., & Vallina, S. M. (2023). Phytoplankton adaptive resilience to climate change collapses in case of extreme events – A modeling study. Ecological Modelling, 483. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110437

US EPA, O. (2013, septembre 5). Climate Change and Freshwater Harmful Algal Blooms [Overviews and Factsheets]. https://www.epa.gov/habs/climate-change-and-freshwater-harmful-algal-blooms

Vadadi-Fülöp, C., & Hufnagel, L. (2014). Climate change and plankton phenology in freshwater : Current trends and future commitments. Journal of Limnology, 73(1). https://doi.org/10.4081/jlimnol.2014.770

Espèces exotiques envahissantes



JM Gillier, cages à écrevisses (RNN lac de Grand-Lieu)

Au lac de Grand-Lieu, de nombreuses espèces animales et végétales exotiques envahissantes se sont installées. Les plus impactantes et structurantes à Grand-Lieu sont le **Ragondin** (*Myocastor coypus*), le **Rat musqué** (*Ondatra zibethicus*), **l'Ecrevisses de Louisiane** (*Procambarus clarkii*, et l'Ecrevisse américaine *Orconectes limosus* dans une moindre mesure), ainsi que les **Jussies** (*Ludwigia sp*).

Ces espèces sont très préoccupantes car elles impactent la structure trophique du site (écrevisses), les habitats par la prédation, la compétition et l'affaiblissement de la végétation, ou encore en étant vecteur de maladies. Les écrevisses nord-américaines sont porteuses saines de la **peste de l'écrevisse** (Diéguez-Uribeondo et Söderhäll, 1993), la transmettant aux écrevisses locales comme l'Ecrevisse à pattes blanches *Austropotamobius pallipes* (Lafitte *et al*., 2024), qui a d'ailleurs disparu de Grand-Lieu. Les espèces exotiques envahissantes (EEE) sont en effet **l'une des plus importantes causes de perte de biodiversité**, et sont globalement la première menace pour les oiseaux et les reptiles indigènes (Bellard *et al*., 2022).

Une EEE est généralement caractérisée par son **caractère pionnier** dans le nouvel environnement dans lequel elle arrive, où elle s'y **développe rapidement**, sans concurrence car n'a **pas de prédateurs** sur ce nouveau territoire (paradoxal pour l'Ecrevisse de Louisiane à Grand-Lieu, source principale de nourriture pour les Spatules blanches). Elle est **généraliste**, **opportuniste** et possède une **forte adaptabilité**, surpassant alors les espèces indigènes, se développant et colonisant souvent des **milieux déjà dégradés** (Emiljanowicz *et al*., 2017 ; van Kleunen *et al*., 2009).

Quelles autres EEE ou espèces introduites néfastes sur le lac de Grand-Lieu ?

- **Plantes :** Myriophylle du Brésil, Sagittaire à larges feuilles, *Paspalum distichum*…
- **Poissons :** Carrassin, Poisson chat, Perche soleil, Pseudorasbora, Sandre (hôte définitif, résistant et non impacté du ver *Bucephalus polymorphus*. Il facilite la transmission de la maladie provoquée par le ver chez les petits poissons blancs - Kinkelin *et al*., 1969) …
- **Oiseaux :** Ibis sacré, Erismature rousse, Ouette d'Egypte, Bernache du Canada…
- **Autres :** Corbicules asiatiques, Xénope lisse, Frelon asiatique…

Quels sont les effets déjà observés du changement climatique ?

De façon générale, le climat s'est « **tropicalisé** » avec des étés plus chauds, des hivers moins froids et des années plus pluvieuses. Ce climat tend à favoriser l'arrivée et l'installation des EEE, qui sont alors des espèces venant de pays chauds, bien adaptées à ces nouvelles conditions, importées par l'humain. Il y a alors eu une **accélération du phénomène des EEE** à Grand-Lieu comme en Europe, depuis les années 2000.

L'absence d'hiver froid a permis aux **populations de ragondins d'augmenter fortement**. Lors du piégeage de cette espèce, il a été constaté un rajeunissement de la population : les ragondins piégés sont plus petits mais déjà reproducteurs.

Les années plus fréquemment pluvieuses semblent avoir **favorisé la Jussie et l'Ecrevisse**. La Jussie s'est fortement répandue **sur les marais**, en passant de la forme uniquement aquatique à la forme également terrestre il y a 15-20 ans. L'Ecrevisse et le Ragondin consomment d'ailleurs la Jussie et la bouturent, entretenant le « cercle vicieux » des EEE du lac.

A Grand-Lieu, les EEE ont justifié l'intégration d'actions spécifiques dans les documents de gestion et dans les missions des aires protégées, ce qui n'était pas le cas il y a 15-20 ans. Des **programmes de gestion, régulation ou même d'éradication** d'espèces ont été menés :

- **L'Erismature rousse**, menaçant génétiquement sa cousine l'Erismature à tête blanche (en danger d'extinction sur la liste rouge de l'UICN), a été régulée par des tirs dans le cadre du LIFE Oxyura, pour éviter la dispersion de l'espèce invasive vers l'Espagne, limite nord de l'espèce menacée (OFB, 2023). La population française est donc passée de 167 individus avant le LIFE à 28 en 2023, menant la population française d'Erismature rousse proche de l'extinction.

- **L'Ibis sacré**, prédateur des nids d'autres oiseaux comme les guifettes, a aussi fait l'objet d'une importante régulation à Grand-Lieu par stérilisation des œufs, faisant passer les effectifs de 815 nids en 2009 à quelques dizaines actuellement.

- **Le Ragondin** et **le Rat musqué**, introduits en France pour leurs fourrures, dégradent fortement les végétations (macrophytes aquatiques et hélophytes), de même que **l'Ecrevisse de Louisiane**. Les deux mammifères sont piégés en hiver pour réguler les populations. L'Ecrevisse a fait l'objet d'un contrat Natura 2000 entre 2011 et 2015 avec les pêcheurs professionnels pour intensifier sa pêche et sa destruction, mais ce contrat n'a pas été renouvelé car ne s'est pas montré efficace pour la régulation de l'espèce.

- Enfin, **la Jussie** est le sujet d'une MAEC (mesure agro-environnementale et climatique) au sein des marais de Grand-Lieu, pour lutter contre son expansion (arrachage, fauche et pâturage adaptés), mais cette colonisatrice ne semble pas montrer de signe de faiblesse pour autant.

La sensibilité de l'objet au changement climatique

Les EEE sont par définition **sensibles aux périodes de gel et aux hivers rigoureux**, comme ce sont des espèces venant généralement de pays chauds ou tropicaux (les jussies et le Ragondin viennent d'Amérique du Sud). Ainsi, l'augmentation des températures moyennes est bien favorable à leur expansion, installation et pérennisation sur le site (Vaissi & Rezaei, 2023).

La Jussie semble particulièrement **réceptive aux pluies d'automne** qui lui permettent de se disséminer rapidement, c'est d'ailleurs la première espèce à coloniser un milieu. Des **années pluvieuses** lui semblent particulièrement bénéfiques. Des vents forts lui permettent également de se disperser avec l'eau, comme cela a pu être le cas lors de la tempête de 1999 sur le lac de Grand-Lieu.

Les gestionnaires se posent la question d'un potentiel blocage de la floraison de la Jussie (entre juin et septembre) sous l'effet de grosses chaleurs. La littérature indique au contraire que la hausse des températures **stimule la Jussie**, sans confirmer de température limite. En effet, la Jussie **augmente son métabolisme et ses capacités de reproduction** avec l'augmentation de la température (Gillard *et al.*, 2017).

De même, les gestionnaires envisageaient que les périodes de sécheresse prolongée puissent impacter l'Ecrevisse. Mais de la même façon, cette EEE extrêmement plastique ne semble **pas très sensible aux sécheresses**, ayant de fortes capacités de résistance, de fuite et de creusement de terriers (Ghia *et al.*, 2024 ; Kouba *et al.*, 2016).

Ainsi, les EEE principales à Grand-Lieu ne semblent pas avoir de températures limites démontrées en termes de chaleur. Cependant, des **contractions d'aires de répartition** ou des **limitations d'expansion** peuvent tout de même avoir lieu face à des conditions climatiques trop contraignantes, selon les sensibilités des EEE et les aires géographiques occupées (Polaina *et al.*, 2021).

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

L'exposition de l'objet au changement climatique

Les **périodes de froid et de gel diminueront** (-17 jours de gel d'ici 2055, -24 jours d'ici 2085), avec une quasi-absence de vagues de froid déjà dès la moitié du siècle. Les hivers seront en 2055 à 8°C en moyenne, et même 10°C en 2085. Sans ces périodes de froid, les EEE peuvent s'installer sur le site et **persister durant l'hiver**.

Les **précipitations pourraient augmenter en hiver** et potentiellement s'intensifier, faisant monter considérablement le niveau d'eau pour le printemps suivant. En parallèle, le **stress hydrique** risquera d'être plus important en été et plus long, avec une diminution des pluies estivales.

Les tendances climatiques projetées semblent alors **très favorables aux EEE** dans l'ensemble. La « tropicalisation » du climat et globalement la **dégradation et la fragilisation du milieu** à cause des changements climatiques leur seront favorables, et au contraire seront défavorables aux espèces indigènes (UICN et OFB, 2022).

Niveau de confiance : 

favorable	neutre	défavorable

La capacité d'adaptation de l'objet face au changement climatique

Les jussies peuvent développer **deux stratégies de reproduction selon le contexte climatique** (température, sécheresse) qu'elles rencontrent : elles peuvent se reproduire de façon végétative ou sexuée, leur conférant une flexibilité et une capacité d'invasion importante sous le réchauffement climatique (Drenovsky *et al.*, 2025 ; Gillard *et al.*, 2017). De plus, la floraison précoce des jussies leur permet de **produire plus de graines**, qui ont d'ailleurs un **taux de germination important** compensant les mortalités de plantules dues aux changements climatiques (Gillard *et al.*, 2017). Les jussies ont également une **efficacité photosynthétique supérieure** aux nénuphars et à la Châtaigne d'eau ainsi qu'une **meilleure tolérance aux fortes chaleurs et fortes expositions lumineuses**, les rendant bien plus compétitives que les espèces natives face au changement climatique (Tòth *et al.*, 2017). Cette espèce possède enfin une **grande plasticité** face aux niveaux d'eau ou à la luminosité (Thouvenot *et al.*, 2013).

L'Ecrevisse de Louisiane semble avoir une très bonne **capacité d'adaptation aux changements de températures de l'eau**, et tolère bien les températures froides ou très froides, lui conférant un avantage de persistance en cas d'évènements froids exceptionnels (comme en hiver 2025-2026) (Gao *et al.*, 2025 ; Haubrock *et al.*, 2019). Cette espèce est aussi capable de **creuser de longs terriers verticaux** pour rejoindre une zone du sol plus humide en cas de sécheresse ou même de **se déplacer sur de grandes distances** pour retrouver une zone favorable (Ghia *et al.*, 2024 ; Kouba *et al.*, 2016).

De **nouvelles EEE** pourraient être détectées et s'installer dans le futur au lac de Grand-Lieu : Laitue d'eau, Fougère aquatique, *Salvinia*, Crassule de Helms, Raton-laveur (deux individus ont déjà été repérés dans la

vallée de l'Acheneau), ou encore Tortue de Floride. Les EEE pourront en effet **plus facilement franchir les barrières du processus d'invasion** (géographique, environnementale, de reproduction et de dispersion) avec les changements climatiques, la mondialisation continue et la fragilisation des habitats naturels (UICN et OFB, 2022). En effet, la dynamique d'invasion dépendra de la capacité de **résilience et de résistance** de l'écosystème ou des communautés natives aux conséquences des changements climatiques, notamment face à des évènements extrêmes qui pourront être plus intenses, plus longs et plus fréquents (Diez *et al.*, 2012).

Concernant les ragondins et rats musqués, il existe une **compétition pour l'habitat** entre ces deux EEE : une forte population de ragondins est néfaste au Rat musqué, et à l'inverse une baisse de la population de ragondins lui est profitable. Ces deux espèces utilisent en effet la même niche écologique, leurs capacités d'adaptation et d'extension pouvant alors être **limitées par l'autre espèce**.

Les EEE risquent de **renforcer leur propre présence**, en modifiant et dégradant davantage le milieu. Il semble trop tôt pour constater un retour à l'équilibre après le passage ou l'installation d'EEE, notamment dans le cas de la Jussie. Les retours d'expérience sur le sujet sont dans l'ensemble trop récents et rares.

Niveau de confiance : 

nulle	faible	moyenne	**forte**

Quels impacts des facteurs extérieurs sur sa capacité d'adaptation ?

De nombreux facteurs extérieurs peuvent impacter la capacité d'adaptation des EEE au changement climatique et leur expansion ou persistance. Certains peuvent d'abord les **favoriser** :

- **Les lâchés par les humains d'espèces hors de leur aire géographique, de façon accidentelle ou volontaire :** par exemple, des abandons de Nouveaux Animaux de Compagnies (NAC) dans la nature ou la plantation de plantes aquatiques ornementales exotiques sur le territoire de Grand-Lieu augmenteraient les risques de naturalisation puis d'invasion (UICN et OFB, 2022).

Il est d'ailleurs interdit par le **Code de l'environnement** « *l'introduction sur le territoire national, y compris le transit sous surveillance douanière, la détention, le transport, le colportage, l'utilisation, l'échange, la mise en vente, la vente ou l'achat de tout spécimen vivant* » des espèces animales et végétales exotiques envahissantes préoccupantes pour l'UE (CE, art. L411-6, 2019).

Il est également interdit d'introduire dans le milieu naturel « *tout spécimen d'espèces animales [ou végétales] à la fois non indigènes au territoire d'introduction et non domestiques [ou non cultivées]* » étant alors à risque (CE, art. L411-5, 2019).

- **La qualité d'eau médiocre** en termes de niveau trophique favorise la Jussie et les poissons très tolérants, au détriment des espèces indigènes. Les **autres pollutions**, néfastes à la biodiversité locale, peuvent alors favoriser les EEE plus résistantes qui prendraient la place des espèces impactées.

- **L'artificialisation des sols** du bassin versant du lac favorise le lessivage et l'arrivée d'eau chargée, non filtrée, fragilisant encore plus les habitats (perte de végétaux palustres et hélophytes) et renforçant la mauvaise qualité de l'eau du lac.

- **La gestion du niveau d'eau** peut influencer la Jussie et l'Ecrevisse. Elles peuvent être favorisées par des niveaux d'eau plus hauts pour leur prolifération étant des espèces aquatiques, mais s'adaptent aussi très bien à des niveaux d'eau plus bas (phase terrestre pour la Jussie et creusement de terriers pour l'Ecrevisse).

D'autres facteurs peuvent les **limiter** :

- Les **hélophytes, notamment les roselières**, semblent être de bonnes concurrentes à la Jussie, agissant comme une barrière pour limiter sa propagation.

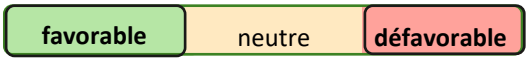
- **L'adaptation des pratiques agricoles sur les marais** (paddock serré sur sols portants, fauche puis pâturage sur regain…), bien qu'en phase de test à Grand-Lieu avec la Chambre d'Agriculture, pourraient permettre le contrôle ou du moins la limitation de la Jussie sur les marais.

- **L'amélioration de la qualité de l'eau**, qui semble retarder l'invasion des EEE et les changements dans les communautés aquatiques provoqués par l'augmentation des températures (Daufresne *et al*., 2007).

- Le **respect strict des réglementations** relatives aux EEE, aux espèces à risque ou aux pollutions diffuses.

- Le **piégeage du Ragondin ou du Rat musqué** pour contenir les populations ou limiter leur expansion (avec la question sur le potentiel impact de cette mesure rajeunissant les populations).

Niveau de confiance : 



Selon les facteurs externes

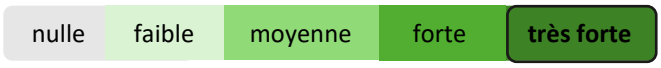
Conclusion sur la vulnérabilité de l'objet face au changement climatique

Les EEE sont **l'une des premières causes de disparition de la biodiversité** mondiale. Caractérisées par un caractère pionnier, une forte plasticité, une compétitivité supérieure à la biodiversité locale ou encore une croissance rapide, elles surpassent la biodiversité locale du site qu'elles ont envahi.

Le réchauffement climatique risque bien de **renforcer les EEE déjà envahissantes et d'augmenter le risque de venues par d'autres potentielles invasives**, rendant du même coup la biodiversité locale plus fragile. Les déséquilibres provoqués par ces EEE sont marqués par des habitats dégradés sur lesquels elles se développent sans avoir de prédateurs, surpassant les espèces locales. Les opportunités des EEE face au changement climatique au lac de Grand-Lieu semble alors très fortes.

Les **fortes capacités d'adaptation des EEE** limitent beaucoup les retours d'expérience positifs sur des projets de gestion et de régulation de ces espèces, d'autant plus que ces retours d'expérience sont souvent récents. Les expériences de libre évolution pour essayer de retrouver un habitat naturel équilibré après l'implantation d'une EEE sont encore rares voire inexistantes.

Opportunité



Quelles pistes d'adaptation ?

Il est finalement très difficile d'avoir des leviers sur les EEE dans des milieux ouverts à cause de leurs capacités de dispersion importantes. Cependant certaines pistes d'adaptation ont tout de même été évoquées :

- **Raisonner l'action de gestion autrement**, revoir les objectifs, ou concentrer les actions sur un milieu à conserver (la lutte à grande échelle semblant trop difficile). Au vu de la grande difficulté de lutter contre les EEE et des moyens importants (financiers et humains) que cela demande, la question est posée de persister à *lutter contre* les EEE. Une solution pourrait être de chercher plutôt à augmenter la résilience du milieu, en restaurant la qualité de l'eau notamment.

- **Empêcher de nouvelles EEE d'envahir le site**, en **agissant sur des actions sur lesquelles on a la main** : continuer la surveillance (la détection précoce permettant une gestion bien plus efficace), porter des réglementations plus strictes et influer sur les politiques, communiquer sur la nécessité de restaurer la qualité de l'eau, être plus volontariste et acteur des décisions sur le territoire.

- La question est aussi posée de **réorienter les actions de gestion** (par exemple, les actions d'arrachage de Jussie ne sont plus réalisées sur la RNN, sauf exception). De même, **réfléchir à de nouvelles actions non envisagées auparavant** : tenter une éradication du Ragondin comme au Royaume-Uni (réalisable hors île ?) (Panzacchi *et al.*, 2007), ou utiliser la renaturation pour limiter la Jussie (plantation de saules et barrière aquatique en Basse vallée du Don : https://aquagir.fr/gestion-milieux-aquatiques/retours-experiences/la-renaturation-une-nouvelle-approche-de-lutte-contre-la-jussie-en-basse-val-lee-du-don-44/).

- **Être conscient de l'évolution long terme du milieu par lui-même**, avec un atterrissement de la Jussie dans les marais par exemple, mais qui n'est pour l'instant pas prouvé ni constaté nulle part. Il existe alors **un gros manque de connaissance sur le devenir des parcelles** envahies de jussies si mises en libre évolution.

- Il est alors important de **continuer à suivre les changements** : suivre la Jussie par la cartographie, l'Ecrevisse par l'effort de pêche, le Ragondin et le Rat musqué par le piégeage.

- **Suivre les retours d'expérience sur la gestion des EEE** sur d'autres territoires pour monter en connaissances et s'inspirer pour sa propre gestion (voir par exemple les REX répertoriés par l'ONEMA : Sarat *et al.*, 2015).

Sources :

En complément des informations récoltées lors d'un atelier avec les gestionnaires (13/05/26) :

Bellard, C., Marino, C., & Courchamp, F. (2022). Ranking threats to biodiversity and why it doesn't matter. *Nature Communications*, *13*(1), 2616. https://doi.org/10.1038/s41467-022-30339-y

Daufresne, M., Bady, P., & Fruget, J.-F. (2007). Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia*, *151*(3), 544-559. https://doi.org/10.1007/s00442-006-0655-1

De Kinkelin, P., Tuffery, G., Leynaud, G., Arrignon, J., Poirier, M., Jamain, M. M., Joannis, G., Jollet, G., & Leclercq, J. (1969). La Bucéphalose larvaire à Bucephalus polymorphus (Baer 1827) : Pathogénie, Epizootiologie, possibilités d'intervention. *Bulletin Français de Pisciculture*, (234), 5-20. https://doi.org/10.1051/kmae:1969003

Diéguez-Uribeondo, J., & Söderhäll, K. (1993). Procambarus clarkii Girard as a vector for the crayfish plague fungus, Aphanomyces astaci Schikora. *Aquaculture Research*, *24*(6), 761-765. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1993.tb00655.x

Diez, J. M., D'Antonio, C. M., Dukes, J. S., Grosholz, E. D., Olden, J. D., Sorte, C. J., Blumenthal, D. M., Bradley, B. A., Early, R., Ibáñez, I., Jones, S. J., Lawler, J. J., & Miller, L. P. (2012). Will extreme climatic events facilitate biological invasions? *Frontiers in Ecology and the Environment*, *10*(5), 249-257. https://doi.org/10.1890/110137

Drenovsky, R. E., Reicholf, R., Futrell, C. J., Gallego-Tévar, B., & Grewell, B. J. (2025). Functional trait responses of invasive Ludwigia species to contrasting hydrological conditions. *American Journal of Botany*, *112*(5), e70038. https://doi.org/10.1002/ajb2.70038

Emiljanowicz, L. M., Hager, H. A., & Newman, J. A. (2017). Traits related to biological invasion : A note on the applicability of risk assessment tools across taxa. *NeoBiota*, *32*, 31-64. https://doi.org/10.3897/neobiota.32.9664

France. (2019). *Code de l'environnement, article L411-5*. Légifrance. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000038846270/2026-07-28

France. (2019). *Code de l'environnement, article L411-6*. Légifrance. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000038846259/2026-07-28

Gillard, M., Grewell, B. J., Futrell, C. J., Deleu, C., & Thiébaut, G. (2017). Germination and Seedling Growth of Water Primroses : A Cross Experiment between Two Invaded Ranges with Contrasting Climates. *Frontiers in Plant Science*, *8*. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01677

Haubrock, P. J., Kubec, J., Veselý, L., Buřič, M., Tricarico, E., & Kouba, A. (2019). Water temperature as a hindrance, but not limiting factor for the survival of warm water invasive crayfish introduced in cold periods. *Journal of Great Lakes Research*, *45*(4), 788-794. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.05.006

Kouba, A., Tíkal, J., Císař, P., Veselý, L., Fořt, M., Příborský, J., Patoka, J., & Buřič, M. (2016). The significance of droughts for hyporheic dwellers : Evidence from freshwater crayfish. *Scientific Reports*, *6*(1), 26569. https://doi.org/10.1038/srep26569

Laffitte, M., Mojžišová, M., Delaunay, C., Collas, M., Petrusek, A., & Grandjean, F. (2024). Prevalence of the crayfish plague pathogen in red swamp crayfish populations in western France : How serious is the risk for the native white-clawed crayfish? *Journal of Invertebrate Pathology*, *205*, 108128. https://doi.org/10.1016/j.jip.2024.108128

Office français de la biodiversité. (2023). LIFE Oxyura against Oxyura : éradiquer l'Erismature rousse pour protéger l'Erismature à tête blanche du risque d'extinction. Rapport Layman, LIFE17 NAT/FR/000542.

Panzacchi, M., Cocchi, R., Genovesi, P., & Bertolino, S. (2007). Population control of coypu Myocastor coypus in Italy compared to eradication in UK : A cost-benefit analysis. *Wildlife Biology*, *13*(2), 159-171. https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13%255B159:PCOCMC%255D2.0.CO;2

Polaina, E., Soultan, A., Pärt, T., & Recio, M. R. (2021). The future of invasive terrestrial vertebrates in Europe under climate and land-use change. *Environmental Research Letters*, *16*(4), 044004. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe95e

Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Poulet N., Soubeyran Y. (2015). Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 2 - Expériences de gestion. *Onema. Collection Comprendre pour agir*. 240 pages.

Thouvenot, L., Haury, J., & Thiébaut, G. (2013). Seasonal plasticity of *Ludwigia grandiflora* under light and water depth gradients : An outdoor mesocosm experiment. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *208*(7), 430-437. https://doi.org/10.1016/j.flora.2013.07.004

Tóth, V. R., Villa, P., Pinardi, M., & Bresciani, M. (2019). Aspects of Invasiveness of Ludwigia and Nelumbo in Shallow Temperate Fluvial Lakes. *Frontiers in Plant Science*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00647

UICN Comité français et OFB (2022). Espèces exotiques envahissantes et changements climatiques : quels impacts et conséquences pour la gestion ? Eclairage scientifique. *Centre de ressources espèces exotiques envahissantes et Réseau espèces exotiques envahissantes outre-mer. France*. 58 pages.

Vaissi, S., & Rezaei, S. (2023). Climatic niche dynamics in the invasive nutria, Myocastor coypus : Global assessment under climate change. *Biological Invasions*, *25*(9), 2763-2774. https://doi.org/10.1007/s10530-023-03070-y

van Kleunen, M., Weber, E., & Fischer, M. (2009). A Meta-Analysis of Trait Differences Between Invasive and Non-Invasive Plant Species. *Ecology letters*, *13*, 235-245. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01418.x