

[RECIT CLIMATIQUE : PETITE HISTOIRE CLIMATIQUE DU SITE DU LAC DE GRAND-LIEU]

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

Janvier 2026

NATUR' ADAPT

SNPN
SOCIÉTÉ NATIONALE DE PROTECTION DE LA NATURE
PROTÉGER LA NATURE DEPUIS 1854

Réserve naturelle nationale
LAC DE GRAND-LIEU

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DREAL

PRÉFET DE LA LOIRE-ATLANTIQUE
Liberté
Égalité
Fraternité

Sommaire

I. Les changements climatiques à l'échelle des temps géologiques 3

II. Le changement climatique actuel : à l'aire de l'Anthropocène, qu'est-ce que ça change ? 3

III. Indicateurs climatiques sélectionnés et analysés 5

IV. Méthodologie sur le recueil et l'analyse des données 5

1. Recueil des données passées et actuelles 5
2. Analyse des données passées et actuelles 6
3. Recueil des données pour le futur 6
4. Analyse des données modélisées 7

V. Le climat futur en France métropolitaine 9

VI. Contexte climatique régional : le climat en Pays de la Loire 12

VII. Evolution locale des températures atmosphériques 14

1. Mesures locales passées 14
2. Projections futures locales 15

VIII. Evolution locale des précipitations 18

1. Comparaison des stations pour les pluies 18
2. Mesures locales passées 19
3. Projections futures locales 21

IX. Evolution locale des évènements extrêmes 23

1. Evolution passée des évènements extrêmes 23
2. Projections futures des évènements extrêmes 28

X. Evolution locale des indicateurs de la baisse estivale du niveau du lac 30

1. Evolutions passées des indicateurs 31
2. Projections futures des indicateurs 33

XI. Montée du niveau marin 35

XII. Résumé schématique 37

XIII. Ressources 38

I. Les changements climatiques à l'échelle des temps géologiques

Le climat a toujours varié sur Terre, et des changements climatiques ont déjà eu lieu il y a des milliards d'années. Par exemple, depuis déjà 2,6 millions d'années, une **alternance de cycles glaciaires-interglaciaires** est en marche, avec un changement de cycle tous les 10 000 à 100 000 ans. Le dernier grand cycle glaciaire date de 25 000 ans.

Actuellement, et depuis 11 000 ans, nous sommes dans une **ère interglaciaire appelée l'Holocène**. Bien que nous vivions avec des températures clémentes durant cette ère, des périodes plus froides ont pu apparaître, comme lors du Petit âge glaciaire, entre 1500 et 1800. A cette époque, les populations humaines ont connu des grands froids à -25°C accompagnés de périodes de famine.

Ces changements climatiques passés sont dits naturels, car ils sont issus de **forçages naturels**. Ces forçages, qui poussent le climat à changer comme cela a été le cas dans les grands changements climatiques passés, peuvent être **externes à la Terre** (l'activité solaire, l'inclinaison de la Terre et sa trajectoire autour du Soleil…), ou **internes à la Terre** (le volcanisme, le déplacement des chaînes de montagne et des continents, l'érosion des roches continentales…). Ils 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). Le climat a donc toujours varié, et il continuera à changer dans le futur au fil des milliers d'années.

II. Le changement climatique actuel : à l'aire de l'Anthropocène, qu'est-ce que ça change ?

Cependant, le changement climatique que nous connaissons actuellement n'est pas issu de forçages naturels, et s'effectue non pas en milliers ou millions d'années comme pour les changements climatiques passées, mais **en deux siècles** (Ramstein, 2017).

Depuis la **révolution industrielle** (1850), la démographie humaine a explosé, ce qui a provoqué la consommation massive des ressources naturelles pour répondre aux besoins des milliards d'humains au fil des années. Il s'agit d'abord du **bois** (par la déforestation) puis des **ressources fossiles** comme le charbon et le pétrole, qui lors de leur extraction, transformation, combustion et utilisation par les humains, ont émis énormément de **gaz à effet de serre** (GES). Ces GES ont donc **augmenté l'effet de serre** en changeant la composition de l'atmosphère et les flux d'énergie avec la surface de la Terre. Le changement climatique actuel est donc bel et bien **d'origine anthropique**, à cause des activités humaines. Nous aurions ainsi basculé de l'Holocène à l'**Anthropocène**, car l'humain est devenu le principal facteur du changement climatique, et ce depuis déjà 7 000 ans lors de l'apparition de l'agriculture (Ruddiman, 2013).

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), qui n'avait pas été atteint depuis 2 millions d'années (GIEC, 2023).

Les impacts du changement climatique ne sont pas identiques partout, car des climats régionaux, microclimats ou encore courants atmosphériques existent et impactent différemment les régions de la Terre.

Dans le contexte des aires protégées en France, la démarche Natur'Adapt commence ainsi par **l'analyse locale de l'histoire climatique** de la zone d'étude, pour pouvoir comprendre et anticiper les impacts du changement climatique sur l'aire protégée, et ainsi adapter la gestion et les activités sur la zone (Coudurier *et al.*, 2023). Voici alors la petite histoire climatique du lac de Grand-Lieu, analysant le climat passé, présent et futur du lac grâce à une sélection d'indicateurs climatiques.



Figure 1 : le lac de Grand-Lieu, avril 2026 (L. Alcaraz, SNPN – RNN Lac de Grand-Lieu)

III. Indicateurs climatiques sélectionnés et analysés

Le tableau ci-dessous récapitule les indicateurs climatiques sélectionnés et analysés pour la démarche Natur'Adapt au niveau du lac de Grand-Lieu. L'analyse de la température de l'eau n'est finalement pas réalisée ici par manque de recul, les données étant trop récentes, de même que le risque incendie, évoqués dans la « Note de cadrage ».

Tableau 1 : Récapitulatif des objets d'analyse sélectionnés pour la composante « Climat »

Objets climatiques	**Précisions sur les indicateurs**
Températures atmosphériques	Moyennes annuelles et saisonnières, minimales et maximales
Précipitations	Cumuls annuels et saisonniers
Evènements extrêmes	Annuellement : nombres de jours de chauds et très chauds, de gel, vagues de chaleur, de froid, nombre de jours de fortes pluies, intensité des pluies
Indicateurs de la baisse estivale du niveau du lac	Annuellement : nombre de jours consécutifs de sécheresse, évapotranspiration potentielle – ETP, niveau piézométrique
Montée du niveau marin	Projections futures

IV. Méthodologie sur le recueil et l'analyse des données

1. Recueil des données passées et actuelles

L'analyse du climat passé nécessite tout d'abord de recueillir les **données météorologiques du site sur une période minimale de 30 ans**. Pour connaitre le climat local du lac de Grand-Lieu, les données météorologiques Météo-France des stations de **Bouguenais** (NANTES-BOUGUENAIS) et **Saint-Philbert de Grand-Lieu** (SAINT-PHILBERT) ont été récupérées via le site du gouvernement français data.gouv. Ces deux stations météorologiques locales encadrent le lac, la station de Bouguenais se situant sur l'aéroport de Nantes (au nord du lac) et la station de Saint-Philbert de Grand-Lieu se situant dans la commune éponyme riveraine du lac.

La station NANTES-BOUGUENAIS enregistre des données météorologiques depuis mai 1945 pour un grand nombre de paramètres climatiques, alors que la station SAINT-PHILBERT ne possède des séries longues (plus de 30 ans) que pour les précipitations. Les autres paramètres climatiques de cette station sont enregistrés seulement depuis 2020. Pour une cohérence entre les différents paramètres (notamment précipitations et évapotranspiration), il a finalement été choisi de ne travailler qu'avec les données de la **station NANTES-BOUGUENAIS**, qui sont plus complètes.

Concernant les données des mesures du **niveau piézométrique** de la nappe des sables du bassin versant de Grand-Lieu, elles ont été récupérées à partir du service Hub'eau. Deux stations mesurant la nappe sont proches du lac : l'une à Saint-Philbert de Grand-Lieu, l'autre à La Chevrolière. En comparant les profils des deux stations, les différences sont minimes : les évolutions sont similaires, bien que la station à La

Chevrolière présente des niveaux de nappe continuellement plus élevés que ceux de la station de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (environ 1,20m de plus). Il a donc été choisi de sélectionner le piézomètre qui se situe à **Saint-Philbert de Grand-Lieu** (identifiant : 05086X0065/EL33), étant plus proche du lac.

2. Analyse des données passées et actuelles

Depuis 2022, les **normales climatiques sont calculées sur la période 1991-2020** (elles sont mises à jour tous les 10 ans). Il s'agit donc de la période de référence utilisée pour voir l'évolution du climat sur notre site. La **période 1961-1990** permet de constater de **l'évolution récente du climat** en faisant la différence entre la moyenne climatique à cette période et la moyenne climatique actuelle.

Pour certains graphiques, les moyennes glissantes représentent **l'évolution du paramètre climatique**, et sont réalisées sur 10 ans, ce qui permet de lisser la courbe des moyennes pour éliminer le « bruit ». Cela isole visuellement les grandes tendances, les évolutions climatiques sur le temps long et élimine les cycles saisonniers.

3. Recueil des données pour le futur

Dans un second temps, le site DRIAS a permis de récupérer les **données modélisées** des paramètres dans le futur, selon des horizons et des scénarios différents. Les données modélisées sont issues de modèles climatiques, qui calculent, selon différentes hypothèses et probabilités, les futures températures, précipitations, ETP…

L'ensemble de modèles **DRIAS-2020** a été utilisé ici. Ce type de modélisation est **multi-modèles**, c'est-à-dire que plusieurs simulations climatiques, selon les scénarios, ont permis de calculer les paramètres futurs localement. La maille SAFRAN 4365 a été utilisée, correspondant à une cellule géographique de 8 km par 8 km couvrant la majeure partie du lac de Grand-Lieu.

Les scénarios considérés ici sont les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) futurs RCP4 .5 et RCP8.5 (RCP = Representative Concentration Pathway). Le **scénario RCP4.5** est un scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations de CO_2 dans l'atmosphère avant la fin du siècle. A l'inverse, le **scénario RCP8.5** est actuellement le plus pessimiste mais le plus réaliste : avec une hausse continue des émissions au cours du siècle, c'est le scénario sans politique climatique mise en place, le scénario du « laisser-faire », dans la continuité de nos politiques actuelles. Le RCP2.6 n'a pas été retenu car il n'est plus réaliste actuellement.

Le scénario médian RCP4.5 permet d'illustrer ce que l'on pourrait voir si nous arrivons à mettre en place des **mesures d'atténuation**. Les **mesures d'adaptation**, comme dans le cadre de Natur'Adapt, sont nécessaires pour tous types de scénarios futurs encore plausibles. En effet, même dans le cas de la prise de mesures politiques, le changement climatique progressera et s'intensifiera, car ces mesures, comme l'illustrent certaines mesures actuelles, restent trop peu ambitieuses face à ce qu'il nous attend. Il sera alors nécessaire de s'adapter à ces nouvelles conditions climatiques qui continueront d'évoluer.

Et le Gulf Stream ?

Il a déjà été observé une **diminution de 4% depuis 40 ans** de la force du Gulf Stream, avec une tendance significative seulement depuis 10 ans (Piecuch et Beal, 2023). En effet, ce grand « courant d'air » qui apporte de l'air chaud en Europe et de l'air froid en Amérique du Nord dépend (entre autres) des courants de circulation océanique. Ceux-ci sont eux-mêmes dépendants de la température des eaux, et donc de leur densité. Il est possible que dans le futur, le Gulf Stream s'affaiblisse clairement à cause du réchauffement des eaux, de la baisse de leur salinité et de la fonte des glaciers apportant de l'eau douce et provoquant l'absorption de plus de chaleur par l'océan (Voituriez, s.d.).

Les modèles climatiques mondiaux (Global Climate Models – GCM) utilisés dans DRIAS-2020 **simulent déjà le ralentissement de l'AMOC** (circulation méridienne de retournement de l'Atlantique) et donc du Gulf Stream, qui pourrait alors conduire à des épisodes hivernaux plus marqués en Europe ou encore à une réduction des pluies estivales au Sahel (Météo-France, 2021). Cependant, il s'agit d'un phénomène *a priori* mineur par rapport à l'amplitude du réchauffement général, **l'effet de serre anthropique restant largement dominant** avec des hausses de températures moyennes annuelles entre +2,8 et +4,4°C prévues d'ici la fin du siècle (RCP8.5).

On ne connait toutefois pas les conséquences que ce ralentissement de courants pourrait avoir **sur les espèces migratrices** qui en dépendent pour leurs déplacements, comme l'Anguille européenne ou les oiseaux migrateurs traversant l'Europe et la Scandinavie.

4. Analyse des données modélisées

L'approche multi-modèle permet de représenter la **dispersion des simulations climatiques**, et donc d'avoir une meilleure estimation du climat futur. Pour représenter cette dispersion, il a été choisi d'utiliser des représentations dites « probabilistes », utilisée aussi par l'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique) (Ouzeau *et al.*, 2014) : la **médiane** (50% des valeurs sont plus élevées, 50% des valeurs sont plus faibles) qui est représentative de la grande majorité des données, le **5e centile** (5% des valeurs sont situées en dessous) et le **95e centile** (95 % des valeurs sont situées en dessous) qui représentent les valeurs extrêmes des simulations (*Figure 2*). Cette dispersion correspond aux intervalles de prédiction, appelées aussi incertitudes.

Les **périodes 2041-2070** (centrée sur 2055) et **2071-2100** (centrée sur 2085) ont été sélectionnées, pour avoir un horizon « proche » et un horizon lointain.

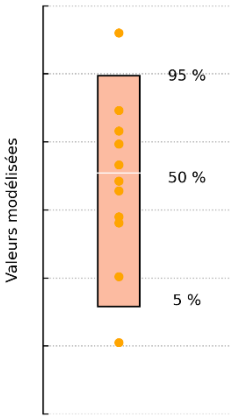


Figure 2 : Représentation de l'incertitude avec les valeurs individuelles (points), la médiane (50%) et la plage de 90% des valeurs (cadre coloré) (DRIAS - Météo-France, 2020)

Point important :

Pour pouvoir comparer les valeurs locales mesurées issues des stations Météo-France avec les valeurs projetées issues des modélisations DRIAS, il est nécessaire de faire un **recalibrage** des valeurs projetées. Pour cela, pour chaque indicateur climatique, on calcule le **biais** entre la valeur de référence de DRIAS (calculée sur la période 1976-2005) et la valeur de référence calculée par les données Météo-France, ici sur la période 1991-2020. Ce biais est ensuite ajouté aux valeurs projetées de DRIAS. Le calcul est donc :

Biais = valeur Météo-France (1991-2020) – valeur DRIAS (1976-2005)

Valeur future DRIAS recalibrée = Valeur future DRIAS + Biais

Focus sur les modèles du multi-modèles DRIAS 2020 :

10 couples de modèles ont été sélectionnés pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, associant un modèle global (GCM) avec un modèle régionalisé (RCM), donc ayant une granulométrie plus fine, une échelle plus précise :

CNRM-CM5 / ALADIN63 (du Centre National de Recherches Météorologiques - CNRM)

MPI-ESM / CCLM4-8-17 (du Climate Limited-area Modelling Community - CLMcom)

EC-EARTH / RCA4 (de l'institut suédois de météorologie et d'hydrologie - SMHI)

IPSL-CM5A / WRF381P (de l'Institut Paul-Simon Laplace - IPSL)

MPI-ESM / REMO2009 (du Climate Service Center - CSC)

HadGEM2 / CCLM4-8-17 (CLMcom)

EC-EARTH / RACMO22E (de l'institut royal météorologique des Pays-Bas - KNMI)

IPSL-CM5A / RCA4 (SMHI)

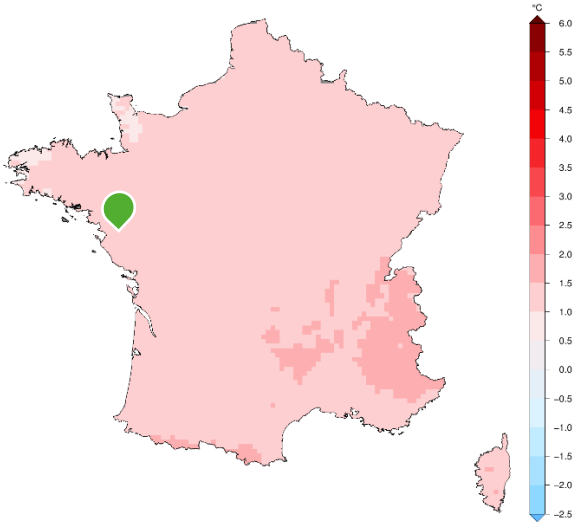
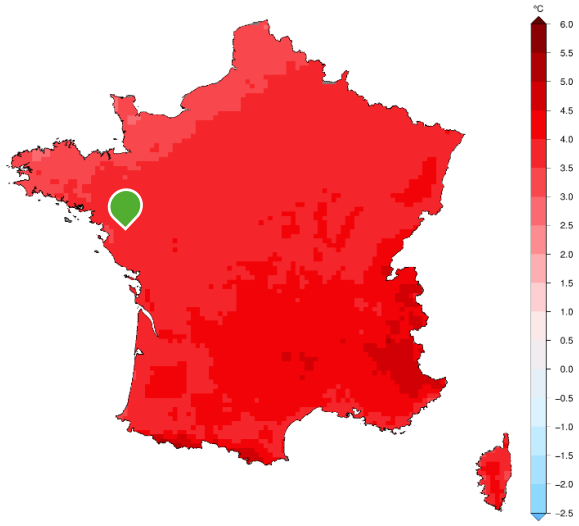
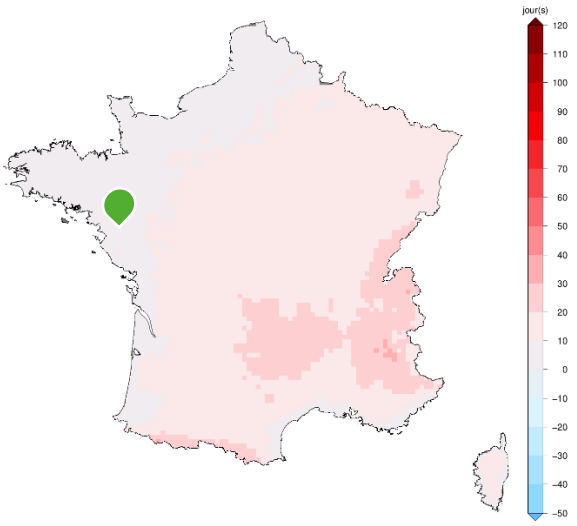
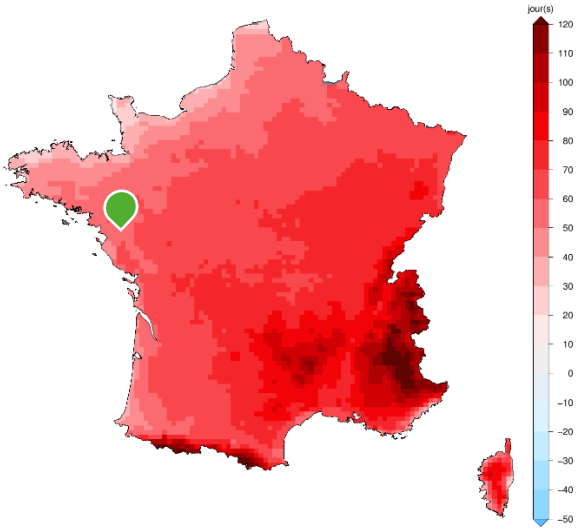
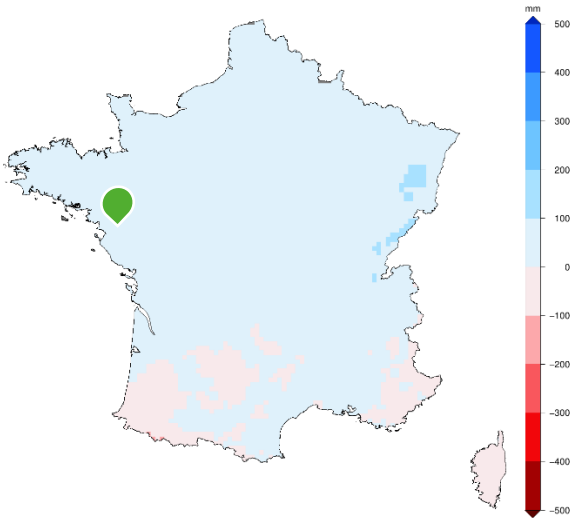
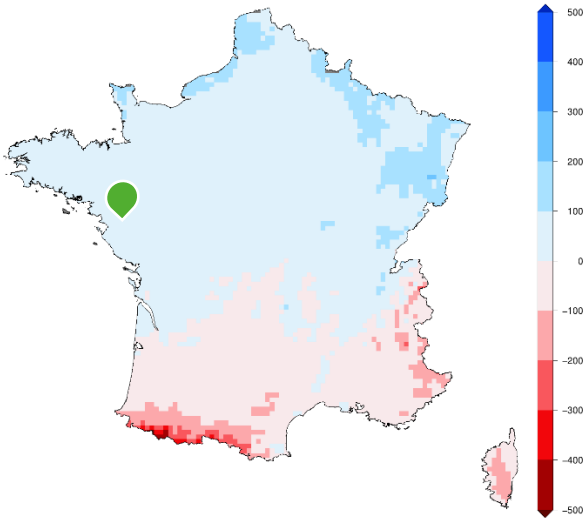
CNRM-CM5 / RACMO22E (KNMI)

Nor-ESM1 / HIRHAM5 v3 (de l'institut météorologique danois - DMI)

V. Le climat futur en France métropolitaine

Pour avoir une première idée du climat futur en France métropolitaine, les cartes ci-dessous ont été générées à partir du site DRIAS de Météo-France, avec le scénario RCP8.5 (*Figure 3*). Ces cartes illustrent alors bien les **différences régionales** de sensibilité aux changements climatiques : rien qu'en France, ces différences peuvent être fortes d'un endroit à un autre.

Si l'on considère les **précipitations**, les différences sont mêmes à l'opposé : le nord – nord-est connaitra davantage de précipitations alors que le sud connaitra, à l'inverse, un déficit de précipitations. On voit également pour tous les paramètres, que les changements climatiques s'intensifieront entre la période 2021-2050 et la période 2071-2100. Les **températures moyennes annuelles** seront bien plus élevées (une France à +4 ou +5°C), avec davantage de **jours en vague de chaleur** surtout dans les massifs montagneux (Pyrénées, Alpes, Massif central). Les **fortes précipitations** seront plus fréquentes dans la moitié nord du pays. Les **sécheresses** seront plus importantes sur la façade méditerranéenne et sur la façade ouest – sud-ouest, et **l'évapotranspiration potentielle** s'intensifiera partout surtout dans le sud-est.

	2021-2050	2071-2100
Ecart de la température moyenne annuelle (°C)		
Ecart du nombre annuel de jours en vague de chaleur		
Ecart du cumul des précipitations annuelles (mm)		

NATUR' ADAPT
SNPN
Réserve naturelle nationale
LAC DE GRAND-LIEU

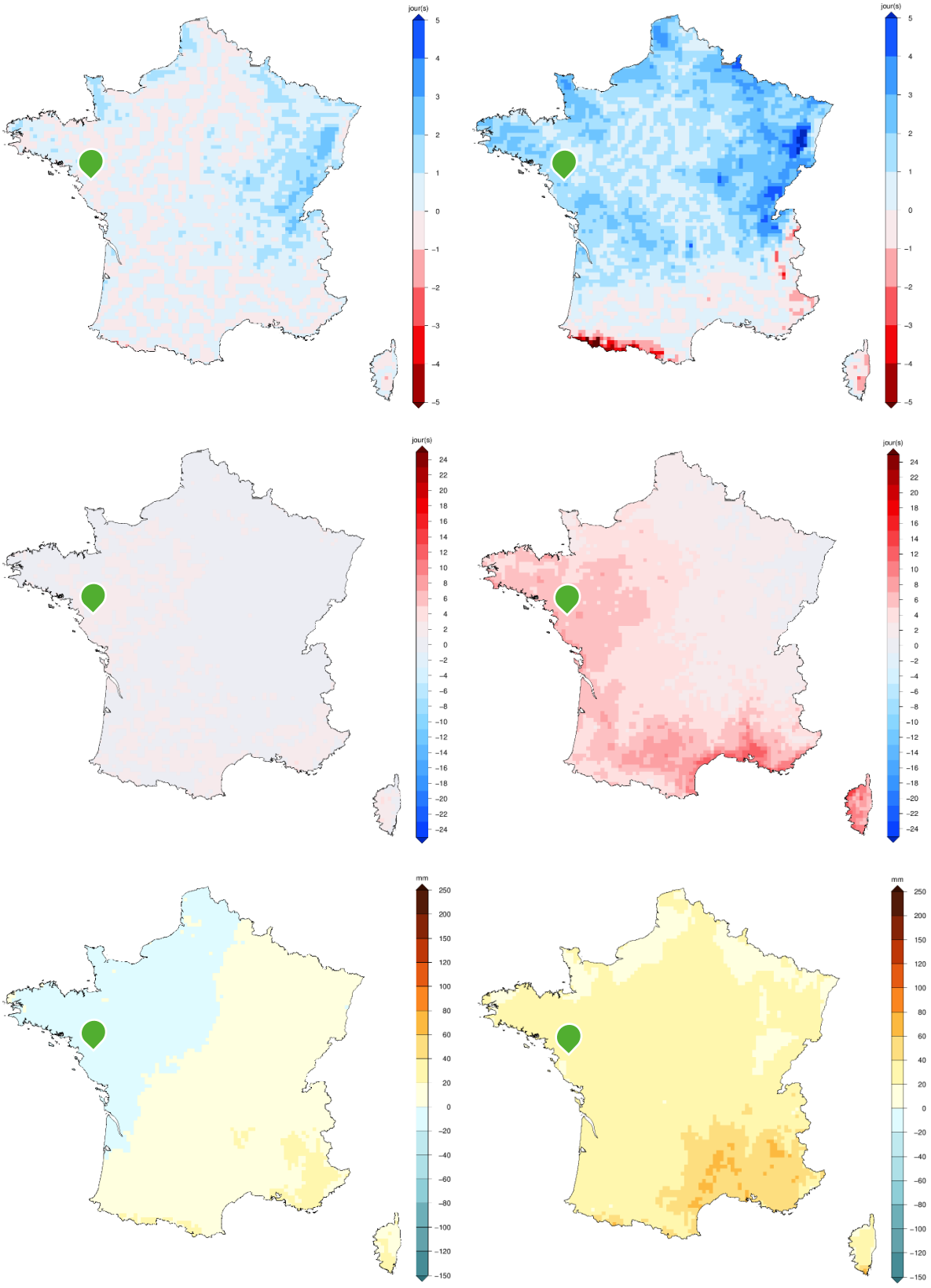


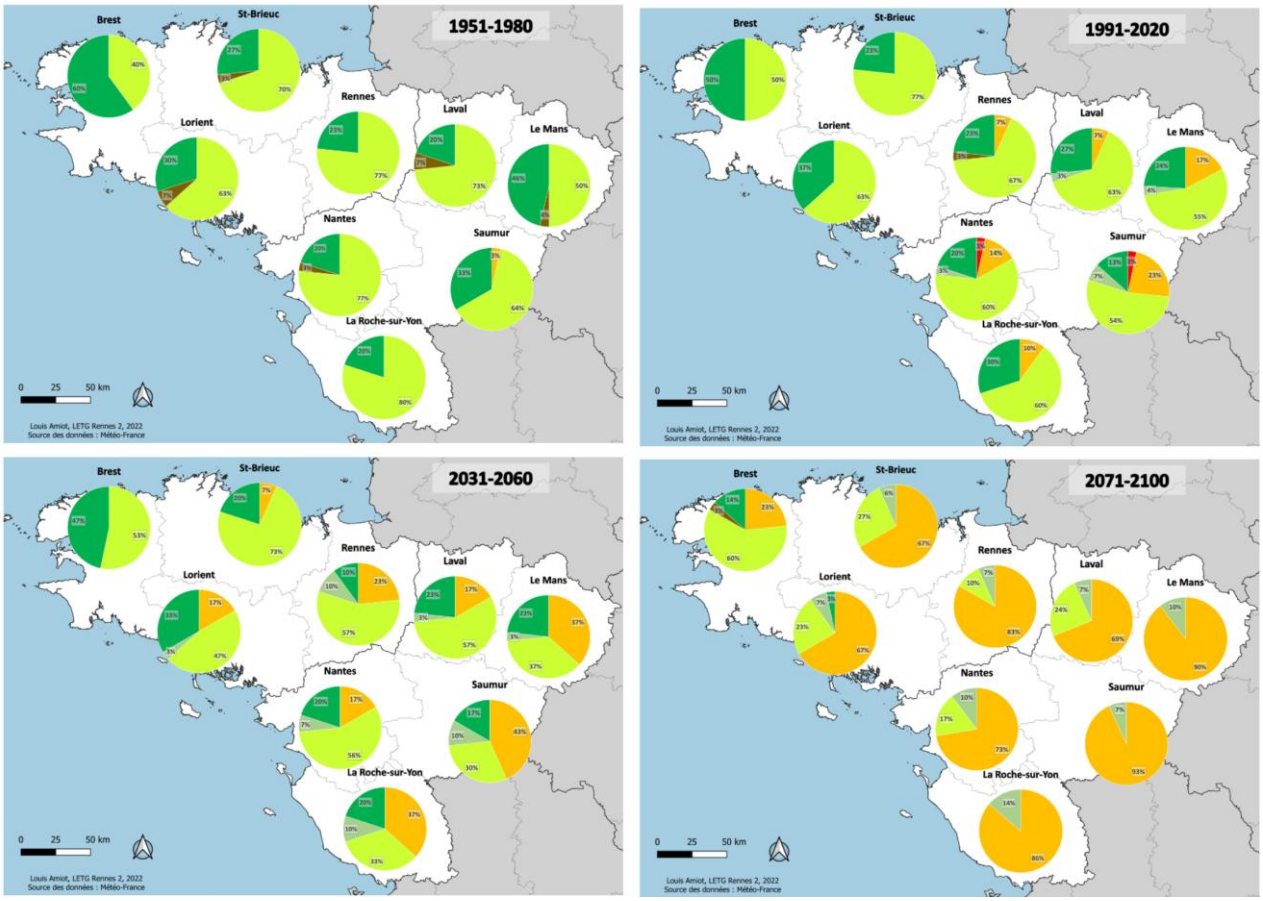
Figure 3 : Cartes de l'évolution de différents paramètres climatiques, à horizons 2050 (gauche) et 2100 (droite), sous le scénario RCP8.5 - médiane de l'ensemble multi-modèles DRIAS 2020, pour l'écart de certain paramètre entre la période de référence de 1976-2005 et les différents horizons. Le lac de Grand-Lieu est localisé par le signe vert. (DRIAS – Météo-France)

VI. Contexte climatique régional : le climat en Pays de la Loire

L'analyse régionale du climat permet ensuite d'apporter une vision plus fine **des disparités** selon la proximité à l'océan, la latitude et le relief. Une étude régionale montre que le nord de la région (nord Mayenne) connait un réchauffement moins important que le reste de la région, notamment par rapport à la Vendée (Amiot *et al.* 2024). La répartition des cumuls pluviométriques est également bien spatialisée, entre le littoral, le centre de la région et le nord.

Par rapport à la période de référence, **la région a gagné l'équivalent d'un mois de pluie estivale en plus**. D'après cette même étude, alors que **la région a connu une augmentation de 1 à 1,5°C** de la température moyenne annuelle entre le passé récent (1951-1980) et la période actuelle (1991-2020), la hausse progressive et continue des températures mèneraient en 2100 à connaitre des températures moyennes annuelles similaires à **celles actuellement autour de Bordeaux** selon le scénario RCP4.5. Sous le scénario RCP8.5, les **températures moyennes annuelles entre 14 et 16°C** dans la région correspondront à **celles de Nice actuellement**. Le climat dans la région tendra d'ici 2100 à **se « méditerranéiser »**, comme le montre la carte ci-dessous (Amiot *et al.*, 2022).

Les contrastes pluviométriques saisonniers s'amplifiant dans le futur, avec des déficits en saison d'étiage (avril-septembre), s'ajoutent à des températures en hausse, **augmentant les risques de sécheresses**. De ce fait, la part de climat « méditerranéen » au fil des années, c'est-à-dire un climat tempéré à été chaud et sec selon la classification de Köppen (Dubreuil, 2022), augmentera dans la région d'ici 2060, et concernera même tous les départements de Bretagne et Pays de la Loire d'ici 2100 (*Figure 4*). Nantes connaitra alors un climat méditerranéen trois années sur quatre. Le climat « breton », tempéré à été frais sans saison sèche, aura quasiment disparu des deux régions à la fin du siècle.



Type	Nom	Caractéristique
Csa	Méditerranéen	*Tempéré à été chaud et sec*
Csb	Charentais	*Tempéré à été frais et sec*
Cfa	Danubien	*Tempéré à été chaud sans saison sèche*
Cfb	Breton	*Tempéré à été frais sans saison sèche*
Cwb	Mexicain	*Tempéré à été frais et saison sèche hivernale*
Cwa	Subtropical	*Tempéré à été chaud et saison sèche hivernale*
Bsk	Sarde	*Semi-aride frais*

D'après Dubreuil, 2022

Figure 4 : Fréquence de type de climat annuel sur la période observée 1991-2020 et d'après le modèle CNRM-ALADIN avec le scénario RCP8.5 pour 2031-2060 et 2071-2100 (Amiot *et al.*, 2022)

VII. Evolution locale des températures atmosphériques

Pour une première entrée dans le récit climatique, les températures atmosphériques ont tout d'abord été choisies comme indicateur. Il s'agit du premier paramètre clé pour comprendre l'évolution du climat, la hausse des températures étant caractéristique du changement climatique, particulièrement dans une zone humide comme le lac de Grand-Lieu.

1. Mesures locales passées

La **moyenne annuelle** des températures atmosphériques actuelles est de **12,6°C** (Figure 5). Il s'agit d'une **augmentation de 0,9°C en 30 ans**, soit **+0,3°C par décennie**, rythme de réchauffement que l'on retrouve également au niveau national (Climat HD – Météo-France, 2024). La hausse des températures semble s'être accélérée depuis 10-15 ans, avec un dépassement quasiment systématique du seuil de la température moyenne de référence. Les quatre années les plus chaudes jamais enregistrées ont d'ailleurs été 2020, 2022, 2023 et 2025. 2022 « triomphe » avec une moyenne annuelle de 14,1°C. Le printemps est la période qui s'est réchauffée le plus depuis 1990, avec **+1,2°C en 30 ans**. Les autres saisons ont également connu un réchauffement (Tableau 2, ci-dessous).

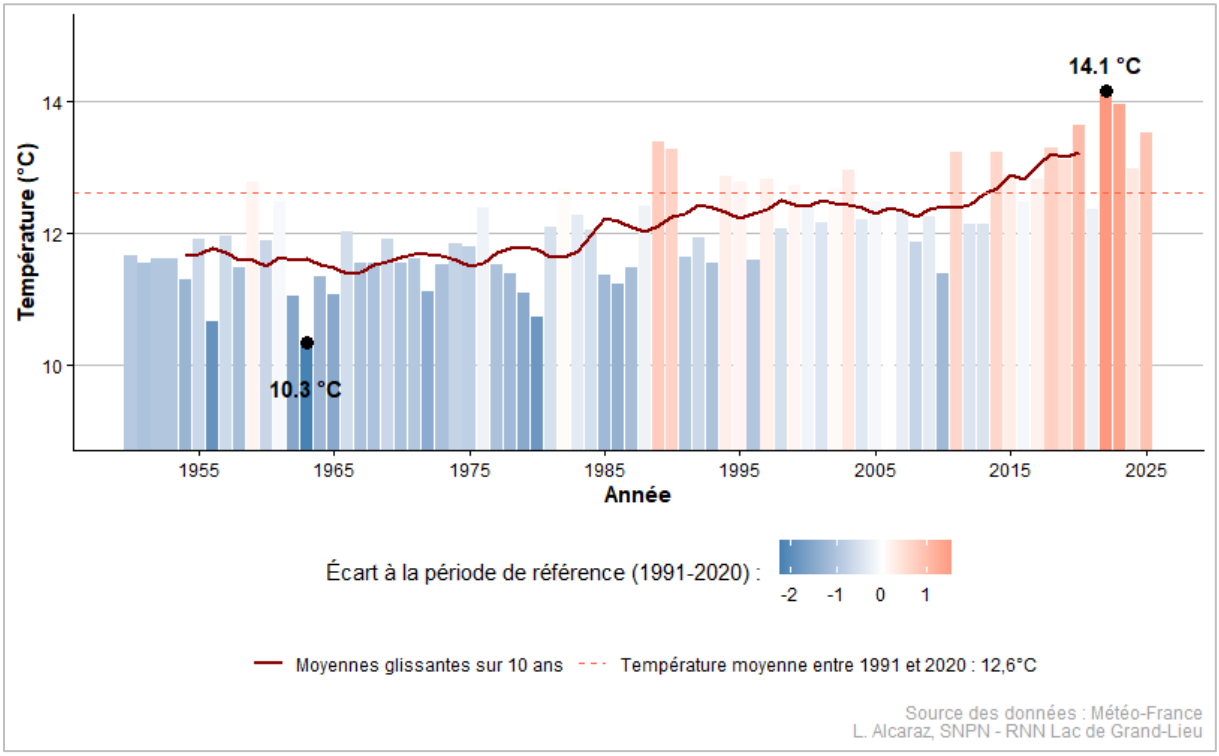


Figure 5 : Evolution des températures moyennes annuelles de 1946 à 2025 (station NANTES-BOUGUENAIS)

Comment caractériser les extrêmes de température ?

Les **centiles des températures extrêmes** permettent de caractériser les températures particulièrement basses ou particulièrement hautes d'une période, sans se baser uniquement sur les valeurs records.

Le **10e centile des températures minimales** correspond à une température en dessous de laquelle se situent les 10% des températures minimales les plus basses. A l'inverse, le **90e centile des températures maximales** correspond à une température au-dessus de laquelle se situent les 10% des températures maximales les plus élevées.

Ce sont alors **les températures qui font typiquement partie des plus froides ou des plus chaudes de la période**, et sont alors utilisés comme indicateurs des extrêmes thermiques habituels, plutôt que d'utiliser simplement le record froid ou le record chaud.

Dans le climat passé, l'extrême froid était de **-2,8°C alors qu'il est aujourd'hui de -2,2°C** (+0,6°C) ; l'extrême chaud était de **28,7°C alors qu'il est aujourd'hui de 30,5°C** (+1,8°C). Il semble alors que les extrêmes chauds aient augmenté plus rapidement que les extrêmes froids.

2. Projections futures locales

Les températures augmenteront à chaque saison, quel que soit le scénario climatique (Figure 6). A court terme (vers 2055), les différences entre les deux scénarios ne sont pas très marquées. La température moyenne annuelle serait de **13,9°C** (**+1,3°C** par rapport à aujourd'hui) pour le **RCP4.5**, et de **14,6°C** (**+2°C**) pour le **RCP8.5**.

A long terme (vers 2085), les différences se creusent entre les deux scénarios. Tandis que le RCP4.5 projette une température moyenne annuelle de **14,3°C** (**+1,7°C**), le RCP8.5 prévoit une hausse de **+3,6°C**, pour atteindre une moyenne annuelle de **16,2°C**.

Notons les plus grandes incertitudes pour cette période sous le scénario RCP8.5 : les **dispersions des simulations climatiques sont plus importantes en été**, c'est-à-dire que des modèles prévoient des températures plus basses, mais d'autres prévoient aussi des températures plus hautes que le 24°C de moyenne en août. A l'inverse, les **dispersions sont plus faibles en hiver**, les modèles convergent alors plus sur des températures similaires, à savoir une moyenne de 9,8°C (+3,3°C) pour la saison.

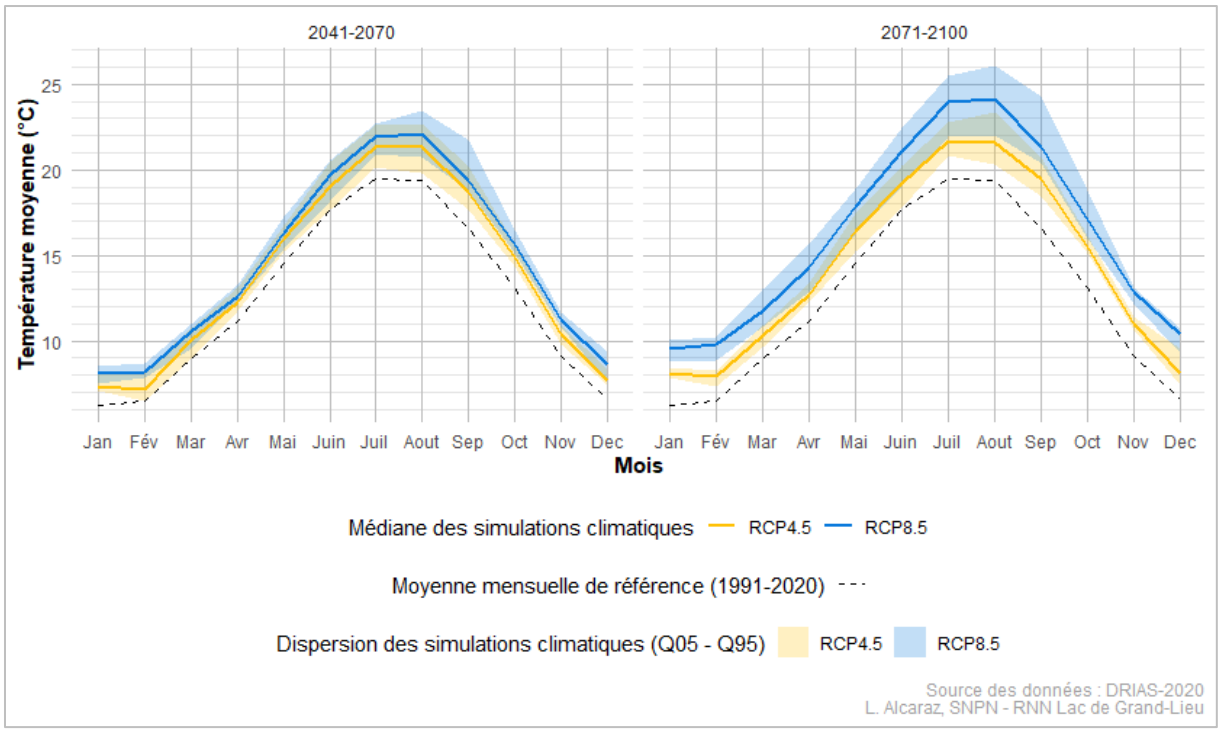


Figure 6 : Evolution des températures moyennes mensuelles selon les scénarios climatiques, pour 2041-2070 et 2071 – Lac de Grand-Lieu (maille SAFRAN 4365)

Les **indicateurs des extrêmes thermiques habituels** vont considérablement augmenter dans le futur entre les deux périodes, surtout sous le scénario le plus pessimiste. D'ici 2055, avec le scénario **RCP4.5**, l'extrême froid serait de **-0,8°C** [-1,2 ; 0,27] et l'extrême chaud de **31°C** [29,3 ; 32,8], alors qu'ils seraient respectivement de **-0,3°C** [-0,6 ; 0 ;6] et **31,3°C** [29,3 ; 33] d'ici 2085. Avec le scénario **RCP8.5**, l'extrême froid serait de **-0,1°C** [-0,5 ; 0,8] et l'extrême chaud de **31,6**°C [29,7 ; 33,5] d'ici 2055 alors qu'ils seraient de **1,2°C** [1 ; 1,9] et de **34°C** [30,7 ; 36,6] d'ici 2085.

Tableau 2 : Récapitulatif de l'évolution des températures atmosphériques moyennes (et des extrêmes)				
Passé récent 1961 - 1990				
année	hiver	printemps	été	automne
11,7°C (-2,8°C / 28,7°C)	5,7°C	10,5°C	18,1°C	12,5°C
Présent : période de référence 1991-2020				
année	hiver	printemps	été	automne
12,6°C (-2,2°C / 30,5°C)	6,5°C (+0,8°C)	11,7°C (+1,2°C)	19°C (+0,9°C)	13,1°C (+0,6°C)
Futur dans un monde sans politique climatique : Horizon 2041-2070 (H1) Horizon 2071-2100 (H2)				
Tendance par rapport à la période de référence	hiver	printemps	été	automne
H1 : +2°C (-0,1°C / 31,6°C) H2 : +3,6°C (1,2°C / 34°C) ↗	H1 : 8,4 °C (+1,9°C) H2 : 9,8°C (+3,3°C)	H1 : 13,3°C (+1,6°C) H2 : 14,8°C (+3,1°C)	H1 : 21,2°C (+2,2°C) H2 : 23,1°C (+4,1°C)	H1 : 15,3°C (+2,2°C) H2 : 17,1°C (+4°C)

VIII. Evolution locale des précipitations

Le lac est alimenté principalement par les cours d'eau, dont les débits sont très dépendants des précipitations. Son niveau dépend donc de ces précipitations, pour atteindre son niveau maximal en hiver et son niveau minimal en été. Par ailleurs, la qualité de l'eau dépend aussi des pluies, à cause des ruissellements des terres agricoles en amont. Ici est donc calculé le cumul annuel (ou saisonnier) des précipitations, c'est-à-dire que l'on somme les précipitations d'une année (ou d'une saison).



Figure 7 : Nénuphars et eutrophisation, juillet 2020 (JM Gillier, SNPN – RNN Lac de Grand-Lieu)

1. Comparaison des stations pour les pluies

Les précipitations étant le seul paramètre commun mesuré sur une longue période pour les deux stations (NANTES-BOUGUENAIS et SAINT-PHILBERT), une comparaison de l'évolution des pluies sur chacune des stations a été réalisée. Cette comparaison montre que le cumul des précipitations à Saint-Philbert-de-Grand-Lieu suit une tendance plus importante à la hausse qu'à Nantes (Figure 8). Bien que les stations ne soient séparées que d'une dizaine de kilomètres l'une de l'autre, les climats locaux semblent suivre des tendances différentes. Dans le passé récent, **il pleuvait déjà davantage à Saint-Philbert-de-Grand-Lieu** (814 mm) qu'à Nantes (787 mm). Actuellement, **l'écart s'est encore plus creusé**, avec un cumul des pluies plus important à Saint-Philbert de Grand-Lieu (**900 mm**, soit +86 mm en 30 ans) qu'à Nantes (**819 mm**, soit +32 mm en 30 ans).

Cette différence pourrait s'expliquer par un microclimat plus humide autour de la grande zone humide qu'est le lac, ou bien par des différences de sondes au niveau des stations. Pour limiter les biais, il a donc été choisi de ne considérer les données **d'une station unique**, à savoir la station de Bouguenais.

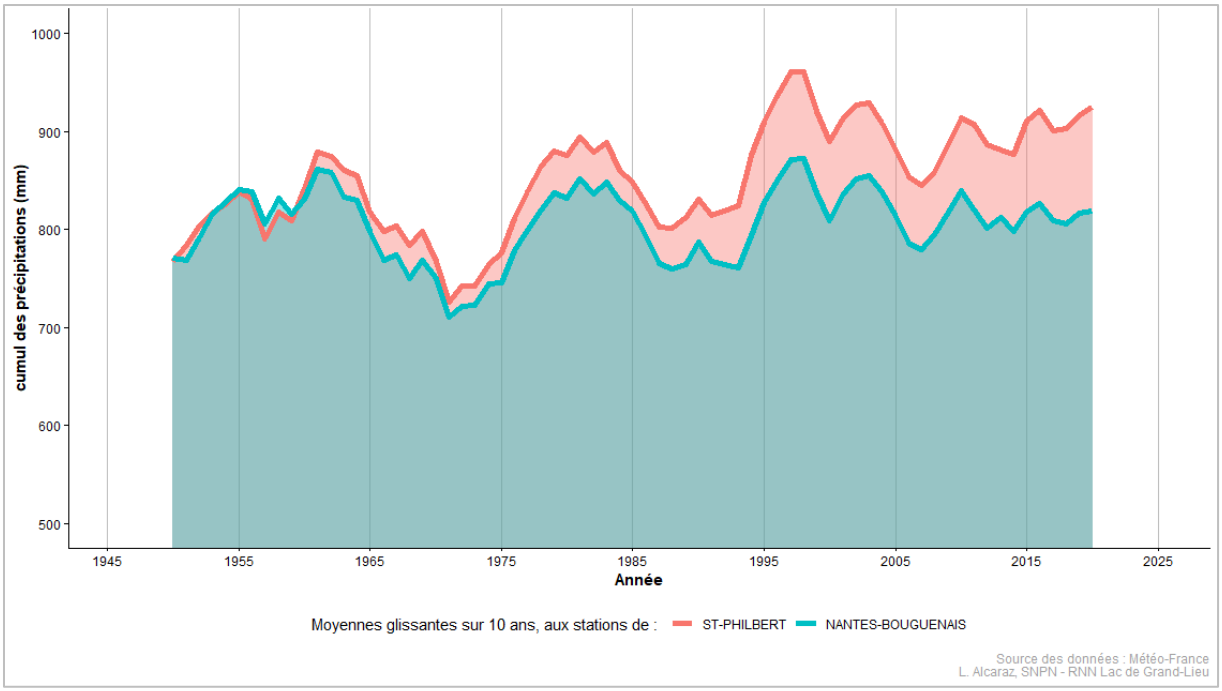


Figure 8 : Comparaison de l'évolution du cumul des précipitations entre les stations NANTES-BOUGUENAIS et SAINT-PHIBERT

2. Mesures locales passées

Il est **difficile de dessiner une tendance nette pour l'évolution des pluies** (Figure 9) : on voit que les valeurs, au fil des années, restent autour de la valeur de référence (819 mm). Cependant, entre 1961 et 1990, la moyenne des cumuls annuels était de 787,4 mm, donc on a gagné **une trentaine de millimètres**. Cette évolution reste faible, même si on note visuellement une **plus grande occurrence d'années pluvieuses** depuis la fin des années 90. Notamment, l'année la plus pluvieuse a été 1999 avec un record de 1087,1 mm dans l'année, et à l'inverse le record sec a eu lieu en 1953 avec 546,3 mm tombés dans l'année. 2005 a d'ailleurs presque atteint ce record sec, avec 558 mm tombés.

A l'échelle des saisons, l'automne a connu **+18 mm** de pluies entre le passé et le présent. Il s'agit de l'évolution la plus importante. A l'inverse, le printemps est la seule saison qui a connu une diminution des précipitations, avec **-8 mm** (Tableau 3, ci-dessous).

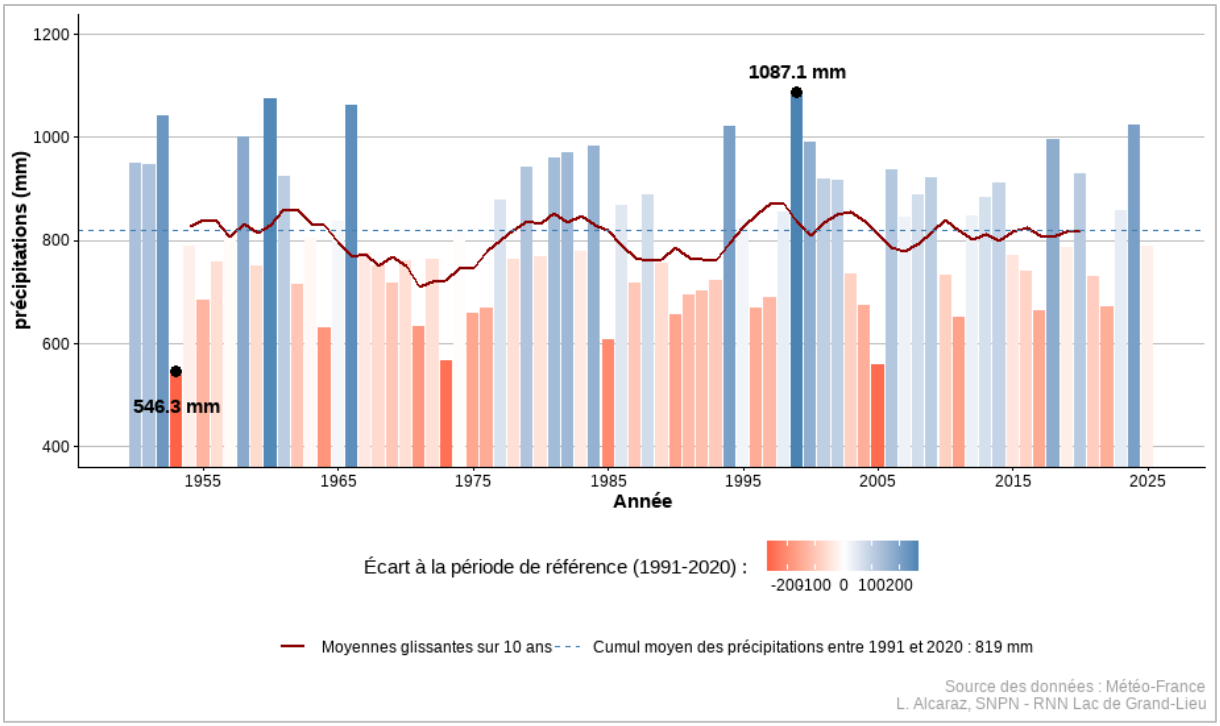


Figure 9 : Evolution du cumul annuel des précipitations entre 1946 et 2025 (station NANTES-BOUGUENAIS)



Figure 10 : le lac de Grand-Lieu après une averse, octobre 2021 (JM Gillier, SNPN - RNN Lac de Grand-Lieu)

3. Projections futures locales

Les précipitations futures sont **particulièrement difficiles à prévoir**, comme le démontre la dispersion importante des simulations climatiques autour des médianes pour chaque scénario (Figure 11). Cependant, il est possible d'observer des tendances, avec finalement une pluviométrie très saisonnalisée : la **saison « sèche »** avec des déficits de pluie durant l'été, et la **saison « humide »** avec des excès de pluie en hiver, tendances également observées dans une étude régionale (Amiot *et al.,* 2024).

Vers 2055, il est donc prévu que **l'été soit moins pluvieux** (-9% avec RCP4.5, -14% avec RCP8.5), **que l'hiver soit davantage pluvieux** (+8% avec RCP4.5, +12% avec RCP8.5), de même que le mois de mars (+10% environ pour les deux scénarios). Le printemps et l'automne semble être des saisons de « transition », avec des tendances très incertaines.

Vers 2085, **les tendances se confirment** : on connaitrait un été avec un déficit pluviométrique plus important encore (-15% / -23%) et l'hiver serait encore plus pluvieux (+12% / +17%).

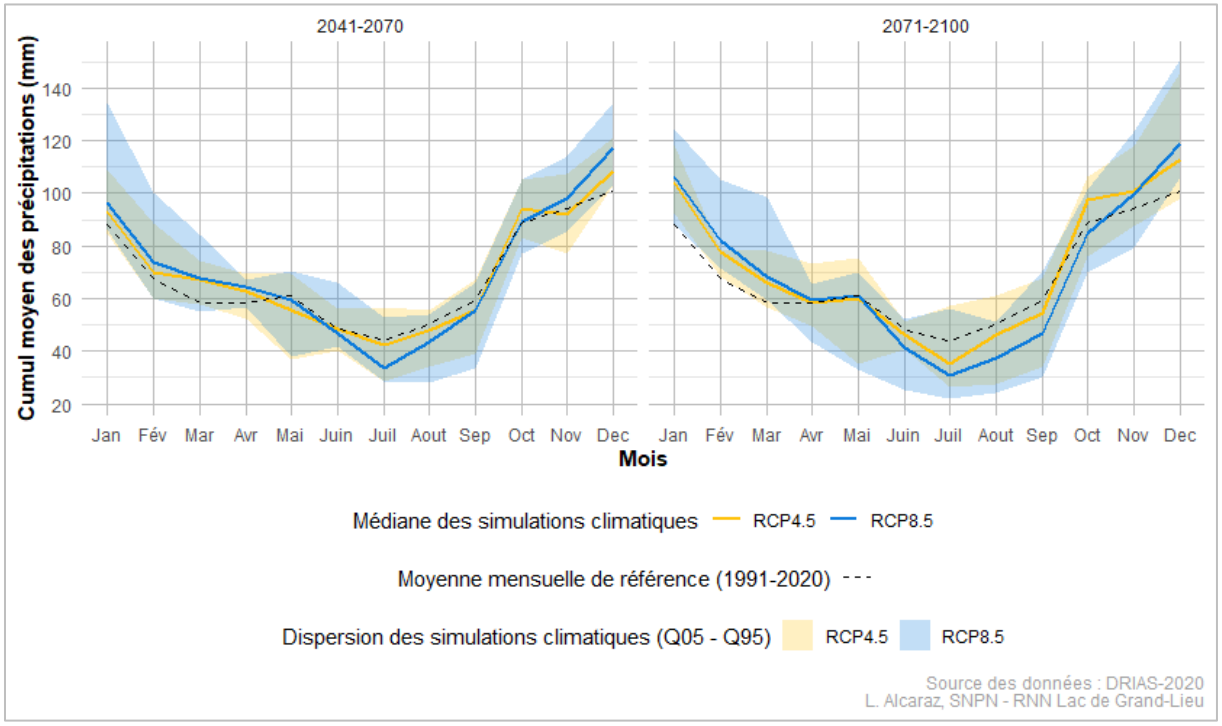


Figure 11 : Evolution des cumuls mensuels moyens de précipitations selon les scénarios climatiques, pour 2041-2070 et 2071-2100 - Lac de Grand-Lieu (maille SAFRAN 4365)

Tableau 3 : Récapitulatif de l'évolution du cumul des précipitations				
Passé récent 1961 - 1990				
année	hiver	printemps	été	automne
787 mm	239 mm	183 mm	136 mm	228 mm
Présent : période de référence 1991-2020				
année	hiver	printemps	été	automne
819 mm	254 mm (+15 mm)	175 mm (-8 mm)	143 mm (+7 mm)	246 mm (+18 mm)
Futur dans un monde sans politique climatique : Horizon 2041-2070 (H1) Horizon 2071-2100 (H2)				
Tendances par rapport à la période de référence	hiver	printemps	été	automne
↗ ↘	H1 : 280 mm (+10%) H2 : 297 mm (+17%)	H1 : 188 mm (+8%) H2 : 189 mm (+8%)	H1 : 123 mm (-14%) H2 : 110 mm (-23%)	H1 : 238 mm (-3%) H2 : 227 mm (-8%)

IX. Evolution locale des évènements extrêmes

Les évènements extrêmes, qu'ils soient liés à la température ou aux précipitations, peuvent fortement impacter le patrimoine naturel du lac en atteignant les limites thermiques des espèces, en modifiant les motifs de migrations ou en altérant le milieu. Les activités humaines s'en retrouvent également impactées, directement ou indirectement. Notamment, les fortes pluies peuvent influencer le niveau de l'eau et donc impacter sa gestion.

1. Evolution passée des évènements extrêmes

Tableau 4 : valeurs mesurées à la station NANTES-BOUGUENAIS des indicateurs climatiques sur les périodes du passé récent et de référence (source : Météo-France).

	Période 1961-1990	Période 1991-2020
Nombre de jours chauds	35	49 ↗
Nombre de jours très chauds	0,5	1,5 ↗
Nombre de jours de gel	35	29 ↘
Nombre de jours en vague de chaleur	3 (avant 2000 : Climat HD – Météo-France)	7 (entre 2001-2024 : Climat HD – Météo-France) ↗
Nombre de jours en vague de froid	La plus longue : 25 j. à -9°C (Climat HD – Météo-France)	La plus longue : 12 j. à -6°C (Climat HD – Météo-France) ↘
Nombre de jours de fortes pluies	5	5,5 ↗
Taux des fortes pluies (par rapport aux autres types de pluie)	**~15% entre décembre et mai.** Max. en octobre (29%), min. en janvier et mai (14%). Pic en juillet (25%).	**~20% entre juin et janvier.** Max. en août (28%), min. en avril (8%). Pic en mars (15%).

Définitions :

Nombre de jours chauds : nombre de jours avec une température maximale supérieure ou égale à 25°C, considéré comme une journée estivale.

Nombre de jours très chauds : nombre de jours avec une température maximale supérieure ou égale à 35°C.

Ces paramètres ont un impact important sur la biodiversité du site, qui subit ces évènements de « coups de chaud » de plus en plus fréquemment. En effet, on a aujourd'hui en moyenne **deux semaine à plus de 25°C en plus** dans l'année que par le passé, et **une demi-journée très chaude en plus**.

A l'inverse, nous n'avons aujourd'hui plus que **28 jours de gel** : nous avons **perdu une semaine de gel annuels en 30 ans**.

Comment définir une vague de chaleur ?

→ Une vague de chaleur est définie comme une **période durant laquelle la température maximale est supérieure de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs**. Cette définition est la plus répandue.

Cependant, Météo-France utilise aussi une autre définition :

*"Les températures sont anormalement élevées pendant plusieurs jours consécutifs. Pour répondre aux critères cumulatifs d'une vague de chaleur, l'indicateur thermique national doit soit être **supérieur ou égal pendant un jour à 25,3 °C**, soit être **supérieur ou égal à 23,4 °C pendant au moins 3 jours**. La vague de chaleur se termine lorsque l'indicateur thermique national redescend sous 23,4 °C pendant 2 jours consécutifs ou lorsqu'il redescend même une journée sous 22,4 °C."*

Cette deuxième définition explique alors que l'on retrouve des vagues de chaleur durant **moins de 5 jours** sur le graphique ci-dessous (Figure 12), mais qui cependant atteignent des températures très importantes.

Et une vague de froid ?

→ A l'inverse, la vague de froid est définie comme une **période durant laquelle la température minimale est inférieure de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs**.

Météo-France l'a définie plutôt comme une **période d'au moins 3 jours pendant laquelle la température moyenne descend au moins une journée sous -2°C**, expliquant également que l'on retrouve des vagues de froid de moins de 5 jours dans la figure 13 ci-dessous.

Les vagues de chaleur, représentées ici par des bulles, sont plus nombreuses depuis les dernières décennies (Figure 12). Entre 1947 et 2024, il y a eu 55 vagues de chaleur. **26 ont eu lieu entre 1947 et 2000**, donc en 53 ans, avec en moyenne **3 jours par an** en vague de chaleur. Alors qu'**entre 2001 et 2024**, donc en 23 ans, il y a eu **29 vagues de chaleur**, avec en moyenne **7 jours par an** en vague de chaleur.

Il y a eu plus de vagues de chaleur en deux fois moins de temps après 2000, qui en plus ont augmenté en durée. Les vagues de chaleurs sont plus sévères et plus fréquentes, avec plusieurs épisodes au cours d'un même été (Climat HD – Météo-France, 2024). On retrouve sur la figure 16 les épisodes caniculaires de 2003, historique, et de 2022.

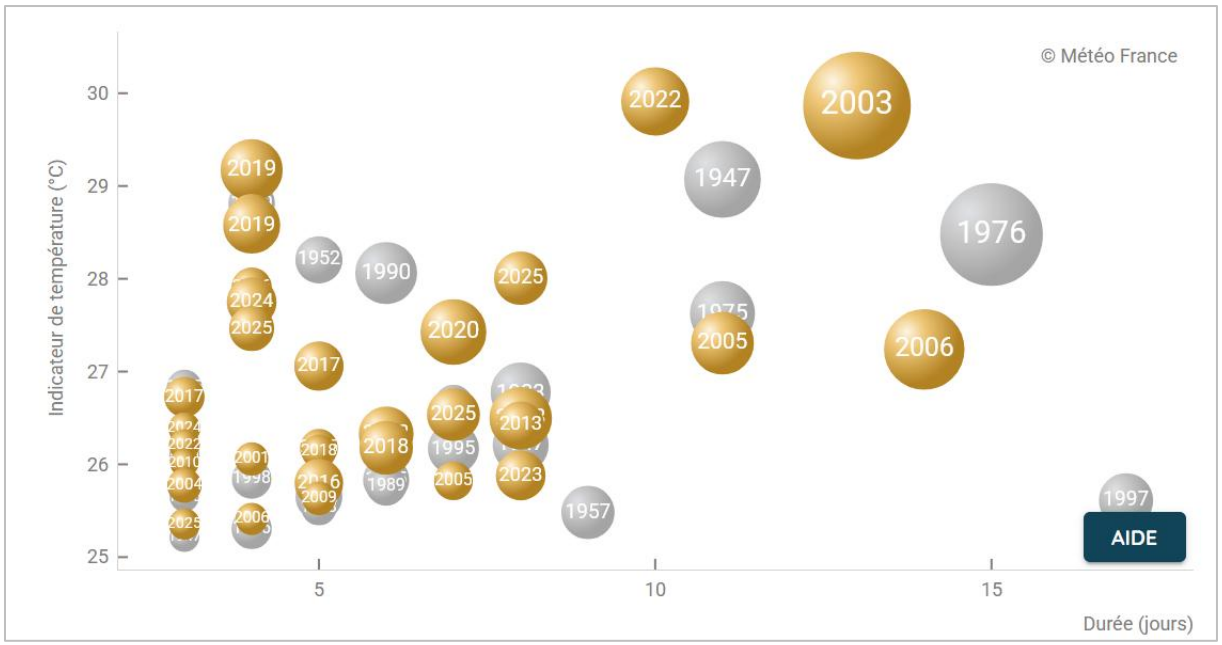


Figure 12 : Vagues de chaleur en Pays de la Loire, de 1947 à 2025 (Climat HD – Météo-France). L'indicateur de température représente la température maximale atteinte lors de l'épisode de chaleur. La taille de la bulle représente l'intensité de la vague de chaleur (liée à la durée et à la température atteinte). Les bulles grises correspondent aux années avant 2000, et les bulles jaunes aux années après 2000.

A l'inverse des vagues de chaleur, les vagues de froid sont moins nombreuses et moins intenses (Figure 13) : cette évolution est encore plus marquée depuis 2000, avec des épisodes de moins en moins froids et de moins en moins sévères. Les cinq vagues de froid **les plus longues**, les cinq **les plus intenses** et les cinq **les plus sévères** se sont toutes produites **avant 2000** (Climat HD – Météo-France, 2024). On constate bien ci-dessous que les vagues de froid les plus récentes sont beaucoup plus courtes et bien moins intenses, comme le montre les bulles de 2017 ou 2018.

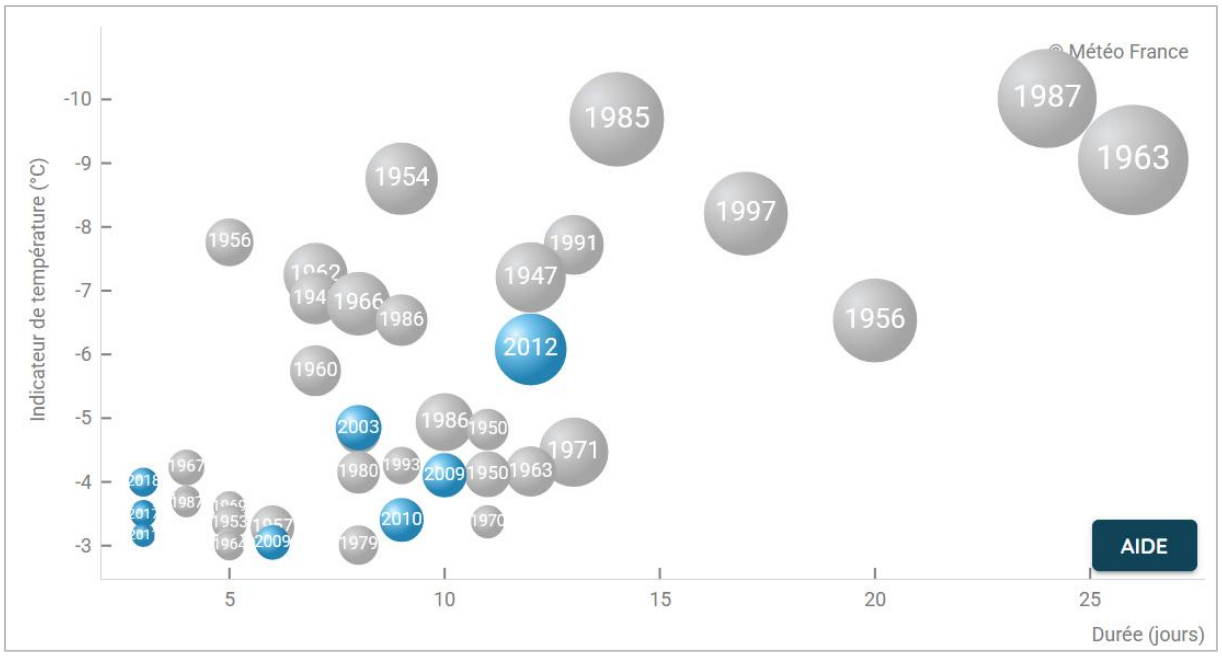


Figure 13 : Vagues de froid en Pays de la Loire, de 1947 à 2025 (Climat HD – Météo-France). L'indicateur de température représente la température minimale atteinte lors de l'épisode de froid. La taille de la bulle représente l'intensité de la vague de froid (liée à la durée et à la température atteinte). Les bulles grises correspondent aux années avant 2000, et les bulles bleues aux années après 2000.



Figure 14 : le lac de Grand-Lieu sous la neige, novembre 2005 (S Reeber, SNPN – RNN Lac de Grand-Lieu)

Définition :

Jour de fortes pluies : jour avec des précipitations cumulées supérieures à 20 mm.

Le nombre annuel de jours de fortes pluies a été **très variable dans le temps**. La moyenne dans le passé récent a été de **5 jours de fortes pluies par an**, n'augmentant que **d'une demi-journée** de forte pluie pour la période de référence.

Il est aussi intéressant de voir la décomposition des régimes de pluie pour les deux périodes (passé et présent) (Figure 15). Ce sont surtout les fortes pluies (> 20 mm) qui influencent le profil pluviométrique du mois, comme on le voit pour juillet et octobre dans la période passée : ces mois ont connu en moyenne **25%-30% de fortes pluies**, influençant le profil global des pluies à la hausse pour la fin d'été et l'automne.

L'évolution entre le passé et le présent semble reposer sur **l'homogénéisation des fortes pluies entre juin et janvier autour de 20-25% par mois**. A l'inverse, deux périodes ont connu une **baisse des épisodes de fortes pluies : février et avril**, avec un petit pic en mars conservé actuellement. D'après ces décompositions pluviométriques, il semblerait alors que les pluies se soient **intensifiées en fin d'été et en hiver**.

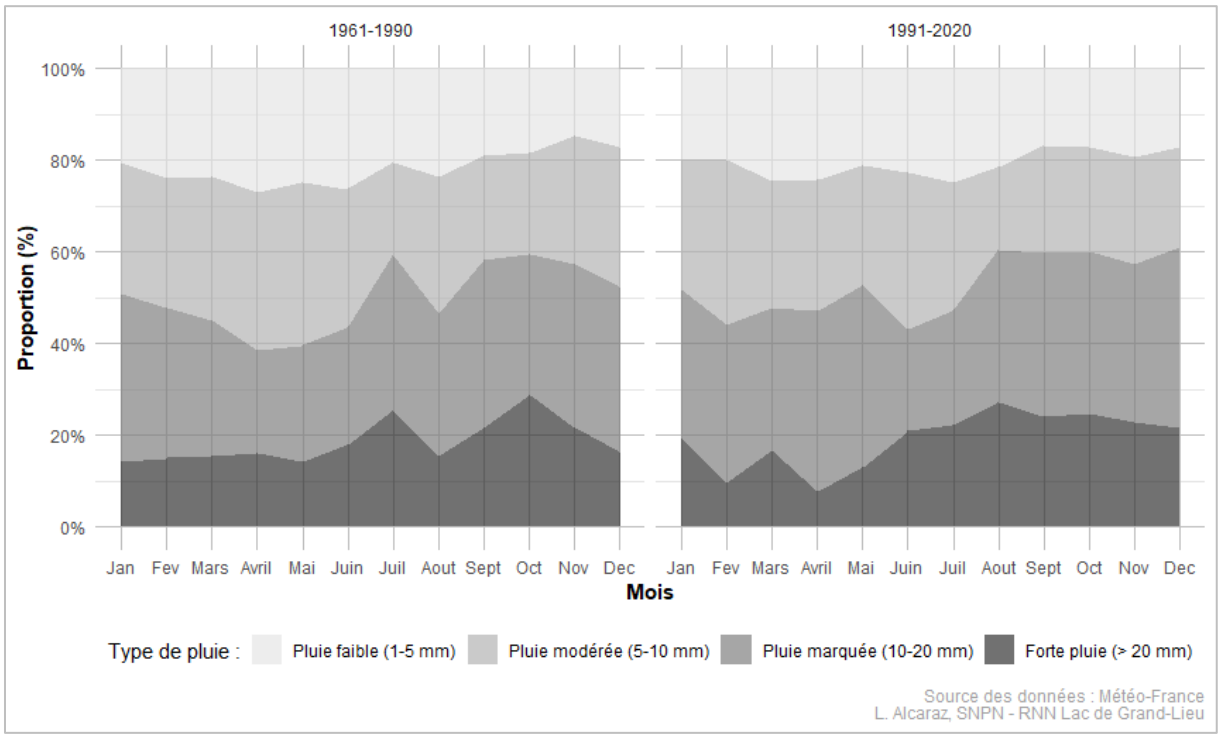


Figure 15 : Evolution des régimes de pluie entre le passé récent et la période de référence (Station NANTES-BOUGUENAIS)

2. Projections futures des évènements extrêmes

Tableau 5 : valeurs simulées des indicateurs climatiques (médiane [5e centile ; 95e centile]) pour les évènements extrêmes issues du multi-modèles DRIAS-2020, pour 2041-2070 et 2071-2100 sous les scénarios climatiques RCP4.5 et RCP8.5.

	Période 2041-2070		Période 2071-2100	
	RCP4.5	**RCP8.5**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
Nombre de jours chauds	65 [46 ; 79] ↗	71 [52 ; 87] ↗	69 [48 ; 86] ↗	97 [69 ; 114] ↗
Nombre de jours très chauds	2,5 [1 ; 7] ↗	4 [2 ; 8,5] ↗	3 [1,5 ; 6] ↗	10,5 [4 ; 21] ↗
Nombre de jours de gel	15 [9 ; 18] ↘	12 [7 ; 14] ↘	13 [8 ; 14] ↘	5 [4 ; 7] ↘
Nombre de jours en vague de chaleur	22 [11 ; 37] ↗	30 [18 ; 49] ↗	24 [17 ; 44] ↗	65 [42 ; 111] ↗
Nombre de jours en vague de froid	3 [0 ; 4] ↘	1 [0 ; 3] ↘	1 [0 ; 3] ↘	0 [0 ; 0] ↘
Nombre de jours de fortes pluies	5 [4 ; 6], en automne - hiver	5 [4 ; 7], en automne-hiver	5 [4 ; 6], en automne-hiver	6 [4 ; 8], ↗ en hiver et au printemps
Fraction des précipitations journalières intenses (RR >= au 90e centile des précipitations annuelles)	A : 70% [65 ; 73] H : 68% [65 ; 72] P : 57% [53 ; 62] E : 59% [53 ; 65]	A : 71% [67 ; 74] H : 68% [66 ; 73] P : 56% [52 ; 62] E : 58% [52 ; 60]	A : 70% [66 ; 75] H : 68% [64 ; 73] P : 57% [48 ; 60] E : 58% ↘ [50 ; 59]	A : 71% [67 ; 74] H : 73% ↗ [68 ; 77] P : 59% ↗ [54 ; 67] E : 57% ↘ [49 ; 64]

Les indicateurs climatiques des extrêmes chauds seront tous à la hausse, quel que soit le scénario climatique. Ces évolutions se renforceront entre l'horizon proche et l'horizon lointain, bien que le scénario RCP4.5 prévoit une évolution moins importante entre les deux périodes.

Le nombre de jours estivaux (>25°C) passera de 49 à **65 ou 71 jours en 2055** selon les scénarios, et augmentera encore à **69 ou 97 jours en 2085**. L'évolution du nombre de jours très chauds (>35°C) sera moins marquée pour le RCP4.5, mais il passerait de 1,5 jour à **4 jours en 2055** et à **une semaine et demie pour 2085**. Les vagues de chaleur se renforceront également : à une semaine de vagues de chaleur actuellement, nous passerions à **22 jours ou même un mois en 2055**, et même **jusqu'à plus de 2 mois en 2085** avec le RCP8.5.

A l'inverse, les évènements froids se rarifieront : le nombre de jours de gel diminuera drastiquement avec le scénario RCP8.5, de façon moins prononcée avec le scénario RCP4.5. D'un petit mois de gel actuellement, nous passerions à **deux semaines de gel en 2055**, puis plus que **5 jours en 2085 avec le scénario pessimiste**. Les vagues de froid, quant à elles, viendront même à **disparaitre** à long terme.

Les indicateurs des pluies sont assez difficiles à estimer, les précipitations étant un paramètre particulièrement dur à prédire. Néanmoins, on peut constater que le nombre de jours de fortes pluies **augmentera légèrement sur le long terme en hiver et au printemps**, et que ces pluies **s'intensifieront** surtout durant ces mois. Durant l'été, les précipitations risqueront à l'inverse d'être **moins intenses**.

Tableau 6 : Récapitulatif de l'évolution des évènements extrêmes annuellement	
Passé récent 1961 - 1990	
Nombre de jours chauds/très chauds	35 jours chauds, 0,5 jour très chaud
Nombre de jours de gel	35 jours
Nombre de jours en vague de chaleur	3 jours
Présence de vagues de froid	Oui : les cinq plus longues et intenses connues (1963 : 25 jours, 1985 : 13 jours, 1987 : 23 jours)
Nombre de jours de fortes pluies	5 jours
Présent : période de référence 1991-2020	
Nombres de jours chauds/très chauds	49 jours chauds, 1,5 jour très chaud
Nombre de jours de gel	29 jours
Nombre de jours en vague de chaleur	7 jours
Présence de vagues de froid	Oui : la plus récente : 2018 (3 jours)
Nombre de jours de fortes pluies	5,5 jours
Futur dans un monde sans politique climatique : Horizon 2041-2070 (H1) Horizon 2071-2100 (H2)	
Différence du nombre de jours chauds/très chauds	↗ H1 : +22 jours chauds / +2,5 jours très chauds H2 : +48 jours chauds / +8,5 jours très chauds
Différence du nombre de jours de gel	↘ H1 : -17 jours H2 : -24 jours
Différence du nombre de jours en vague de chaleur	↗ H1 : +23 jours H2 :+58 jours
Présence de vagues de froid	↘ H1 : Oui : 1 jour H2 : Non
Différence du nombre de jours de fortes pluies	→ H1 : - H2 : +0,5 jour

X. Evolution locale des indicateurs de la baisse estivale du niveau du lac

Selon les précipitations de l'année, le lac peut avoir un niveau très bas en été, peut impacter la biodiversité aquatique (la température de l'eau augmente davantage avec une faible profondeur, diminuant du même coup l'oxygène dissout) mais également les activités humaines liées directement à l'eau, comme la pêche professionnelle ou les relevés scientifiques dans le cadre de la gestion.

L'été est aussi la période ou le **niveau des nappes phréatiques** est au plus bas. La nappe des sables du bassin versant de Grand-Lieu soutien habituellement la ressource en eau du lac en période d'étiage. Les **périodes de sécheresse** impactent également le rechargement de la nappe et du lac. **L'évapotranspiration potentielle** représente le volume d'eau évaporé du sol (ou du lac), ou transpiré par les végétaux. Elle peut aussi être accentuée par des fortes chaleurs estivales, entrainant une perte d'eau accrue des végétaux et du lac lors de cette période critique qu'est l'été.



Figure 16 : le vannage de Bouaye, seule installation contrôlant le niveau du lac, février 2020 (JM Gillier, SNPN – RNN Lac de Grand-Lieu)

1. Evolutions passées des indicateurs

Définition :

Période de sécheresse météorologique : nombre maximum de jours secs consécutifs, c'est-à-dire de jours avec des précipitations quotidiennes inférieures à 1 mm.

Une sécheresse météorologique entraîne par la suite deux autres types de sécheresse : une **sécheresse des sols** altérant la végétation et une **sécheresse hydrologique**, impactant le niveau d'eau dans les milieux aquatiques.

Entre le passé et la période actuelle, la **longueur des périodes de sécheresse a diminué légèrement** : de 26 jours entre 1961 et 1990, elles sont passées à **24,5 jours**, ce qui peut être expliqué par la hausse du cumul annuel des précipitations. Mais les précipitations ont par ailleurs diminué au printemps : il peut y avoir eu une compensation notamment avec l'hiver et l'automne qui ont été plus pluvieux.

Actuellement, **l'ETP cumulée annuelle est de 871 mm**, et a **augmenté de 100 mm** en 30 ans (Figure 17). Cette augmentation a surtout eu lieu **au printemps (+14%) et en automne (+12%)** : ce sont des périodes critiques pour les végétaux, entourant la période de **stress hydrique** estival. En 2022, lors de l'année la plus chaude jamais enregistrée, la plus grande ETP moyenne annuelle a aussi été enregistré, culminant à 1072,1 mm évapotranspirés.

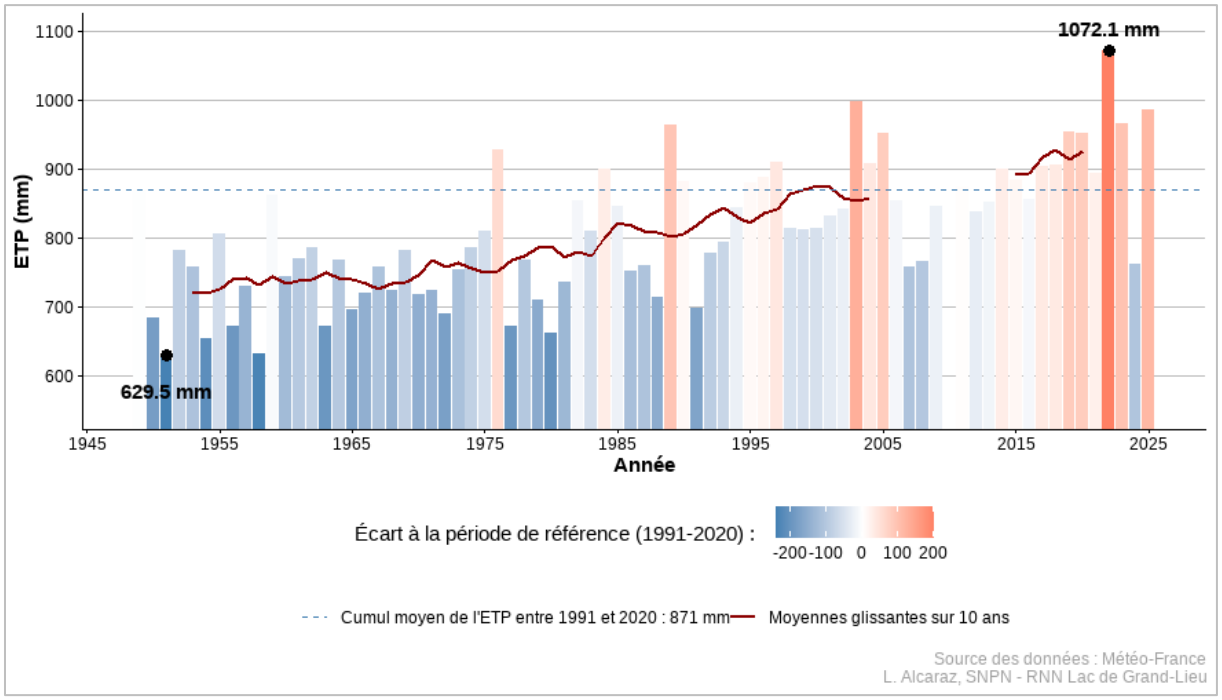


Figure 17 : Evolution du cumul annuel de l'ETP entre 1946 et 2025 (Station Nantes-Bouguenais)

Les données brutes du niveau piézométrique de la nappe des sables indiquent **une très forte variabilité saisonnière** (assecs en été, recharge en hiver) (Figure 18). En ignorant les cycles saisonniers grâce à la méthode des moyennes glissantes sur 365 jours (donc un an), on observe une **faible tendance à la hausse**

du niveau piézométrique depuis 2008, de **+1,3 cm/an**, avec tout de même une variabilité interannuelle qui domine largement.

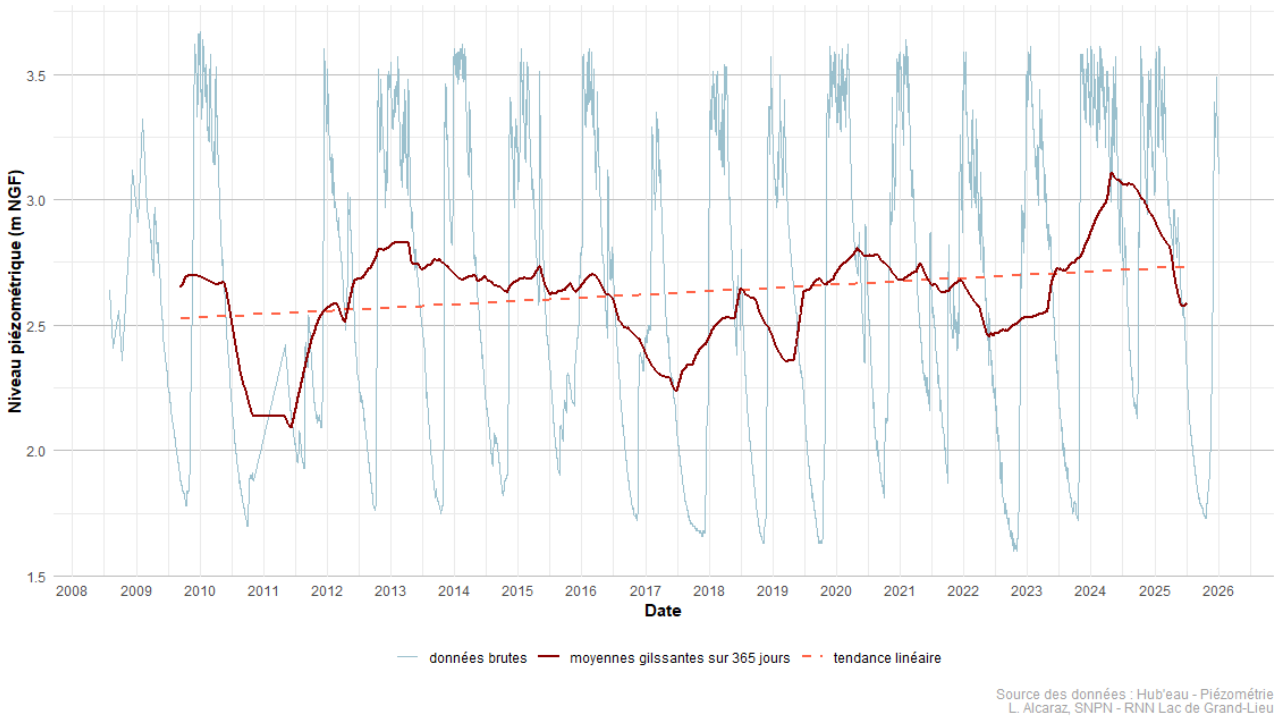


Figure 18 : Evolution du niveau de la nappe des sables du bassin versant de Grand-Lieu, de fin 2008 à début 2026



Figure 19 : le lac de Grand-Lieu à l'étiage "extrême", octobre 2016 (JM Gillier, SNPN – RNN Lac de Grand-Lieu)

2. Projections futures des indicateurs

Il est prévu que les périodes de sécheresse **s'allongent dans le futur**, à **25 jours [24 ; 33] (RCP4.5) ou 28 jours [25 ; 34] (RCP8.5) d'ici 2055**, contre 24,5 jours actuellement. Les mois **d'été et d'automne** sont les plus concernés. D'ici 2085, les périodes de sécheresse seraient de **29 jours [25 ; 32] [RCP4.5)** ou même **31 jours [23 ; 39] (RCP8.5)**. La sécheresse s'étendrait alors même au printemps.

L'évapotranspiration augmentera aussi (Figure 20) : on passerait de 871 mm évapotranspirés sur l'année actuellement à **environ 930-940 mm vers 2055** pour les deux scénarios climatiques. En revanche, sur le long terme, les projections pour le scénario RCP8.5 augmentent avec des incertitudes plus grandes : on pourrait atteindre **1014 mm évapotranspirés**, et c'est en **été – automne** que ces augmentations seront les plus importantes.

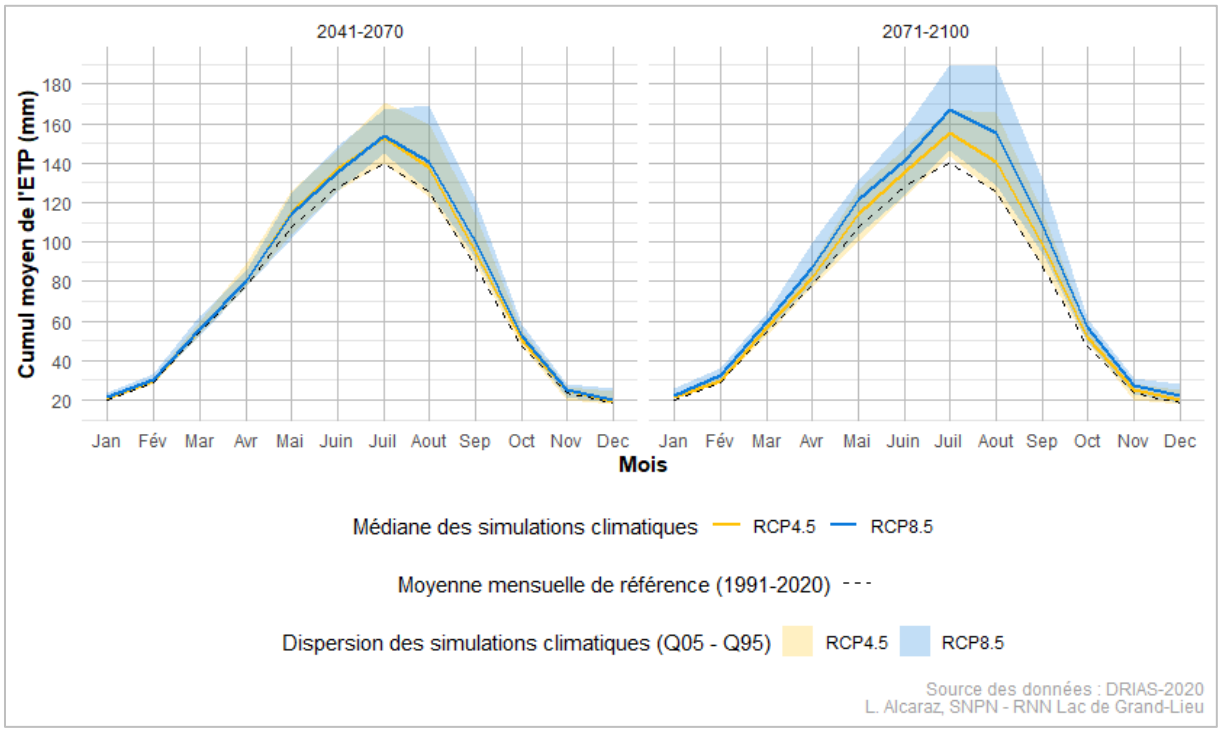


Figure 20 : Evolution des cumuls mensuels moyens de l'ETP selon les scénarios climatiques, pour 2041-2070 et 2071-2100 - Lac de Grand-Lieu (maille SAFRAN 4365)

En ce qui concerne l'étude du futur des nappes phréatiques, EXPLORE2 est un projet porté par l'INRAE qui a permis d'avoir des simulations des **modifications du taux de recharge potentielle** (part des précipitations efficaces rechargeant les aquifères par infiltration) des nappes phréatiques.

Selon l'étude HMUC réalisée en 2024 sur le bassin versant du lac de Grand-Lieu par le Syndicat Grand-Lieu Estuaire, les 7 stations hydrologiques EXPLORE2 du bassin versant indiquent, lors de simulations de recharge des nappes phréatiques, qu'il y aurait dans le futur **une disponibilité en eau souterraine similaire à ce que l'on connait actuellement** (Chenut *et al.*, 2024). Des différences selon les horizons et les scénarios sont marquées, mais il serait même possible que la recharge des aquifères par rapport à la situation

historique (1976-2005) augmente de 3 à 10% en moyenne sous le scénario RCP4.5, et de 4 à 9% en moyenne sous le scénario RCP8.5, avec de grandes incertitudes.

Malgré ces résultats plutôt positifs communs à la moitié nord de la France, il faut aussi penser aux impacts indirects du changement climatique, comme les prélèvements agricoles dans les nappes pour l'irrigation (Caballero *et al.*, 2025). En effet, les résultats de EXPLORE2 ne prennent en compte que les impacts directs du changement climatique sur la recharge (bilan hydrique « naturel »).

Avec le changement climatique, le GIEC Pays de la Loire (2022) prévoit, à l'échelle nationale, une **baisse globale du débit moyen annuel des cours d'eau** de 10 à 40% en 2070 (par rapport à la période 1961-1990). Avec ceci, la **ressource en eau reculerait de 10 à 55%**, avec des différences selon les bassins versant, et la tension sur l'eau pourrait devenir de plus en plus accrue à cause des périodes de sécheresse et des fortes températures, notamment pour l'irrigation des cultures. Ces projections pourraient alors s'ajouter aux projections EXPLORE2, et il serait possible que le niveau de la nappe des sables de Grand-Lieu en soit tout de même impacté dans le futur.

Tableau 7 : Récapitulatif de l'évolution des indicateurs de la baisse estivale du niveau du lac annuellement

Passé récent 1961 - 1990	
Nombre de jours consécutifs en période de sécheresse	26 jours
Cumul de l'ETP (mm)	771 mm
Niveau piézométrique (m NGF)	?
Présent : période de référence 1991-2020	
Nombre de jours en période de sécheresse	24,5 jours
Cumul de l'ETP (mm)	871 mm (A : +12% ; H : +6% ; P : +14% ; E : +10%)
Niveau piézométrique (m NGF)	2,23 m NGF en été ; 3,24 m NGF en hiver (moyennes entre 2009-2025)
Futur dans un monde sans politique climatique : Horizon 2050 (H1) Horizon 2100 (H2)	
Différence du nombre de jours consécutifs en période de sécheresse	↗ H1 : +3,5 jours (été-automne) H2 : +6,5 jours (printemps-été-automne)
Différence des cumuls d'ETP (%)	↗ H1 : 943 mm (A : +14% ; H : +9% ; P : +5% ; E : +10%) H2 : 1014 mm (A : +23% ; H : +12% ; P : +13% ; E : +19%)
Niveau piézométrique (m NGF)	→ ? ↘

XI. Montée du niveau marin

Bien qu'aucun évènement de submersion marine n'ait eu lieu sur le secteur de Grand-Lieu, il est important de rappeler sa proximité à l'océan et sa connexion à la Loire. Lors de la tempête Xynthia en 2010, le niveau de submersion avait été très important, jusque sur les berges de la Loire dans les terres, mais sans atteindre le lac (GIEC Pays de la Loire, 2022). Le lac de Grand-Lieu et ses pourtours sont cependant **sous risque d'inondation**, car à une altitude basse, inférieure à 5 m.

En effet, la **conjonction d'évènements extrêmes et de la hausse du niveau marin** apporte un risque pour le futur. Une hausse du niveau marin, combinée à une submersion marine et à de fortes précipitations au niveau du bassin versant rendrait les évacuations d'eau plus compliquées, car le réseau hydrographique serait saturé de toute part. Cela entrainerait alors des débordements et inondations au niveau du lac et des cours d'eau. A cause du changement climatique, les **évènements extrêmes comme les submersions marines, les inondations continentales et les fortes précipitations seront dans le futur plus marqués, fréquents et même coûteux.** Il est donc important de prendre en considération ce risque qui actuellement semble lointain.

La carte ci-dessous illustre en bleu clair les zones exposées au risque inondation lors d'une submersion marine **dans le cas où le niveau marin sera 50 cm plus haut** que le niveau de 2016. Il s'agit des zones qui pourraient être inondées lors d'une conjonction d'évènements (submersion et fortes pluies) d'ici 2050-2100 selon les scénarios. Pour référence, le scénario RCP8.5 annonce une **augmentation du niveau marin entre 0,61 et 1,10 m selon les modèles d'ici 2100** par rapport au niveau de 1986-2005 (GIEC, 2019). On constate alors que toutes les communes riveraines du lac seraient touchées, avec des **zones urbanisées se trouvant dans ces zones à risques** comme à Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, La Chevrolière (dont l'ancien village de pêcheurs Passay) ou encore Pont-Saint-Martin (Figure 21).

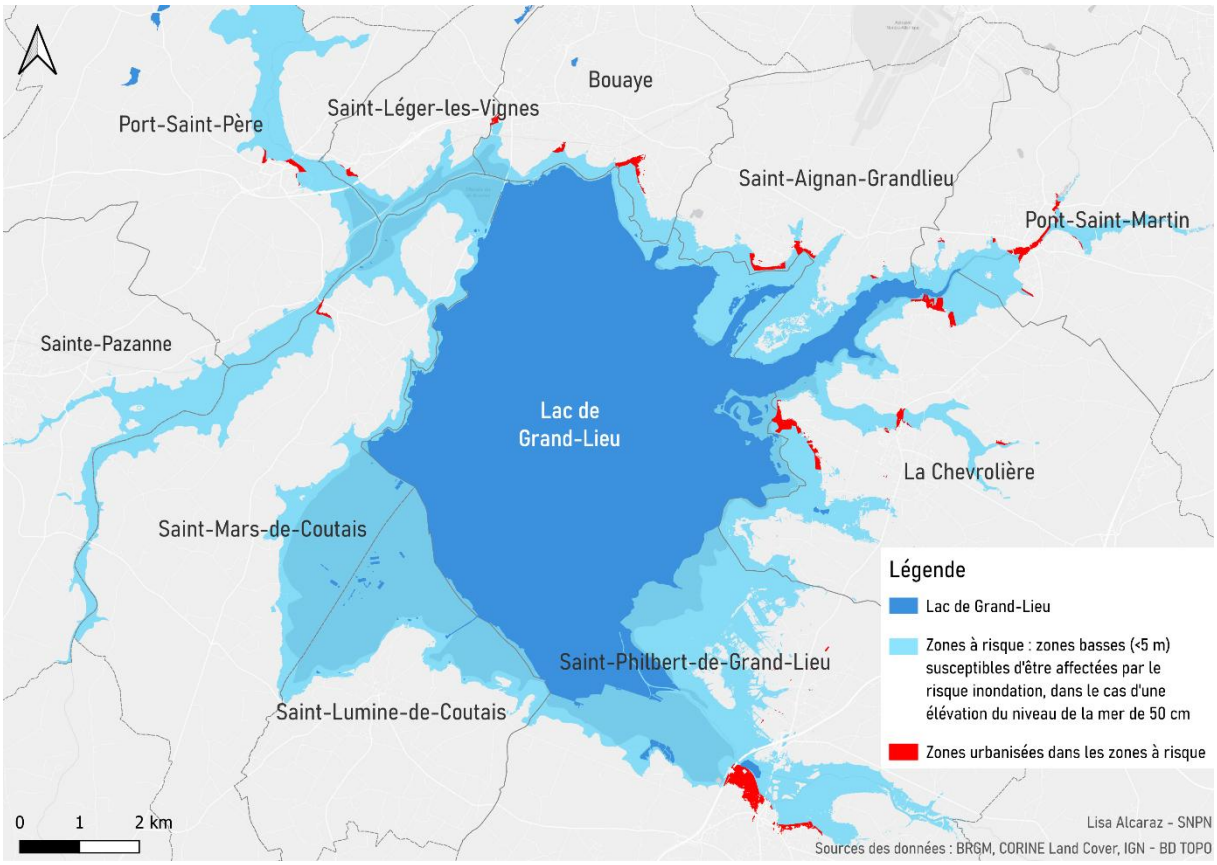
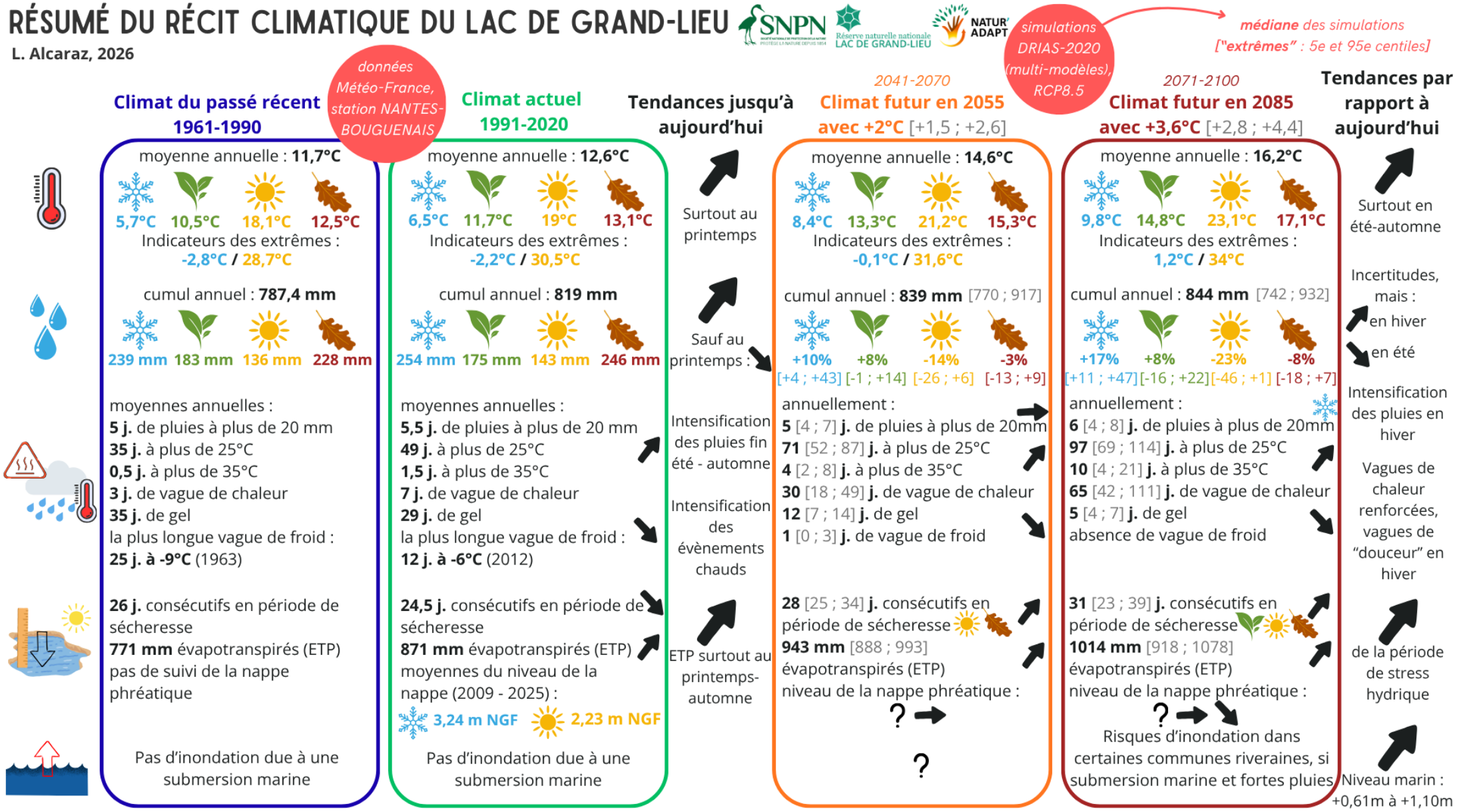


Figure 21 : Carte des zones à risque d'inondation en cas de submersion, au niveau du lac de Grand-Lieu (scénario d'une élévation du niveau de la mer de 50 cm)

XII. Résumé schématique



XIII. Ressources

Amiot L., Bonnardot V., Dubreuil V. 2022. Le changement climatique en Bretagne et Pays de la Loire - projet CLIMATVEG. https://www.vegepolys-valley.eu/projet-climatveg/livrables/resultats-climatveg-transversal.

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

Caballero Y., Lanini S., Maréchal JC., et Vergnes JP. 2025. *Comment le changement climatique perturbe la recharge des eaux souterraines*. http://theconversation.com/comment-le-changement-climatique-perturbe-la-recharge-des-eaux-souterraines-255628.

Chenut R. 2024. *Etude H.M.U.C Grand Lieu rapport Volet Climat pour le Syndicat Grand Lieu Estuaire*. Rives & Eaux du Sud-Ouest.

CLIMAT HD par Météo-France. 2024. https://meteofrance.com/climathd.

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.

Dubreuil, V. 2022. *Le changement climatique en France illustré par la classification de Köppen*. La Météorologie. (116):37-47. doi: 10.37053/lameteorologie-2022-0012.

DRIAS, les futurs du climat par Météo-France. 2020. *Aide à la sélection des modèles*. https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/255

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2022. *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1re éd. Cambridge University Press.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 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* DOI : 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

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

Météo-France. 2021. *Changement climatique : ralentissement sans précédent du Gulf Stream.* https://meteofrance.com/actualites/changement-climatique-ralentissement-sans-precedent-du-gulf-stream

Ouzeau G., Déqué M., Jouini M., Planton S., Vautard R. 2014. *Le climat de la France au XXIe siècle, volume 4*. Ministère de l'énergie, du développement durable et de l'Energie.

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). DOI : 10.1029/2023GL105170

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

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

Voituriez B. (s.d.). *Le Gulf Stream va-t-il s'arrêter et refroidir l'Europe ?* Le Climat en Questions - Institut Paul-Simon Laplace. https://www.climat-en-questions.fr/reponse/gulf-stream-par-bruno-voiturier/