

Diagnostic de vulnérabilité

© Jean-Christophe RAGUE

Démarche d'adaptation au changement
climatique des espaces naturels sensibles
de la **Vallée des lacs**



Auteurs

DELAGE M., HINGRAY T. et ESSELIN M.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier l'ensemble de l'équipe du Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine qui a œuvré sur ce beau projet. Leurs contributions, leurs interrogations et leurs savoirs nous ont permis d'amender notre démarche face aux changements climatiques.

Nos remerciements s'adressent à l'équipe de coordination du Life à RNF, en particulier Anne Cerise Tissot, Christine Coudurier et Laëtitia Petit pour leur accompagnement, suivi et bonne humeur tout au long de la démarche ainsi qu'au consortium.

Un grand merci à nos collègues des sites tests et également des sites expérimentaux pour leur bienveillance, leur retour d'expérience et leur accompagnement. Le réseau des Conservatoires nous a permis à la fois d'avoir des nouvelles rencontres et aussi d'initier et de développer la démarche d'adaptation à l'échelle nationale.

Nous n'oublierons pas de remercier l'ensemble de nos partenaires : Communes de Gérardmer et Xonrupt-Longemer, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Conseil départemental des Vosges, propriétaires privés, Niv'Ose, les experts ... pour leur confiance, leur historique et leur connaissance.

Citation de l'ouvrage

DELAGE M., HINGRAY T., ESSELIN M., 2022. Diagnostique de vulnérabilité et d'opportunité : Site test de la Vallée des Lacs vosgiens (88), Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine.

Table des matières

RÉSUMÉ.....	3
LA DÉMARCHE NATUR'ADAPT.....	5
La vallée des lacs vosgiens : ENS.....	6
Présentation des sites	6
Politique Espaces Naturels Sensibles dans les Vosges.....	10
Statut d'inventaire ^{et/ou} réglementaire.....	11
Documents de gestion et volet Climatique.....	12
Richesse de ces aires protégées.....	12
Récit climatique.....	13
Les indicateurs du récit climatique	13
Objectifs.....	13
Indicateurs structurants et maille.....	14
Climat passé	15
Températures	15
Température moyenne annuelle	16
Nombre annuel de journées chaudes.....	17
Vagues de chaleur.....	18
Nombre annuel de journée de gel.....	19
Vagues de froid.....	20
Températures moyennes de surfaces des lacs	21
Températures de la colonne d'eau des lacs.....	22
Précipitations.....	25
Enneigement.....	28
Surface en hectare soumise à la sécheresse	32
Humidité du sol et sécheresse.....	33
Tendances climatiques passées sur le massif des Vosges	34
Bilan du climat passé	36
Climat futur	37
Températures moyennes annuelles	38
Nombre de journées chaudes annuel.....	39
Nombre de jours de vague de chaleur.....	40
Nombre annuel de jours de gel	41
Nombre de jours de vagues de froid	42
Températures des eaux de surface des lacs.....	42

Températures de la colonne d'eau	42
Cumul annuel de précipitations.....	43
Cumul annuel de précipitations par saison	44
Nombre de jour de fortes précipitations	46
Enneigement.....	47
Sécheresse	48
Vent	48
Evapotranspiration	49
Bilan du climat futur	51
Évolution des activités socio-économiques : activité humaine	52
Analyse de la vulnérabilité et d'opportunité	53
Méthodologie	53
Sensibilité au changement climatique.....	53
L'exposition au changement climatique de l'objet.....	54
Les capacités d'adaptation globale de l'objet.....	54
Choix des objets.....	55
Résultats	58
Herbiers aquatiques.....	58
Isoétides.....	58
Qualité de l'eau.....	59
Quantité d'eau	59
Le cortège piscicole de 1 ^{ère} catégorie	60
Les berges des lacs.....	61
Bilan de la vulnérabilité des objets	62
Récit prospectif.....	62
Démarche d'adaptation	63
Perspectives et conclusion.....	64
GLOSSAIRE.....	65
LISTE DES ABREVIATIONS	66
BIBLIOGRAPHIE.....	67

RÉSUMÉ

Située dans le département des Vosges, la vallée des lacs est composée de trois lacs d'origine glaciaire : le lac de Gérardmer, le lac de Longemer et le lac de Retournemer. Plus grand réseau de lacs naturels interconnectés à l'échelle du massif des Vosges. Oligotrophes, ils présentent encore la faune et la flore des lacs montagnards. Le lac de Gérardmer possède des herbiers aquatiques à *Isoetes*, uniques dans le Grand Est, et sont encore bien développés malgré les nombreuses activités touristiques. Le lac de Longemer est plus sauvage mais l'activité touristique conduit à la limitation du développement des herbiers. La rivière Vologne relie le lac de Longemer à celui de Retournemer. Ce dernier, plus petit et enclavé dans un cirque glaciaire, est le plus préservé. Il est colonisé par une tourbière flottante qui accueille les espèces caractéristiques des tourbières du massif.

Les trois lacs sont répertoriés à l'inventaire des Espaces Naturels Sensible du Conseil départemental des Vosges mais n'ont pas tous, le même statut de protection. Ainsi, la vallée des lacs vosgiens a rejoint la démarche Natur'Adapt à sa phase de test afin d'évaluer l'outil avec une labellisation ENS. Le lac de Gérardmer est uniquement inventorié en ENS sans démarche d'animation ni Plan de Gestion. Néanmoins, un accompagnement des élus locaux est réalisé via le Projet Lacs. Concernant le lac de Longemer, il est préservé, pour partie, par des maitrises d'usage et possède un Plan de Gestion en cours (2012/2023) mais qui prend peu en compte le changement climatique. Lorsqu'il sera renouvelé, un travail méthodologique Natur'Adapt devra être mené. Le lac de Retournemer est préservé via une maitrise d'usage, une convention de gestion avec les propriétaires privés depuis 2020. Son Plan de Gestion (2020/2030) prend en compte le changement climatique sans la méthodologie Natur'Adapt.

La vallée va rapidement subir des transformations directes et indirectes liées au changement climatique et ce, quelque soit la trajectoire future. Avec le scénario sans politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre (RCP 8.5), les températures vont se réchauffer toute l'année avec une augmentation des températures annuelles de 2°C à l'horizon moyen. Entraînant alors une augmentation des vagues de chaleur et journées chaudes. À l'inverse, le nombre de jours de gel et vagues de froid va baisser drastiquement. Avec l'élévation des températures, les précipitations neigeuses se transformeront en pluie avec une augmentation de cette dernière hors période estivale. Tous ces phénomènes vont entraîner des étiages plus importants au printemps et en été, engendrant alors des pressions autour de la ressource en eau et la qualité. Ainsi, tous ces changements vont influencer le fonctionnement des écosystèmes et des activités humaines avec des degrés de résiliences différents et donc une vulnérabilité plus ou moins importante sur le long terme.

Le fonctionnement des lacs vosgiens et de son bassin versant associé va être impacté à court terme. Ainsi, les objets qualité, quantité d'eau et berges du lac sont liés les uns avec les autres. Le changement climatique va modifier la répartition et l'intensité de la pluviométrie impactant ces objets. Le cortège de 1^{ère} catégorie piscicole, les Isoëtides et plus largement les herbiers aquatiques seront, à long terme, marqués par leur banalisation car ils possèdent peu de système d'adaptation. Concernant les activités de loisirs, le tourisme 4 saisons sera de plus important, avec une modification de la fréquentation. Sur le court terme, le changement climatique sera favorable au développement des activités 4 saisons. Mais sur le long terme, les phénomènes de marnages, de cyanobactéries... pourront entraîner des périodes interdites à la baignade alors que les îlots de fraîcheur seront de plus en plus demandés.

INTRODUCTION

Le changement climatique est la 3^{ème} cause d'érosion de la biodiversité, après la perte d'habitat et la surexploitation (Díaz et al., 2019 ; IPBES 2020). Au cours des prochaines décennies, il pourrait les surpasser et devenir la menace principale (Leadley et al., 2010). Néanmoins, les multiples projections basées sur différents scénarios rendent difficile la prévision claire sur le devenir des écosystèmes, des espèces et de leurs populations (Pereira et al., 2010). Le changement climatique aurait déjà affecté négativement la répartition de 47 % des mammifères terrestres et de 23 % des oiseaux (Díaz et al., 2019). Avec un réchauffement de 1,5 à 2°C, les aires de distribution de la majorité des espèces terrestres devraient se contracter de manière importante (Díaz et al., 2019). Le dernier rapport du GIEC (GIEC, 2022), à l'exception du scénario le plus optimiste (SSP1) qui nécessiterait une chute drastique de nos émissions de gaz à effet de serre grâce à une transformation immédiate de nos habitudes, le seuil d'1.5°C de réchauffement pourrait être atteint dès 2030, soit 10 ans plus tôt que la précédente estimation du GIEC. D'ores et déjà, ces 10 dernières années ont été 1,1°C plus chaudes comparées à la période 1850-1900. Néanmoins, le GIEC laisse tout de même esquisser quelques espoirs en annonçant qu'il est possible à 83% de chance de se maintenir sous le seuil des +1.5°C d'ici 2100 si l'humanité émet au maximum 300 gigatonnes de dioxyde de carbone (CO2). Le changement climatique constitue une menace majeure pour la biodiversité, car les espèces qui ne pourront pas s'y adapter ou se déplacer risquent l'extinction (Carvalho et al., 2010). Les constats et les projections des scientifiques confirment une dégradation croissante de la biodiversité dans le contexte de changement climatique. Ce dernier affecte déjà le cycle de l'eau. Si la fréquence des tempêtes extrêmes n'a pas encore augmenté significativement, l'occurrence des sécheresses et des inondations est en forte hausse partout dans le monde. Une modification profonde de la distribution de l'eau à la surface de la planète est d'ores et déjà visible (UNESCO 2022).

La lutte face au changement climatique s'articule autour de deux axes majeurs : l'atténuation, qui vise à réduire ou limiter les émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation, qui vise à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains contre les impacts présents ou à venir du changement climatique (GIEC 2014). Dans le cadre de ce rapport, il est développé l'axe de l'adaptation pour promouvoir les espaces naturels comme solution fondée sur la nature face au changement climatique. Le projet LIFE Natur'Adapt coordonné par Réserves Naturelles de France a pour objectif d'intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Le Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine (CENL) est l'un des partenaires du projet via la participation à la phase de test de la démarche Natur'Adapt. La phase test consiste notamment à réaliser une démarche d'adaptation au changement climatique sur différents types d'aires protégées. Le CENL teste donc l'outil d'inventaire Espace Naturel Sensible (ENS). Le CENL est prestataire de service pour l'animation de ce label départemental et est gestionnaire des espaces préservés.

La phase de test de la démarche Natur'Adapt sur la Vallée des Lacs Vosgiens s'articule en deux rapports d'expertises. Le premier est le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité (DVO) et le second est le plan d'adaptation (PA). Le premier document collecte les informations sur le climat et le changement climatique de l'aire protégée, l'analyse et une prospective est proposée. Le plan d'adaptation, découle du DVO, consiste à définir des actions et stratégies à mettre en place sur l'aire protégée.

LA DÉMARCHE NATUR'ADAPT

Le projet LIFE Natur'Adapt vise à **intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des aires protégées** en France et en Europe.

Prévu sur 5 ans (2018-2023), il est coordonné par Réserves Naturelles de France et s'appuie sur un processus d'apprentissage collectif associant neuf autres partenaires.

Il se construit autour de trois axes :

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

Les différents outils et méthodes seront expérimentés sur six réserves partenaires du projet, puis revus et testés sur 15 autres sites avant d'être déployés aux échelles nationale et européenne.

L'objectif à 10 ans (2028) : 80% des gestionnaires de réserves naturelles ont adopté des modalités de gestion, planification et gouvernance adaptatives dans un contexte de changement climatique, et les autres principaux espaces naturels protégés s'engagent dans cette voie.

La Vallée des lacs vosgiens a intégré le projet au titre de site test via l'outil de protection Espace Naturel Sensible (ENS). S'étalant sur une année, cette phase a permis de tester la démarche d'adaptation à l'échelle d'inventaire départementaux, ENS, sur sites préservés totalement, partiellement ou non. En plus de tester la méthode Natur'Adapt dans d'autres conditions sur les réserves issues de l'expérimentation, le but de ce test était aussi d'améliorer et d'enrichir les outils de la méthode. Les quinze sites tests sont variés, aussi bien dans leurs habitats naturels que dans leurs usages, leurs moyens de gestion et le type de protection. Dans ce rapport, sont présentés les détails de la démarche Natur'Adapt appliquée sur le site test, les principaux résultats obtenus grâce au Diagnostic de Vulnérabilité et d'Opportunité (DVO) face aux changements climatiques, le devenir des trois lacs glaciaires à travers un récit prospectif. Un second document faisant suite à celui-ci présente le plan d'adaptation pour répondre aux diverses problématiques présentées ici.



La vallée des lacs vosgiens : ENS

Présentation des sites

Située en région Grand Est et dans le département des Vosges, la vallée des lacs est composée de trois lacs d'origine glaciaire qui se situent dans le massif des Vosges : le lac de Gérardmer, le lac de Longemer et le lac de Retournemer.

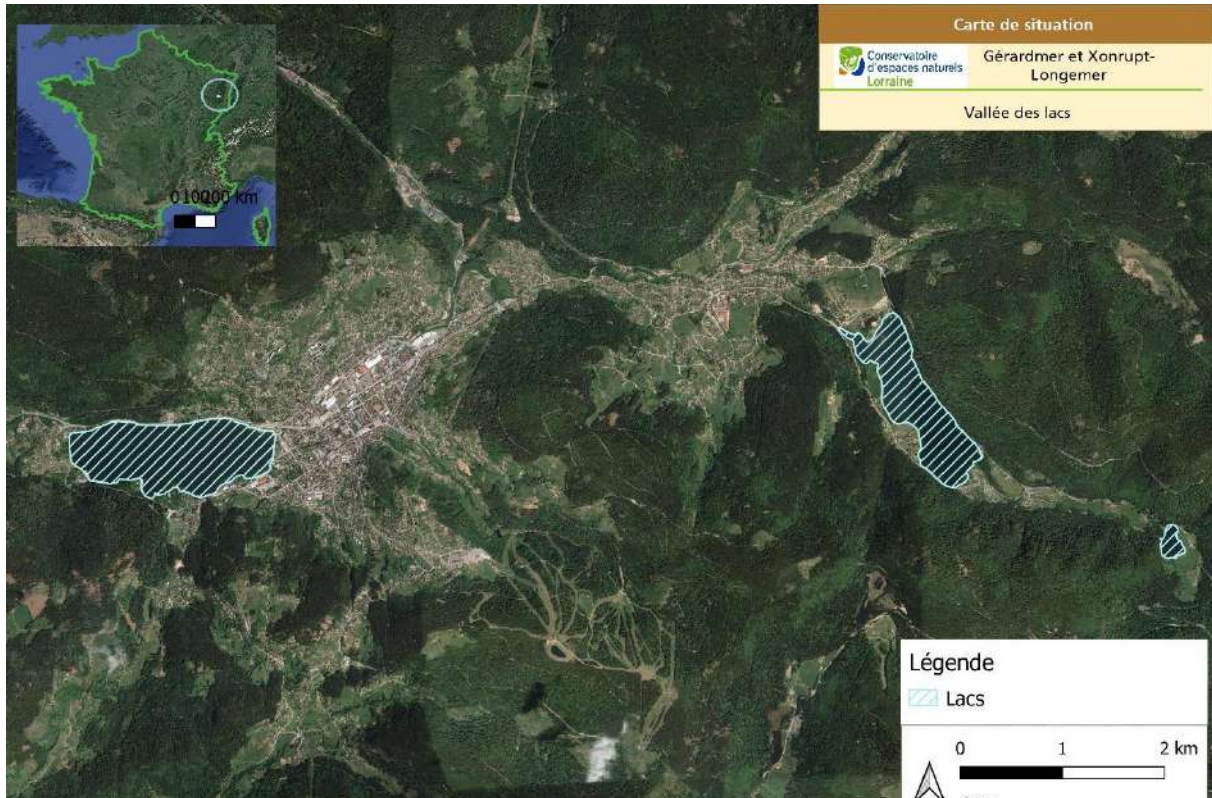


Figure 1: Localisation des ENS de la Vallée des lacs en France



Illustration.1 : Lac de Gérardmer (en haut à gauche), lac de Longemer (en haut à droite) et lac de Retournemer (en bas).

Les sites se situent sur deux communes, Gérardmer et Xonrupt-Longemer. La qualité de ces écosystèmes est reconnue depuis la fin du XIX -ème siècle avec des premières données historiques datant de cette époque. Des premiers relevés de température sur ces lacs ont même eu lieu dès le début du XXème siècle. Cette biodiversité remarquable (herbiers aquatiques en particulier) a été prise en compte dans les premiers inventaires nationaux de la biodiversité (ZNIEFF). L'inventaire ENS s'est ensuite inspiré des périmètres d'inventaires existants.

La protection forte des sites n'est intervenue que plus tard avec l'action du Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine (CEN Lorraine). Dans le cadre de ses missions de maîtrise foncière et/ou d'usage, la protection de certaines parties de ces lacs est apparue comme prioritaire. Les lacs n'ont pas la même superficie donc pas les mêmes fonctionnalités. Ils n'ont pas non plus les mêmes périmètres d'intervention ENS et de gestion du CENL. Les ENS de la vallée des lacs recouvrent une surface de plus de 39 ha. Le classement couvre les milieux les plus sensibles de ces lacs.

- Le lac de **Gérardmer** a une surface de 117 ha. L'ENS88*L02 lac de Gérardmer, est distribué en petits patches proches des berges du lac. Sa surface est de 10 ha. Cet ENS n'est pas protégé.

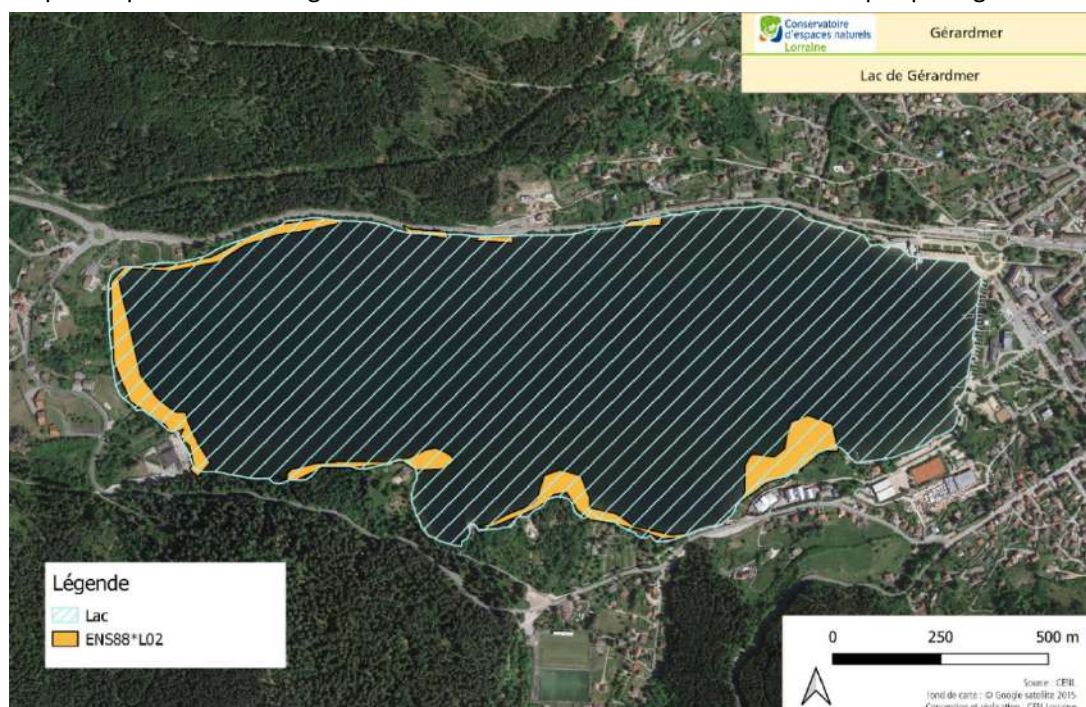


Figure 2 Carte de situation du lac de Gérardmer et position de l'ENS

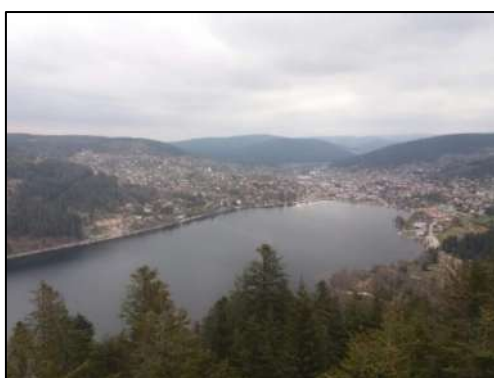


Illustration.2 : Lac de Gérardmer depuis la mérelle.

- Le lac de **Longemer** est un lac de 75 ha. L'ENS présent est scindé en deux secteurs. La partie nord de 14.5 ha correspond à la partie protégée de l'ENS. La partie gérée par le CEN Lorraine couvre une superficie de 9 ha. La partie de L'ENS au sud de 6.5 ha n'est pas protégée.

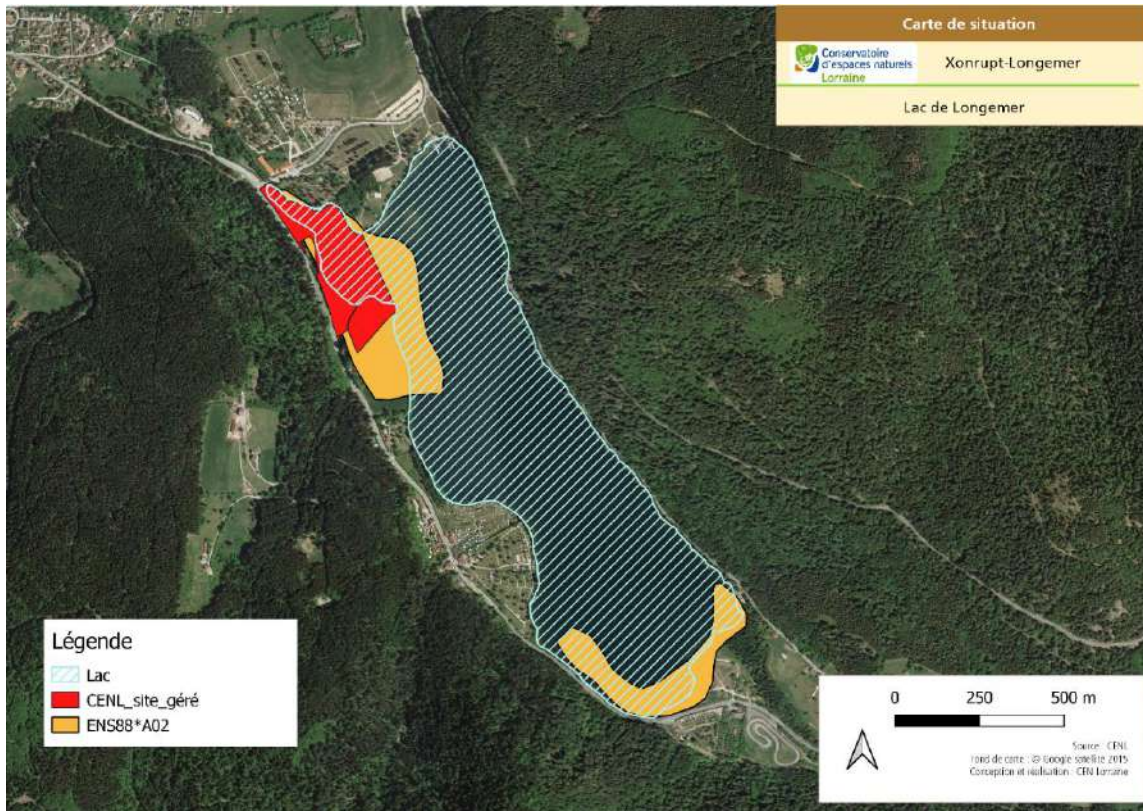


Figure 3 Carte de localisation des ENS et du site géré par le CENL sur le lac de Longemer

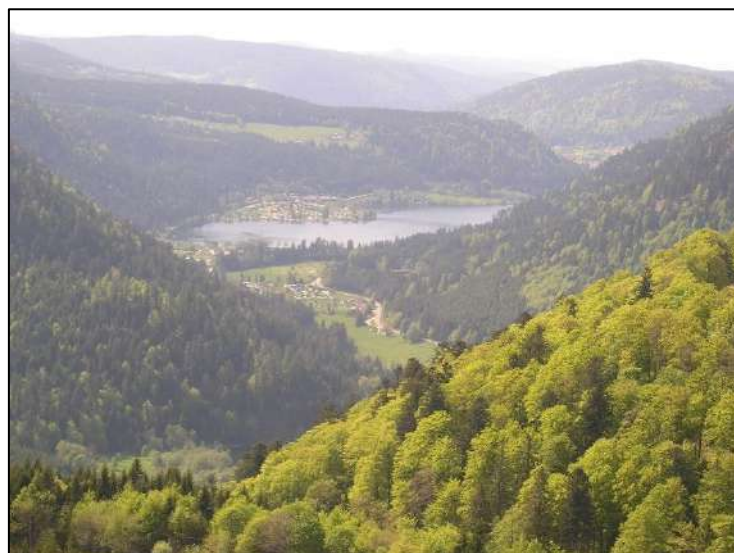


Illustration.3 : Lac de Longemer depuis le Hohneck.

- Le lac de **Retournemer** est un petit lac de 5.5 ha. L'ENS de 14.5 ha est protégé. Le CENL gère 9.6 ha.

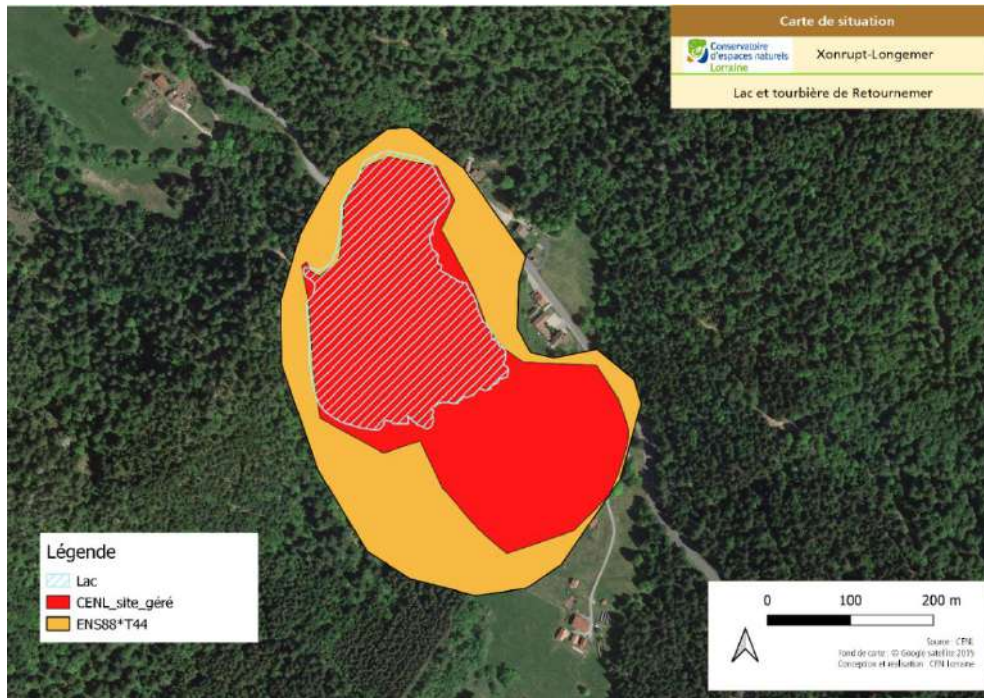


Figure 4 Carte de localisation de l'ENS et du site géré par le CENL sur le lac de Retournemer



Illustration.4 : Lac de Retournemer depuis la roche du Diable.



Politique Espaces Naturels Sensibles dans les Vosges

Les Espaces Naturels Sensibles (ENS) sont définis comme étant des sites remarquables en termes de patrimoine naturel, tant pour leur diversité que pour la rareté des espèces qu'ils abritent. Depuis la loi du 18 juillet 1985, modifiée par la loi Barnier du 2 février 1995, ce sont les départements qui sont compétents pour élaborer et mettre en œuvre une politique de protection, de gestion, et d'ouverture au public des ENS. La politique ENS a pour but de préserver le patrimoine naturel du département et de transmettre aux générations futures dans un cadre de vie riche et diversifié.

Pour cela, le Conseil départemental des Vosges soutient financièrement et techniquement des projets initiés par des Communes, des Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI), des associations ou des privés. En contrepartie, les bénéficiaires s'engagent à gérer durablement l'ENS pour une durée d'au moins 15 ans et à y faire appliquer le plan de gestion biologique. Le Conseil départemental des Vosges a inventorié près de 470 sites dont 102 sont préservés par le Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine (CEN Lorraine).

Le Conseil départemental des Vosges a fait le choix d'externaliser, par le biais d'un marché public, les compétences en confiant le volet technique de la politique à un prestataire de service, en l'occurrence le CEN Lorraine qui, lorsqu'il intervient, parle au nom du Département. Ce partenariat s'est concrétisé dans un premier temps par la signature le 19 mai 2000 d'une convention de mise en œuvre de la politique de préservation des Espaces Naturels Sensibles du département des Vosges puis en 2003 par l'attribution des lots 2 et 3 d'un marché public relatif à l'animation de la politique ENS. Ainsi, le CEN Lorraine participe à l'animation de la politique ENS depuis plus de 20 ans. La gestion de ces sites ENS est ensuite confiée à une structure de protection de l'environnement. Actuellement cette structure est le CEN Lorraine, dans le cadre de son programme d'action de protection de de la biodiversité et de gestion des écosystèmes sur le département des Vosges.



Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine (CEN Lorraine)

Le Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine (anciennement Conservatoire des Sites Lorrains) est une association régionale créée en 1984 afin d'assurer la préservation du patrimoine naturel à travers la maîtrise du foncier et/ou de la gestion des parcelles abritant des intérêts biologiques et écologiques remarquables. À cette fin, le CEN Lorraine développe 4 grands axes d'intervention :

- la connaissance ; expertises en amont des choix de sites à protéger, plan de gestion et suivis écologiques des sites protégés,
- la protection par acquisitions, par locations ou au moyen de conventions,
- la gestion effectuée par une équipe en régie, via des sous-traitances (équipes d'insertion) et par conventions avec un réseau d'exploitants agricoles,
- la valorisation afin de faire prendre conscience au public de la nécessité de protéger ces espaces de nature.

Les compétences scientifiques et techniques, l'éthique et le rayonnement régional du CEN Lorraine ont conduit à sa reconnaissance de mission d'utilité publique par arrêté n°10-DCTAJ-15 en date du 16 avril 2010.

Le CEN Lorraine est une association agréée par l'Etat et la Région Lorraine au titre de l'article L414-11 du Code de l'environnement.

Statut d'inventaire ^{et/ou} réglementaire

Les ENS sont un statut d'inventaire. Cela permet ensuite de sélectionner les espaces naturels à protéger selon leur intérêt, leur fragilité et leur menace. Ils sont donc classés en trois catégories d'intérêt : local, régional, national selon 16 critères.

Les sites classés et inscrits sont deux types de statut réglementaire utilisés sur ces lacs. Il s'agit pour les sites classés d'interdire tous travaux qui pourraient notamment modifier l'aspect paysager du site. Pour réaliser des travaux, une autorisation doit être demandée. En ce qui concerne les sites inscrits, la préservation du paysage est aussi très importante et les travaux nécessitent d'abord une déclaration.

Ces sites font parties du Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges et de la ZNIEFF de type 2 n°410010387 MASSIF VOSGIEN.

Tableau 1 Localisation des sites protégés et périmètres réglementaires et d'inventaires pour les lacs naturels vosgiens

Lacs	Statut d'inventaire	Statut réglementaire
Gérardmer	ENS88*L02 ; intérêt régional ; inventaire de 2004	Site inscrit « Le Lac de Gérardmer et les parcelles l'environnant » ; protégé le 19/07/1944
Longemer	ENS88*A02 ; intérêt régional ; inventaire de 1995	Site classé « lac de Longemer et sa vallée » ; protégé le 16/04/2002
	ZNIEFF de type 1 ; n°410008719	
	ZICO FR4112003 Massif des Vosges : Hautes Vosges	

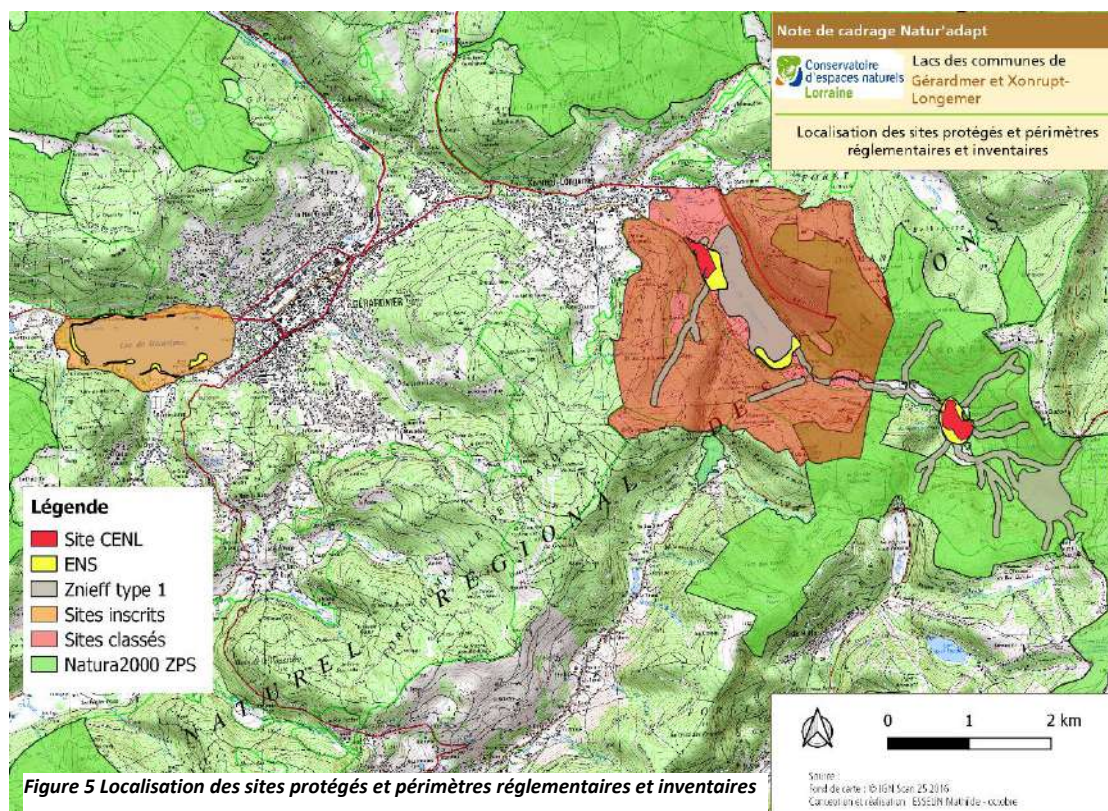


Figure 5 Localisation des sites protégés et périmètres réglementaires et inventaires

Retourner	ENS88*T44 ; intérêt national ;	Site inscrit « Lac de Retourner et ses abords » ; protégé le 14/02/1944
------------------	--------------------------------	---

Documents de gestion et volet Climatique

Le lac de Gérardmer (ENS88*L02) n'est pas un ENS protégé, les actions menées par le CENL sont faites ponctuellement en fonction des projets des partenaires sur le site.

Longemer et Retourner bénéficient tous les deux d'un plan de gestion dû à leurs protections :

- Plan de gestion du delta du ruisseau saint Jacques et herbiers aquatiques (ENS88*A02) pour la période 2012 – 2023. Le volet climatique est abordé de manière succincte et n'aborde pas la question du changement climatique. Ce plan de gestion porte uniquement sur la partie du site au nord et non sur les herbiers au sud du lac. Le CENL a signé un bail emphytéotique de 18 ans avec la commune de Xonrupt-Longemer en 1993, puis une convention de gestion signée en 2004. Cette convention a été renouvelée en 2021.
- Plan de gestion du Lac et tourbière de Retourner (ENS 88*T44) pour la période 2020 – 2030. Le volet climatique est approfondi du fait des réflexions actuelles du CEN sur l'intégration des conséquences du changement climatique sur la gestion des milieux naturels. Une convention de gestion de 6 ans a été signée entre l'indivision des propriétaires du lac de Retourner et le CEN Lorraine en 2020.

Richesse de ces aires protégées

Ces lacs s'inscrivent dans un cadre paysagé exceptionnel, notamment pour le lac de Retourner.

Ces sites contiennent une biodiversité particulière, relictuelle du passé glaciaire et des conditions montagnardes. Les mégaphorbiaies, bas marais, tremblants tourbeux, boisements humides sont des milieux caractéristiques des abords de ces lacs froids, et sont riches d'un cortège d'espèces floristiques et faunistiques patrimoniale. Notons, par exemple, le Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), le Castor d'Europe (*Castor fiber*) et encore le Calla des marais (*Calla palustris*).

La végétation aquatique des lacs est un compartiment très important pour le fonctionnement des lacs. Les herbiers aquatiques à *Myriophyllum alterniflorum*, *Littorella uniflora*, *Isoetes lacustris* et *Isoetes echinospora* sont des habitats remarquables. Les isoètes sont protégés au niveau national. Les Littorelle, Subulaire aquatiques et Myriophylle à fleurs alternes ainsi que le Nénuphar nain sont protégés au niveau régional. Le lac de Longemer est ainsi la seule station d'*Isoetes echinospora* pour tout le quart Nord-Est de la France, la responsabilité vis-à-vis de cette espèce est importante et a motivé d'autant plus la protection de ce site.



Illustration.5 : Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), Calla des marais (*Calla palustris*) et Isoète à spores spinuleuses (*Isoetes echinospora*) (de gauche à droite).

Récit climatique

Le récit climatique est le document qui rend compte de l'histoire climatique passée et future sur et autour de l'Aire Protégée. Au sein de la démarche Natur'adapt, une étape essentielle est de comprendre le climat passé qui a en partie façonné l'aire protégée comme on la connaît aujourd'hui. Il est aussi important dans une démarche d'adaptation aux changements climatiques de savoir les anticiper. Le travail mené ici utilise les projections du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat.

Les indicateurs du récit climatique

« Le climat correspond aux conditions météorologiques moyennes (températures, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air, vitesse des vents, etc.) qui règnent sur une région donnée sur une longue période. Le climat est directement lié aux échanges de chaleur et d'énergie entre le soleil et la Terre ainsi qu'aux interactions au sein des différentes composantes de notre planète : atmosphère, lithosphère, hydrosphère, cryosphère, biosphère. Le système climatique est dynamique et la Terre a toujours connu des variations du climat.

Le changement climatique actuel se distingue toutefois des variations climatiques passées de par son intensité, sa vitesse et son origine. Ce sont en effet les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique qui sont majoritairement responsables du réchauffement global et des bouleversements du climat actuel. » *Guide méthodologique V1 Natur'adapt*

Il est nécessaire de comprendre comment les différentes composantes de nos sites ont évolué jusqu'ici et ce qui conditionne leur présence actuellement. Les données climatiques pour les ENS de la Vallée des Lacs sont réunies pour le passé de cette vallée, sur son climat actuel et se projeter sur son futur. Les services climatiques utilisés pour ce récit climatique sont **Climat HD** et **DRIAS**. Ces deux services climatiques sont produits par **Météo France**, les jeux de données sont ceux de Météo France.

Les normes actuelles sont **1991-2020**, et **1961-1990**. Une norme climatique est un jeu de données de 30 ans minimum. L'idéal étant d'avoir 60 ans de données, ce qui permet de voir les tendances climatiques de manière plus marquées. Cette période correspond aux mesures pour l'Age préindustriel. Ces normes sont des périodes références qui permettent de comparer le climat actuel et futur. Ici les horizons choisis pour les projections climatiques sont l'horizon **2050** (horizon proche) qui permet de connaître les effets rapides du changement climatique sur l'Aire Protégée et permet de prendre rapidement des décisions concernant la gestion des lacs ; l'horizon **2075** (horizon moyen) permet de voir une tendance marquante sans être trop éloignée et permet de s'adapter aux incertitudes et variations à venir.

Objectifs

Les objectifs sont ici de connaître les éléments clés du climat local :

- Comprendre l'évolution du climat passé et d'envisager le climat futur sur les aires protégées,
- Permettre d'évaluer la vulnérabilité des composantes de ces lacs et l'évolution de l'aire protégée
- Adapter la gestion de l'aire protégée pour qu'elle prenne en compte ces évolutions et qu'elle puisse s'adapter à ces changements de manière régulière.

Indicateurs structurants et maille

Source : DRIAS

SIMULATIONS CLIMATIQUES					
INDICATEURS	RECU / HORIZON	PÉRIODE	INDICES	ÉCHELLE GÉOGRAPHIQUE	PRIORITE
Températures ou anomalies de températures par rapport à la période de référence	Référence : 1976/2005 Horizons : proche, moyen et lointain	Année, saison, mois	-Moyenne, min, max, Amplitude thermique -Extrême chaud de la température -Extrême chaud de la température maximale -Nombre de journées d'été (température maximale > 25°C) -Nombre de nuits tropicales (température minimale > 20°C) -Nombre de jours anormalement chauds (température maximale supérieure de plus de 5°C à la normale) -Nombre de nuits anormalement chaudes (température minimale supérieure de plus de 5°C à la normale) -Nombre de jours de vague de chaleur (température maximale supérieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs) -Extrême froid de la température minimale -Extrême froid de la température maximale -Nombre de jours de gel -Nombre de jours sans dégel -Nombre de jours anormalement froids (température minimale inférieure de plus de 5°C à la normale) -Nombre de jours de vague de froid (température minimale inférieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs)	Locale, au point de grille 8x8 km	3/3
Précipitations ou anomalies de précipitations par rapport à la période de référence	Référence : 1976/2005 Horizons : proche, moyen et lointain	Année, saison, mois	-Précipitations quotidiennes -Précipitations moyennes les jours pluvieux -Cumul de précipitations -Nombre de jours de pluie (cumul >= 1 mm) -Nombre de jours de fortes précipitations (cumul >= 20 mm) -Nombre maximum de jours de pluie consécutifs (>= 1 mm) -Pourcentage des précipitations intenses -Période de sécheresse (< 1 mm)	Locale, au point de grille 8x8 km	3/3

Source : Climat HD

CLIMAT PASSÉ					
INDICATEURS	RECU / HORIZON	PÉRIODE	INDICES	ÉCHELLE GÉOGRAPHIQUE	PRIORITE
Températures	1959-2017	Année, saison	Moy, min, max	Départementale	3/3
Précipitations	1959-2017	Année, saison	Cumul	Locale	3/3
Journées chaudes	1959-2017	Année	Nombre	Locale	3/3
Jours de gel	1959-2017	Année	Nombre	Locale	3/3
Surface touchée par la sécheresse	1959=>2017	Année	%	Régionale	2/3
Cycle annuel d'humidité du sol	Comparaison 1961/1990 et 1981/2010	Mois	Moyennes et records	Régionale	2/3

Tableaux adaptés de CHAIX C. et SZERB P., 2019. Recensement et analyse des principaux services climatiques en Europe et en France utiles aux gestionnaires d'espaces naturels protégés. LIFE Natur'adapt – Rapport AGATE/CIEDEL. 32

Climat passé

Le climat passé dans ce document correspond au climat du début du XXème siècle à nos jours.

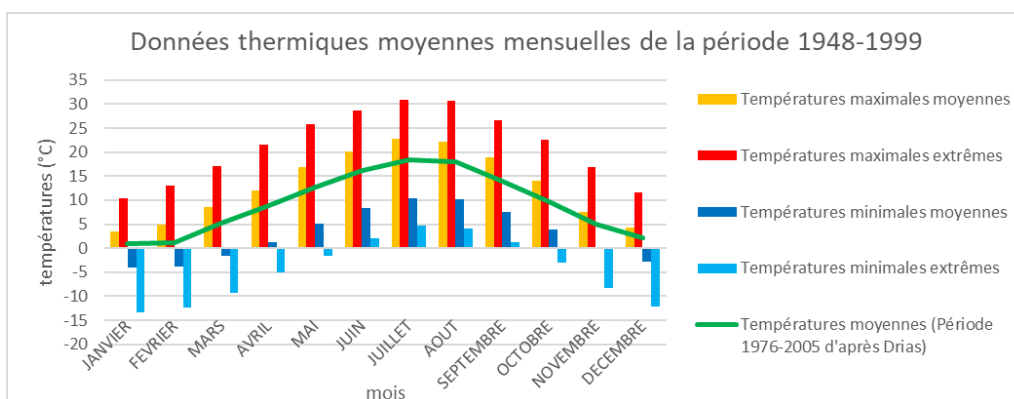
Les lacs de Gérardmer, Longemer et Retournemer se trouvent dans le massif des Vosges, en ex-région Lorraine. Cette région est caractérisée par un climat semi-continental, les étés sont chauds et les hivers rudes, avec un grand nombre de jours de neige ou de gel. La pluviométrie annuelle est relativement élevée due à l'effet orographique du massif qui accroche les nuages venus de l'atlantique. Les caractéristiques du climat local sont présentées ci-dessous.

Températures

Deux stations météo France existaient à Gérardmer et à Xonrupt-Longemer. Elles ont été depuis désactivées. Les données de températures entre 1948 et 1999 sont issues de Gérardmer.

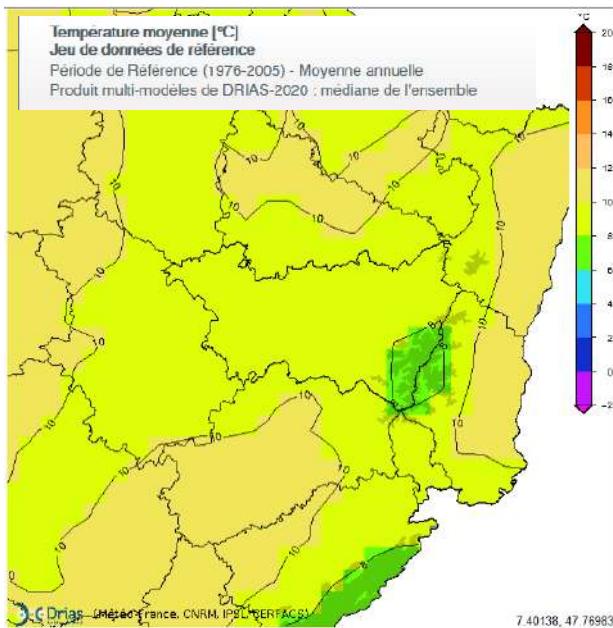
Tableau 2 Données climatologiques moyennes, températures ; (données météo-France Gérardmer)

GÉRARDMER					
Données climatologiques moyennes					
Période 1948-1999 (valeurs manquantes calculées)					
	Températures maximales moyennes	Températures maximales extrêmes	Températures moyennes (Période 1976-2005 d'après Drias)	Températures minimales moyennes	Températures minimales extrêmes
JANVIER	3,4	10,4	0,9	-4	-13,3
FEVRIER	5	13,1	1,24	-3,8	-12,4
MARS	8,5	17	5,16	-1,5	-9,3
AVRIL	12,1	21,6	8,79	1,3	-5
MAI	16,9	25,8	12,73	5,1	-1,6
JUIN	20,2	28,7	16,14	8,4	2,1
JUILLET	22,8	30,9	18,34	10,4	4,7
AOUT	22,1	30,6	18,06	10,1	4,1
SEPTEMBRE	18,9	26,6	14	7,6	1,3
OCTOBRE	14,1	22,5	9,66	3,8	-3
NOVEMBRE	7,6	16,9	4,92	-0,2	-8,3
DECEMBRE	4,3	11,6	2,09	-2,8	-12,1



Les températures à Gérardmer sur la période 1948 à 1999 montrent un écart de température important entre l'hiver et l'été, typique d'un climat tempéré à influence continentale.

Température moyenne annuelle



L'évolution de la température moyenne annuelle est un indicateur global sur l'évolution générale à l'année de la température. Cela donne de grosses zones qui ont des températures différentes. On distingue bien ici le massif du reste du département. Cela permet de comprendre rapidement le réchauffement des températures auquel on peut s'attendre.

Figure 6 Carte des températures moyennes annuelles sur la période de référence 1976-2005 pour le département des Vosges (DRIAS)

La température moyenne annuelle sur la période 1976-2005 est entre 8 et 10 °C sur quasiment l'ensemble du département des Vosges, excepté le massif qui lui a une température comprise entre 6 et 8°C.

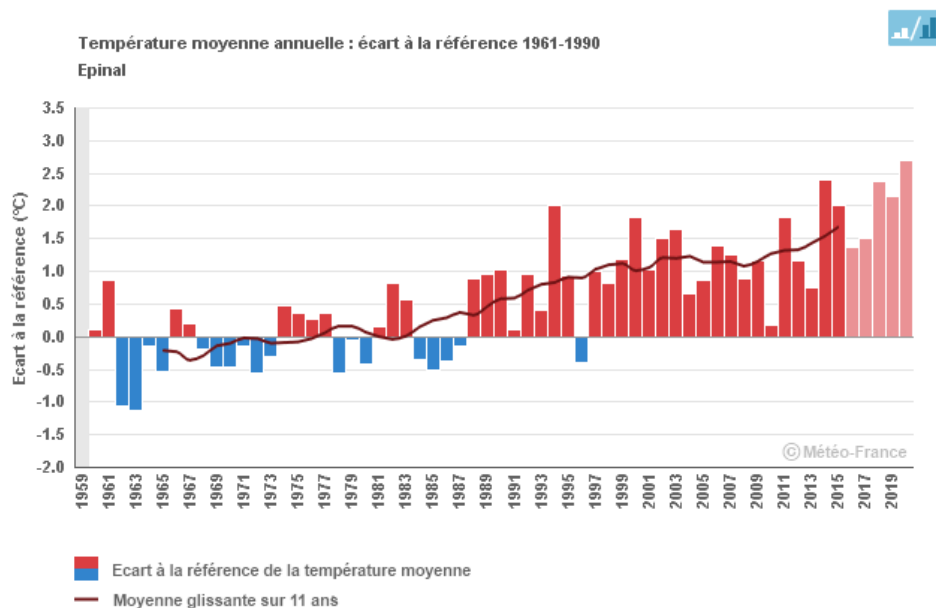


Figure 5 Histogramme de l'évolution de la température moyenne annuelle à Epinal de 1959 à 2019 (ClimatHD)

D'après ce graphique et l'analyse de météo-France sur l'évolution de la température annuelle moyenne, l'augmentation est de plus de **1.5°C** sur une période de 50 ans. Sur la période 1959-2009, la tendance observée sur les températures moyennes est d'un peu plus de **+0,3 °C par décennie**. Les trois années les plus chaudes depuis 1959 en Lorraine, 2014, 2018 et 2020, ont été observées au XXIe siècle.

Nombre annuel de journées chaudes

En Lorraine, le nombre annuel de journées chaudes (températures **maximales supérieures à 25°C**) varie d'une année sur l'autre. L'augmentation des températures de l'air est un des signes les plus visibles du changement climatique. L'évolution de cet indicateur est directement liée à celle de la température de l'air. Sur la période **1959-2009**, le nombre de journées chaudes est en augmentation. **Cette évolution est de l'ordre de 4 à 5 jours par décennie.**

« 2003, 2018 et 2020 sont les années ayant connu le plus grand nombre de journées chaudes. **2018** est une année record avec plus de **80 journées chaudes** observées dans la région. » @ClimatHD

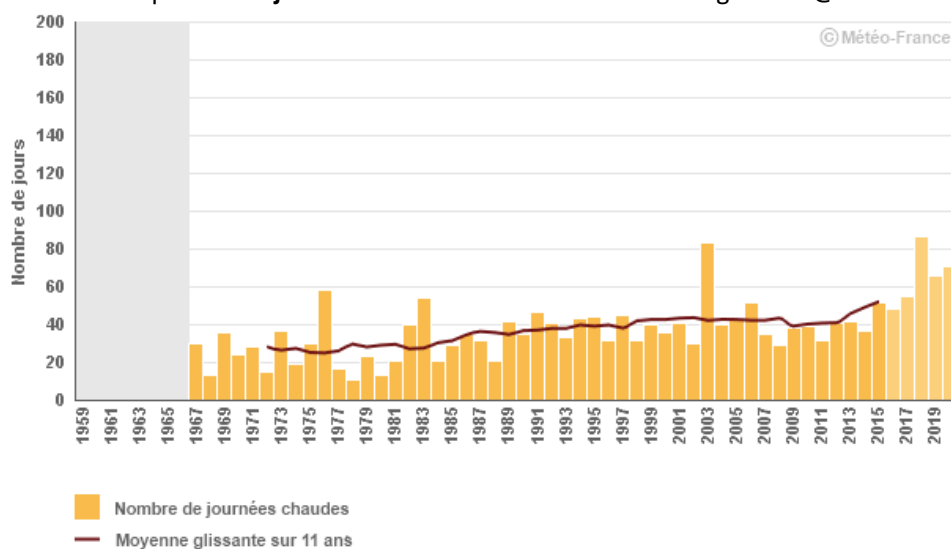


Figure 6 - Histogramme de l'évolution du nombre de journées chaudes à Nancy de 1959 à 2019 (climatHD)

Le nombre de journées chaudes sur la période 1976-2005 est de 5 jours sur le massif des Vosges, c'est un des endroits les moins soumis aux journées chaudes dans la région Grande Est.

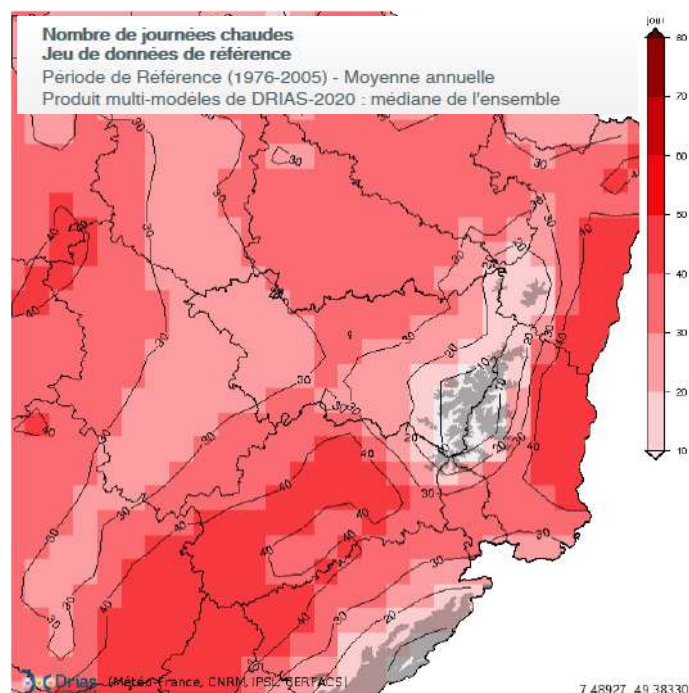


Figure 7 Carte du nombre de journée chaudes sur la période 1976-2005 dans les Vosges (DRIAS)

Vagues de chaleur

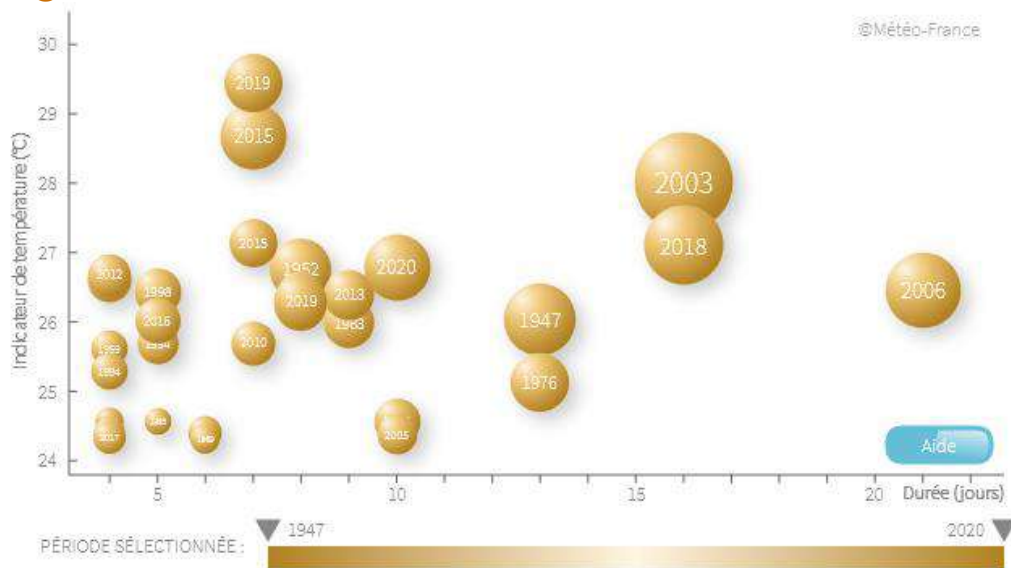
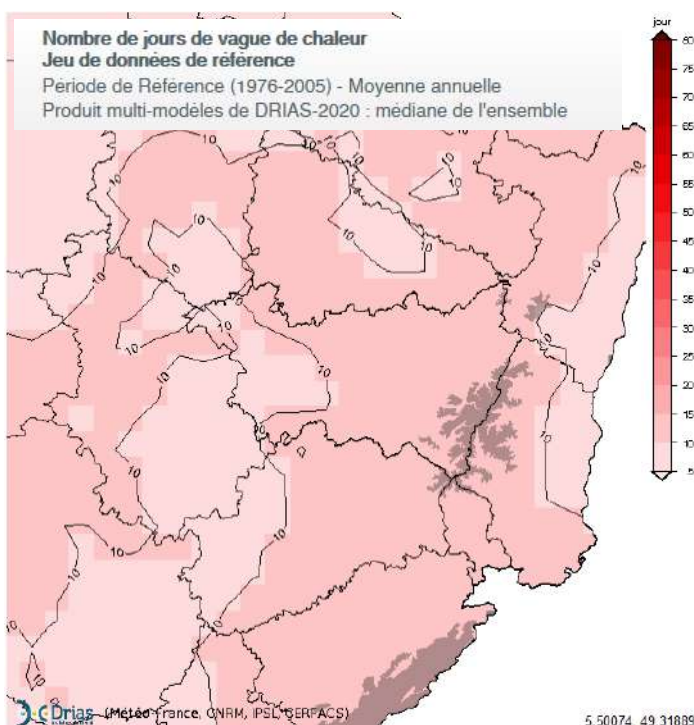


Figure 7 Graphique des vagues de chaleur en Lorraine de 1947 à 2020 (ClimatHD)

« Les vagues de chaleur recensées depuis 1947 en Lorraine ont été **sensiblement plus nombreuses au cours des dernières décennies**. Cette évolution se matérialise aussi par l'occurrence d'événements **plus sévères** (taille des bulles) ces dernières années. Ainsi, les trois vagues de chaleur les plus sévères se sont produites **après 2000**.

La canicule observée du 2 au 17 août 2003 est de loin la plus sévère survenue sur la région. Mais c'est durant l'épisode du 20 au 26 juillet 2019 qu'a été observée la journée la plus chaude depuis 1947. » @Climat HD

Le nombre de jours de vague de chaleur est de **11 jours** pour une grande majorité du département des



Vosges sur la période 1976-2005. Ce nombre correspond au nombre de jours où la température maximale est supérieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs.

Nombre annuel de journée de gel

Les jours de gel sont les jours où la température minimale passe sous la barre des 0°C. Le nombre de journée de gel est un indicateur important pour les écosystèmes en général. Beaucoup de processus biologique ont besoin de ces jours de gel pour avoir lieu, c'est notamment le cas de certains végétaux avec la vernalisation.

« En Lorraine, le nombre annuel de jours de gel est très variable d'une année sur l'autre. En cohérence avec l'augmentation des températures, le **nombre annuel de jours de gel diminue**. Sur la période **1961-2010**, la tendance observée en Lorraine est de l'ordre **-3 à -4 jours par décennie**.

2000 et 2014 ont été les années les moins gélives observées depuis 1959. » @ClimatHD

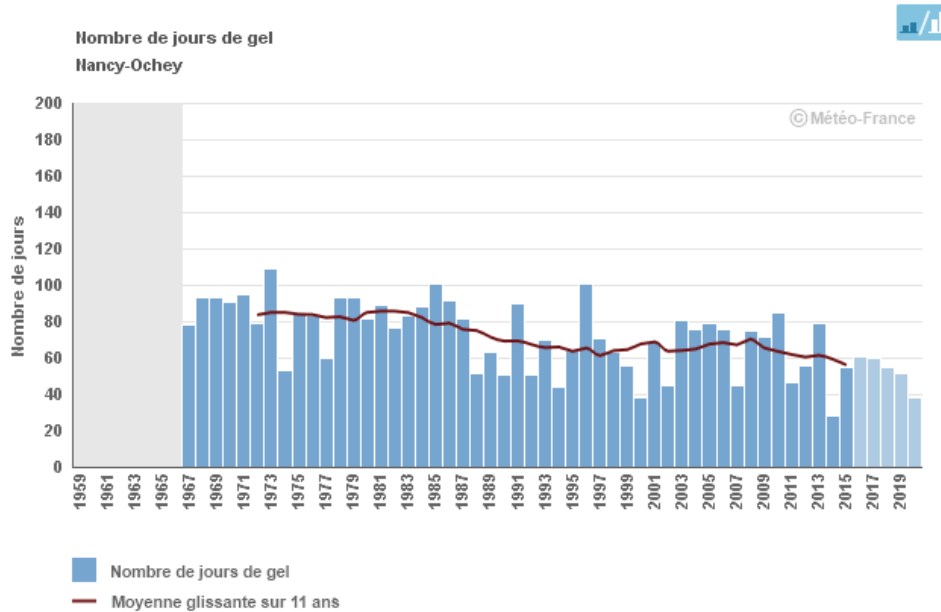


Figure 8 Histogramme de l'évolution du nombre de jour de gel annuel entre 1967 et 2019 à Nancy (ClimatHD)

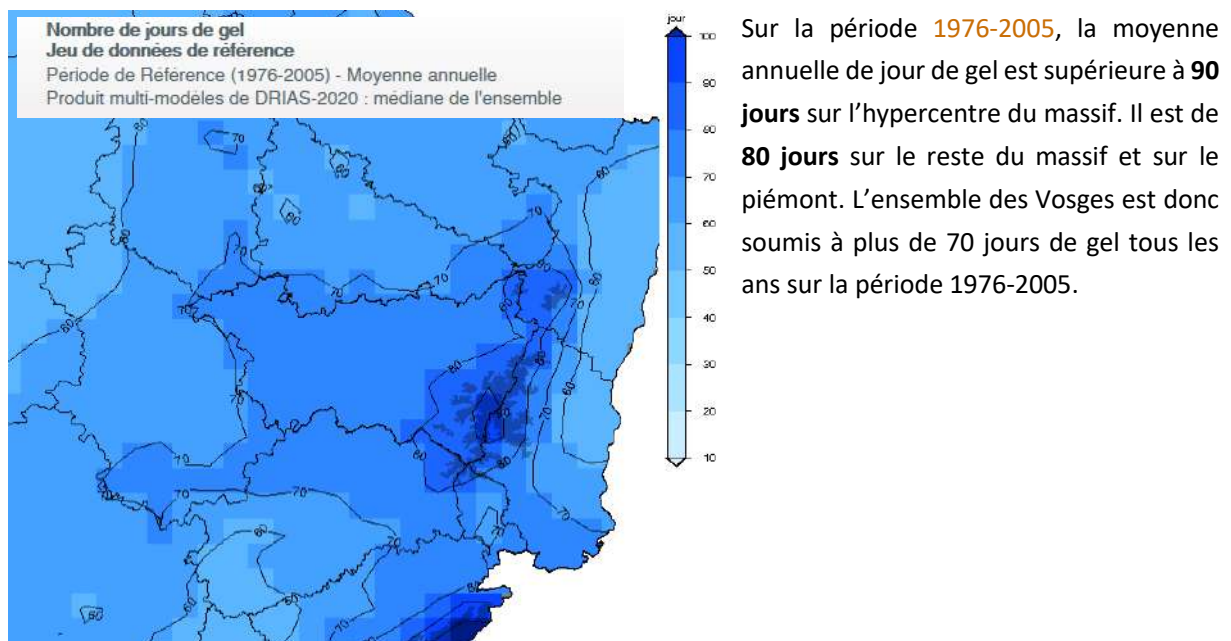


Figure 9 Carte du nombre de jours annuel moyen dans les Vosges sur la période 1976 à 2005 (DRIAS)

Vagues de froid

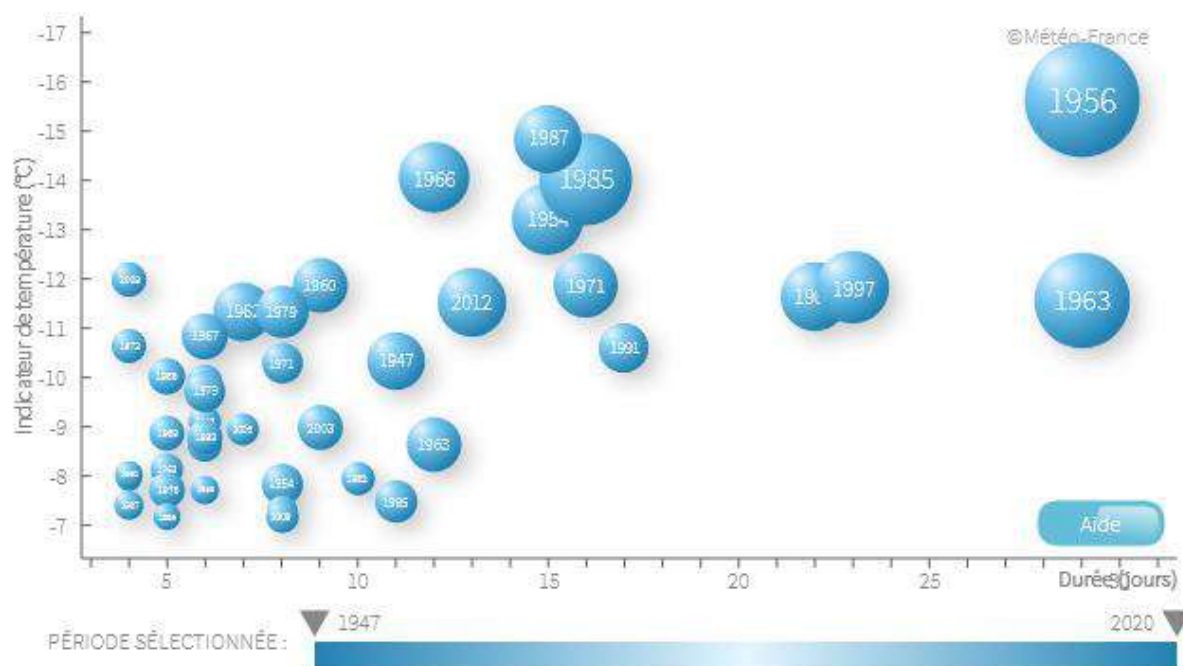


Figure 10 Graphique des vagues de froid en Lorraine de 1947 à 2020 (ClimatHD)

« Les vagues de froid recensées depuis 1947 en Lorraine ont été **moins nombreuses au cours des dernières décennies**. Cette évolution est encore plus marquée depuis le début du XXIe siècle, les épisodes devenant progressivement **moins intenses** (indicateur de température) et **moins sévères** (taille des bulles). Ainsi, les sept vagues de froid les plus longues, les quatre les plus intenses et les trois les plus sévères se sont produites **avant 2000**.

La vague de froid observée du 31 janvier au 28 février 1956 est de loin la plus sévère survenue sur la région. C'est aussi durant cet épisode qu'a été observée la journée la plus froide depuis 1947. » @ClimatHD

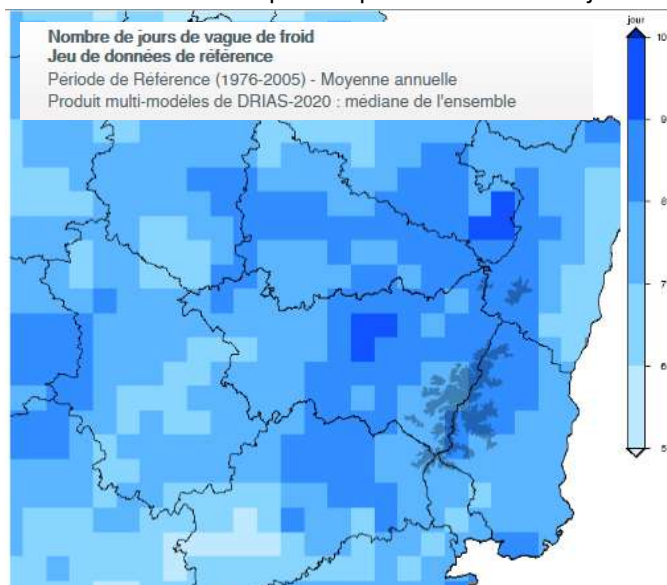


Figure 11 Carte du nombre de jour de vague de froid dans les Vosges sur la période 1976 à 2005 (DRIAS)

Avec DRIAS le nombre de jour de vague de froid correspond à la température minimale inférieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs.

Le nombre moyen annuel de jours en vague de froid est **entre 7 et 8 sur le massif** sur la période de référence 1976-2005.

Températures moyennes de surfaces des lacs

Source : T.Hingray, Suivi Ecologique lacs 2019.

Le pôle ECLA (écosystèmes lacustres de l'Office Français de la Biodiversité) a réalisé une première extraction des résultats pour les lacs de Gérardmer et Longemer sur la période 1984-2019. Les schémas ci-dessous sont deux exemples de rendus, l'un pour le lac de Gérardmer et l'autre pour le lac de Longemer. Ils présentent tous les deux la température de l'eau de surface à une date précise.

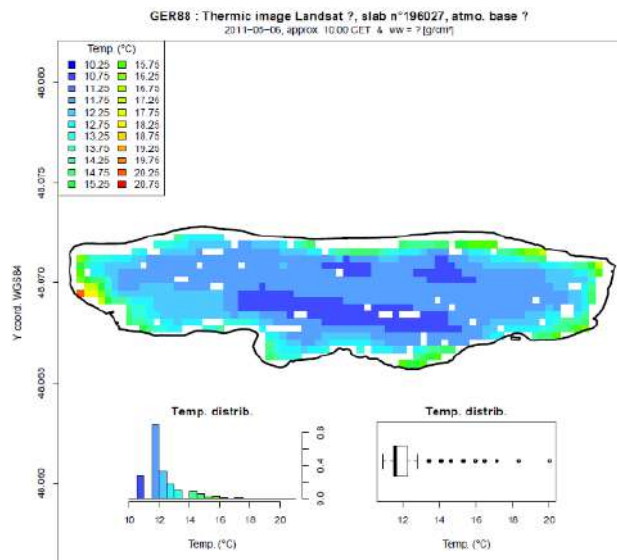


Figure 9 Carte des températures de surface du lac de Gérardmer au 6 mai 2011 (OFB)

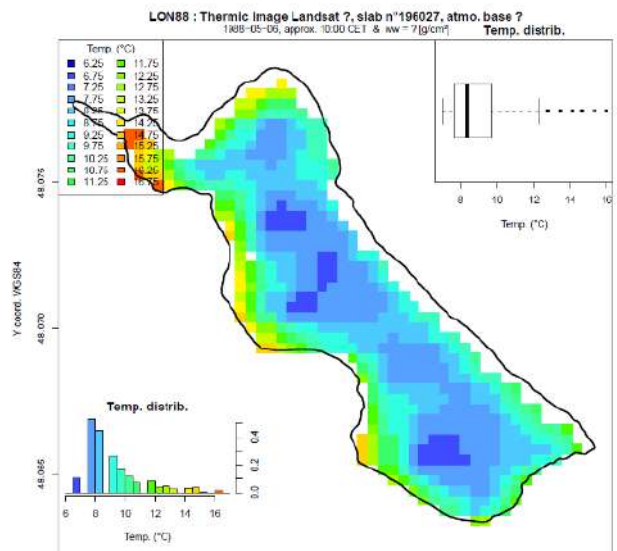


Figure 8 Carte des températures de surface du lac de Longemer au 6 mai 1988 (OFB)

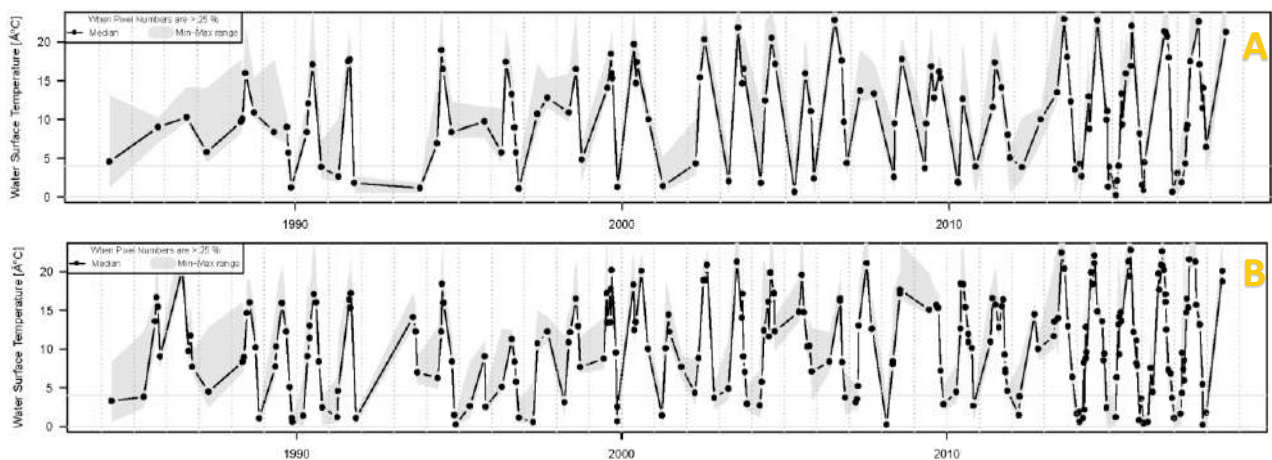


Figure 14 : Chronique des températures de surface moyenne sur les lacs de Gérardmer (A) et Longemer (B) / pour minimiser les erreurs, les valeurs moyennes ont été retenues que si le nombre de pixel des cartes ci-dessus dépasse les 25 % de la surface des lacs (OFB)

Il existe entre 5 et 10 cartes environ par année. Toutes les cartes ne présentent pas autant de pixels colorés (estimation d'une température correcte) que les exemples ci-dessous. Certaines cartes contiennent beaucoup de pixels blancs qui représentent une mauvaise qualité de l'image satellite qui ne permet pas de réaliser le calcul de la température de surface de l'eau. Les températures moyennes de l'eau de surface ont été calculées par ces mêmes auteurs sur la période même 1984-2019. Chaque carte exploitable donne lieu à un point sur les graphiques suivants. Une évolution diachronique des températures de surface est alors possible sur les 30 dernières années.

D'après une simple analyse descriptive des résultats sur les deux lacs, il est possible d'observer que :

- Jusque dans les années 2000, la température moyenne de surface des lacs en été s'échelonnait autour des 17°C ;
- De 2000 à 2007, la température moyenne des lacs a connu des pics de chaleur au-delà des 20 °C certains étés ;
- De 2008 à 2012, les températures moyennes en été se sont stabilisées autour des 17 °C ;
- À partir de 2013, les températures moyennes dépassent les 20 °C de moyenne tous les étés.

Certaines années les calculs de température n'ont pas été possibles, notamment sur la période 1988-1995 dû à la date/fréquence des prises d'informations satellitaires. Même s'il existe des biais d'analyse, il est clair que **depuis 1988, la température moyenne des lacs en été est en augmentation**. Il existe bien entendu quelques contre-exemples de fortes températures au début des années 2000, mais c'est la répétition, la constance, de ces températures de surface élevées qui montre une tendance à l'augmentation. D'après ces estimations, **une augmentation de presque 5 °C** a eu lieu sur les deux lacs.

Cette première approche descriptive met en lumière des conséquences locales du réchauffement climatique. Toutefois, ce paramètre n'apporte que peu d'informations sur le fonctionnement de la masse d'eau.

Températures de la colonne d'eau des lacs

Pour compléter et réellement comprendre quels sont les conséquences du réchauffement climatique sur le fonctionnement des lacs, le Conservatoire d'Espaces Naturels de Lorraine (CENL) a mis en place en 2021 le suivi des températures de la colonne d'eau des trois lacs naturels vosgiens (Gérardmer, Longemer et Retourner). Ce protocole est celui proposé par le pôle ÉCosystèmes LAcustres de l'Office Français de la Biodiversité et qui est mis en place notamment dans le réseau lacs sentinelles.

Voici les résultats de l'état initial qui ne permettent pas à l'heure actuelle d'éclairer les effets à long terme du changement climatique sur le fonctionnement de ces lacs, notamment au niveau des mélanges qui sont conditionnés par la température extérieure et la température de l'eau. Ces mélanges sont essentiels à la distribution de l'oxygène dissous qui est indispensable à la vie aérobie dans le lac. Ceux-ci évitent la mobilisation des polluants stockés dans les sédiments. La température en elle-même est très importante car chaque être vivant a une température de vie dite idéale. La tolérance des espèces, face aux écarts de température et donc au changement climatique, n'est pas identique. Il s'agit de la température d'acclimatation. Le changement climatique affecte plus les espèces ectothermes du fait de leur typicité de thermorégulation. Un organisme ectotherme ne produit pas de chaleur : son écologie et sa physiologie vont directement dépendre de la température de son environnement. Sa température corporelle varie avec celle de leur environnement. À l'inverse, un organisme endotherme a une température corporelle constante, même si la température du milieu extérieur varie. Il y a donc deux paramètres : la tolérance de l'espèce et la durée d'exposition aux variations. Les températures varient beaucoup selon les espèces : certaines (animaux sténothermes) ne peuvent vivre que dans une gamme restreinte de températures ; d'autres, au contraire (animaux eurythermes), subissent sans dommage de grandes variations. La sensibilité d'un animal varie selon son stade de développement ainsi que selon la température à laquelle il est élevé, appelée température d'acclimatation. Dans la définition des températures extrêmes supportées, il convient de plus de distinguer les températures auxquelles le cycle de développement de l'animal peut se dérouler, et celles qui ne permettent que sa survie. Dans le second cas, la détermination de la température létale implique de fixer arbitrairement un paramètre supplémentaire, qui est le temps d'exposition à cette température : ainsi, une forte température peut être supportable pendant quelques minutes, mais mortelle après plusieurs heures.

Sur les graphiques ci-dessous chaque courbe en couleur représente l'enregistrement des températures toutes les heures à une profondeur donnée. Il y a 17 sondes enregistrées sur le lac de Gérardmer de 50 cm sous la surface à 35 m ; 16 sondes enregistrées sur le lac de Longemer profond de 32 m et 7 sondes sur le lac de Retournemer profond de 11 m.

En été la sonde la plus proche de la surface (celle du dessus en bleu marine) enregistre des températures plus chaudes que le reste de la colonne d'eau. En hiver, cette sonde va être soumise au froid extérieur intense et peut-être au gel de cette couche d'eau. La sonde du fond du lac connaîtra une relative stabilité due à l'éloignement de la surface.

Plus les courbes des différentes sondes sont espacées plus les températures sont différentes et montrent une stratification importante des couches d'eau. Si les courbes se rejoignent et se confondent alors la température est identique sur la profondeur de ces couches. Si toutes les courbes ou une partie de celles-ci se rejoignent, on assiste à un mélange des couches d'eau au sein du lac.

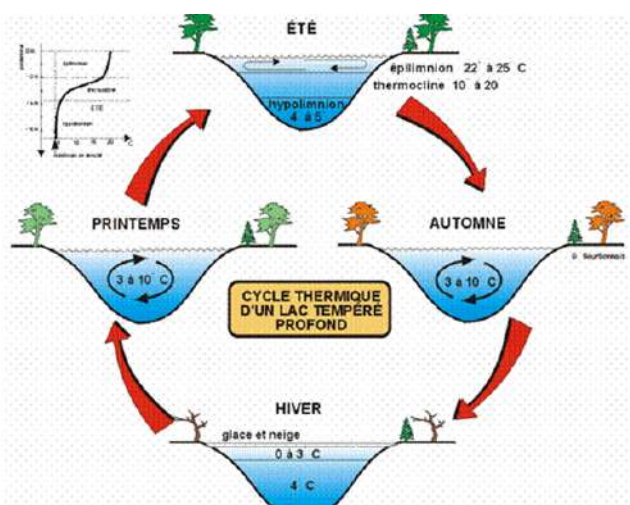


Figure 15 schémas des mélanges bi annuels dans un lac tempéré profond (Gilles Bourdonnais)

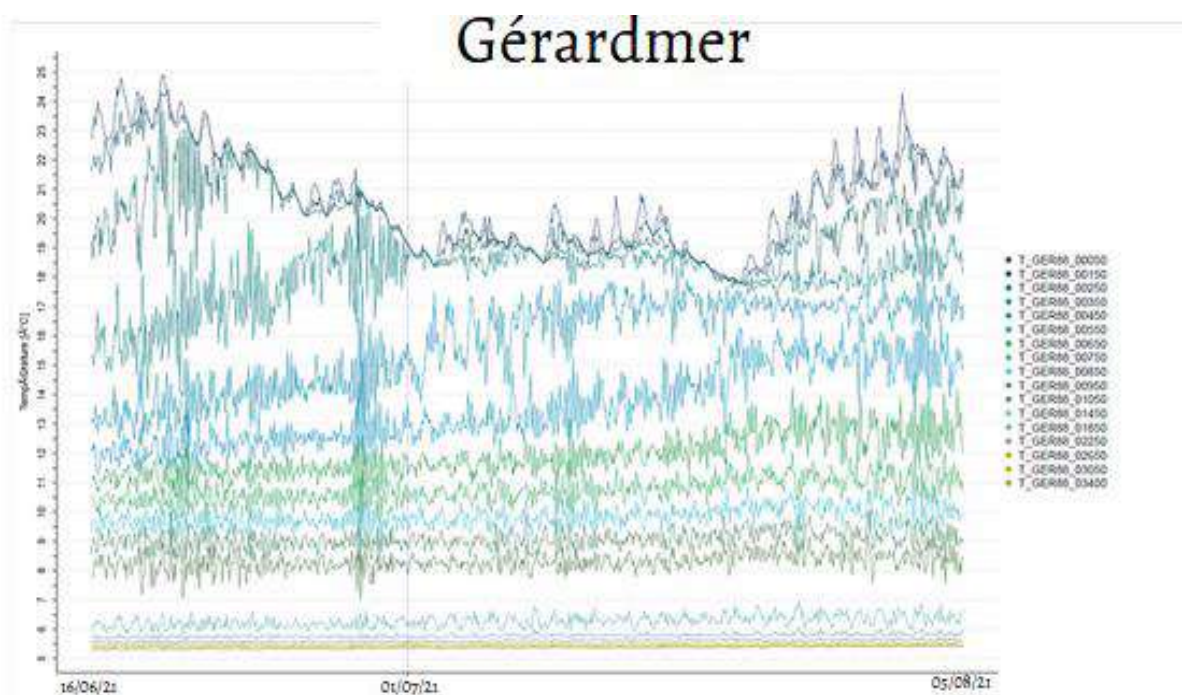


Figure 16 Températures de la colonne d'eau du 16/06/2021 au 03/08/2021 dans le lac de Gérardmer

Des mélanges incomplets sont perceptibles sur le graphique de l'évolution des températures de la colonne d'eau de Gérardmer du 16 juin au 7 août 2021. Ces mélanges incomplets ont lieu jusqu'à 3m50 en dessous de la surface.

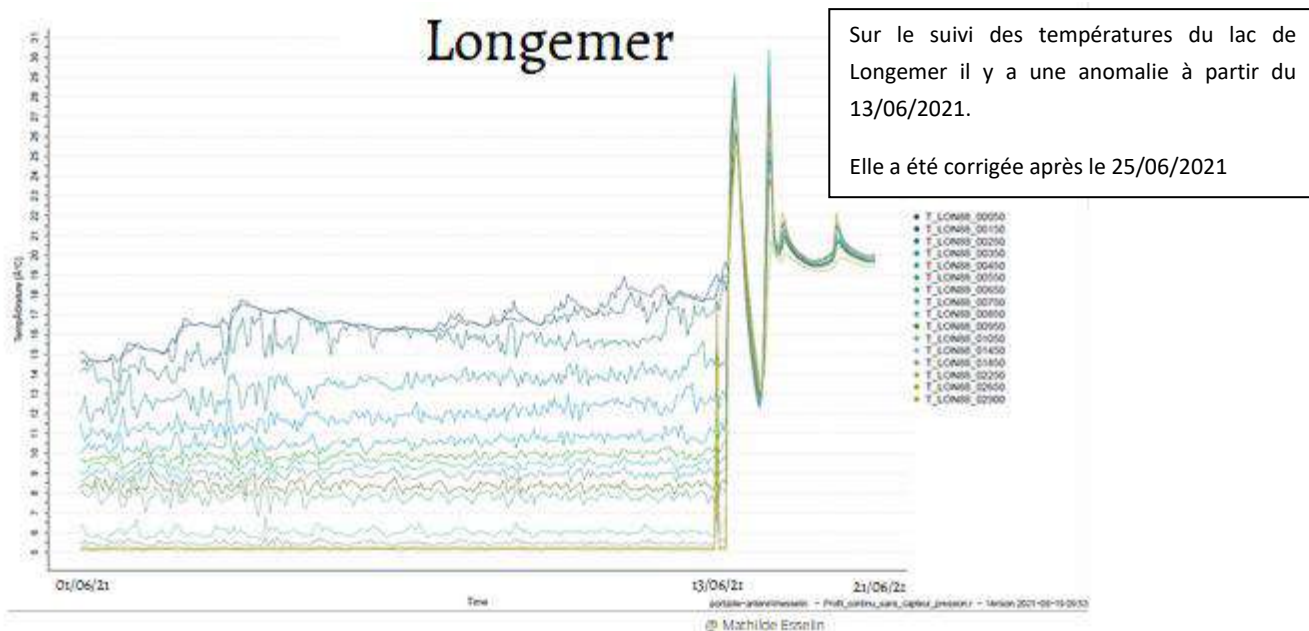


Figure 17 Températures de la colonne d'eau du 01/06/2021 au 23/06/2021 dans le lac de Longemer

Pour le lac de Longemer, un problème technique est survenu 10 jours après la pose du dispositif. On peut tout de même voir que les températures de surface sont assez similaires de 50 cm sous la surface à 2m50 sous la surface pendant cette période.

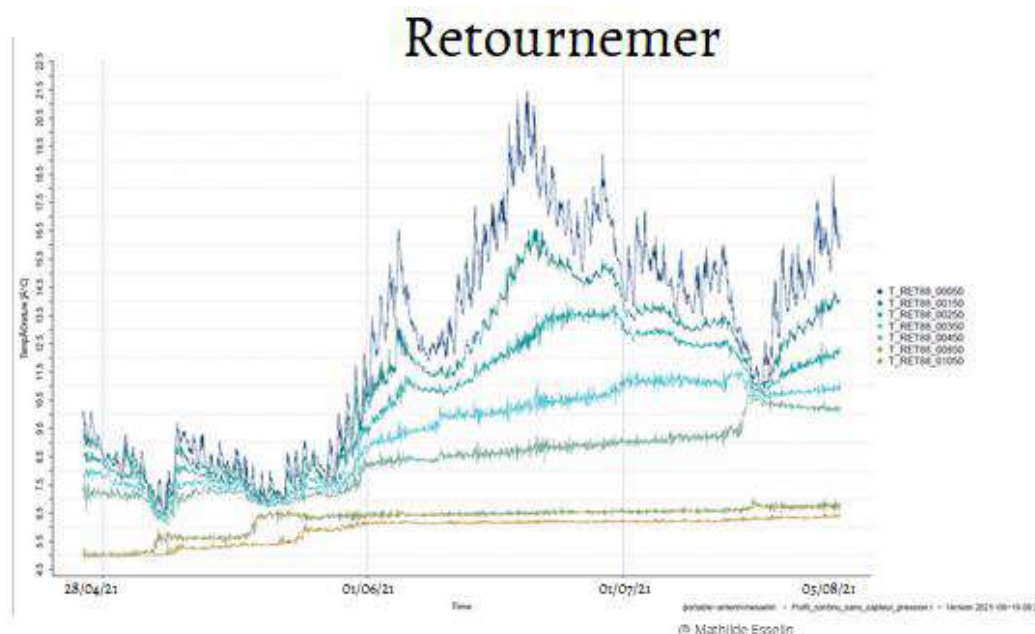


Figure 18 Températures de la colonne d'eau du 28/04/2021 au 01/08/2021 dans le lac de Retournemer

Sur le lac de Retournemer, l'évolution des températures est plus importante. Entre le 28 avril et le 1^{er} juin 2021 deux mélanges partiels ont lieu. Un autre mélange partiel a lieu le 16 juillet. Ces mélanges n'étaient pas « attendus » du fait de la relative stabilité de l'été. Néanmoins, l'été 2021 a été très pluvieux et nous

n'avons pas eu de grosses chaleurs. Les eaux ont donc été refroidies par les eaux de pluie qui arrivent en quantité dans le bassin versant de Retournermer.

Ces résultats pour être indicatif doivent être étudiés dans le long terme, il apporte aujourd'hui un éclairage sur ce qui se passe actuellement dans les lacs et comment ils réagissent à l'année en cours. C'est une sorte d'état zéro. A posteriori, une tendance pourra peut-être se dégager de ces résultats. Le réchauffement des eaux du lac peut se faire sur une durée plus importante sur la période de stratification en été (période stratifiée et donc sans mélange complet de mai à fin octobre au lieu de mi-juin à fin septembre comme on connaît la durée des étés actuellement. Les mélanges sont plus espacés dûs à la période chaude rallongée. L'efficacité des mélanges peut aussi être remise en compte si les températures à l'automne ne baissent pas suffisamment. Si l'air n'est pas assez froid pour refroidir correctement la première couche d'eau du lac alors le mélange aura moins de force et les couches du fond risquent de ne pas être mélangées. Ce qui pose des problèmes importants d'anoxie du lac et qui déclenchent des processus de remobilisation des polluants stockés dans les sédiments et de création de méthane due à l'activité des bactéries anaérobies méthanogènes. Ces conditions peuvent également être propices à la prolifération de cyanobactéries.

Précipitations

Les précipitations sont des données extrêmement importantes dans la caractérisation du climat local. Elles sont d'autant plus essentielles qu'elles conditionnent l'apport en eau sur les bassins versants et dans les lacs. Il se pose alors la question de comment les précipitations sont réparties dans l'année et entre les années entre elles. Pour les précipitations, nous disposons des données mensuelles de 1948 à 1999 fournies par la station météo-France de Gérardmer. Ces données comprennent l'enneigement.

Tableau 3 cumul mensuel des précipitations à Gérardmer de 1948 à 1999 (station météo France de Gérardmer)

GÉRARDMER		
Données climatologiques moyennes		
Période 1948-1999 (valeurs manquantes calculées)		
	Précipitations	Nombre de jour de précipitation
Janvier	168.7	17.9
Février	145.7	15.6
Mars	134.4	16.8
Avril	120.5	16.4
Mai	126.2	17.7
Juin	131.0	16.2
Juillet	122.8	14.0
Août	128.9	14.7
Septembre	130.3	14.1
Octobre	133.8	14.4
Novembre	181.9	16.5
Décembre	190.8	17
Total	1712	188,3

Le maximum des précipitations est atteint en novembre et décembre. Décembre et janvier sont les mois où il y a le plus grand nombre de jours de précipitation. Les mois les plus secs sont avril, juillet et mai. Juillet est le mois où il y a le moins de jour de précipitations. Ces précipitations se font à l'occasion d'épisode orageux.

Dans le graphique suivant nous avons rajouté les données de 2000 à 2009 qui proviennent de la station météo France mais pour lesquels nous n'avons pas les données mensuelles. Ainsi que les données de 2010 à 2013 que nous avons récupérés sur les bulletins départementaux et régionaux de météo France (données des stations de Longemer, de Gérardmer ou de La Bresse).

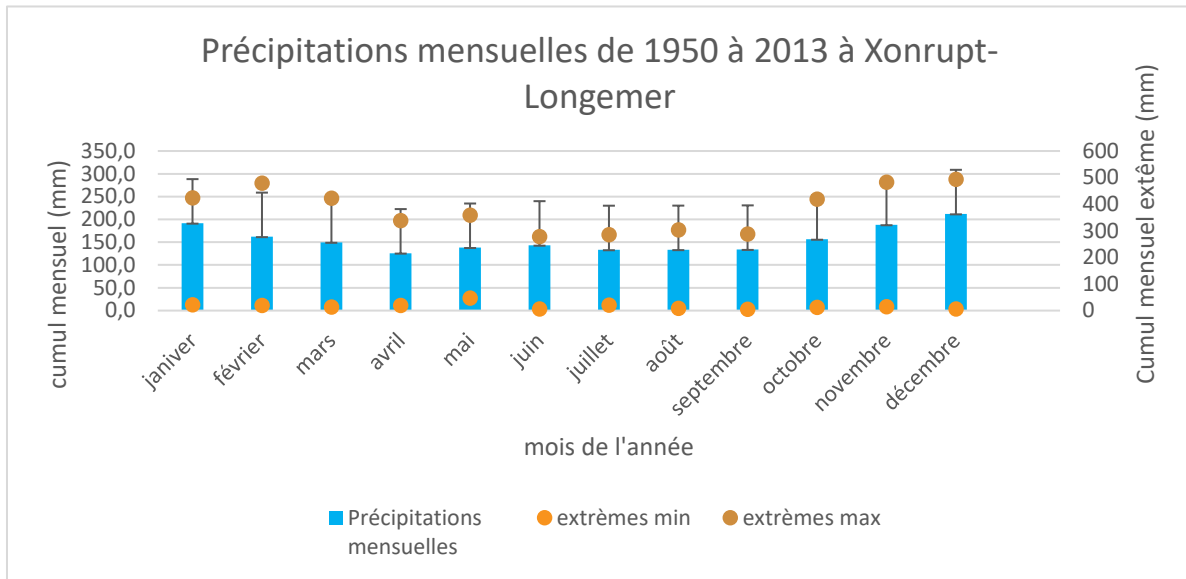


Figure 19 Histogramme des précipitations mensuelles (pluie et neige) à Xonrupt-Longemer de 1950 à 2013 (station météo France de Xonrupt-Longemer)

Les écarts types définis par les valeurs extrêmes indiquent qu'il y a peu de différences entre chaque mois. Les extrêmes minimums sont très bas (5,1 mm de précipitations en septembre 1959). La validité des données n'est pas vérifiable mais celle-ci proviennent d'une station météo France. Ces extrêmes ne sont pas constatés la même année ce qui enlève la possibilité d'un problème sur une année.

On note un pic hivernal, caractéristique du climat océanique, suivi par un pic estival moins prononcé, caractéristique atténuée de continentalité. On n'observe pas de manière significative de variabilité mensuelle entre 1950 à 2013. Les extrêmes sont davantage expliqués du fait des variations annuelles. Les précipitations annuelles augmentent sur les périodes 1950 et 2013. Plus récemment on observe une faible

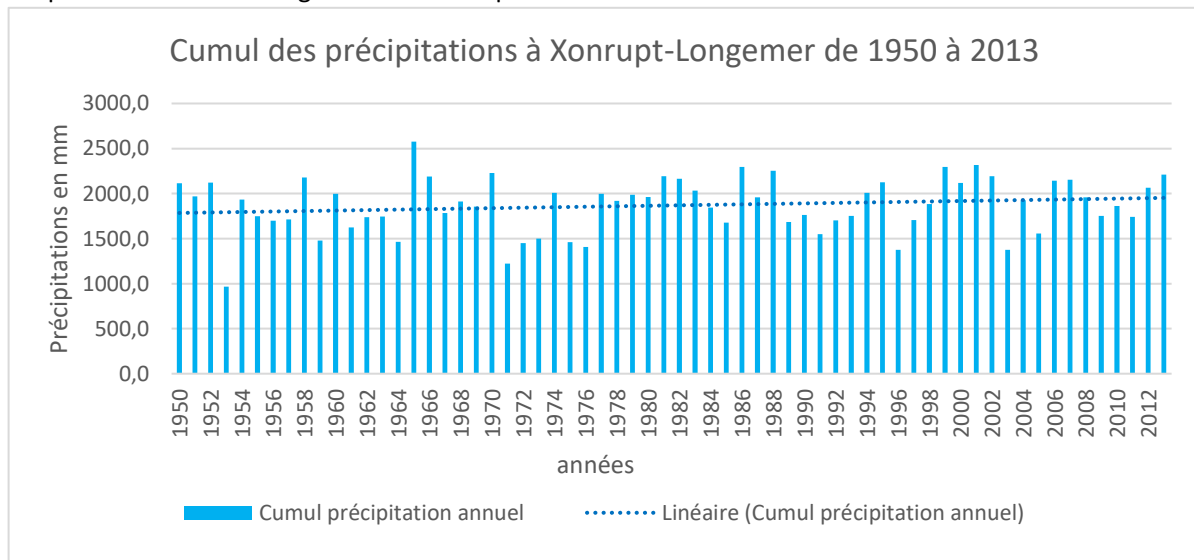


Figure 20 Cumul annuel des précipitations à Xonrupt-Longemer de 1950 à 2013 (station météo France de Xonrupt-Longemer)

augmentation des précipitations, les années sont très hétérogènes, on observe des années très sèches comme 2018 et 2019. Néanmoins la tendance annuelle est à l'augmentation.

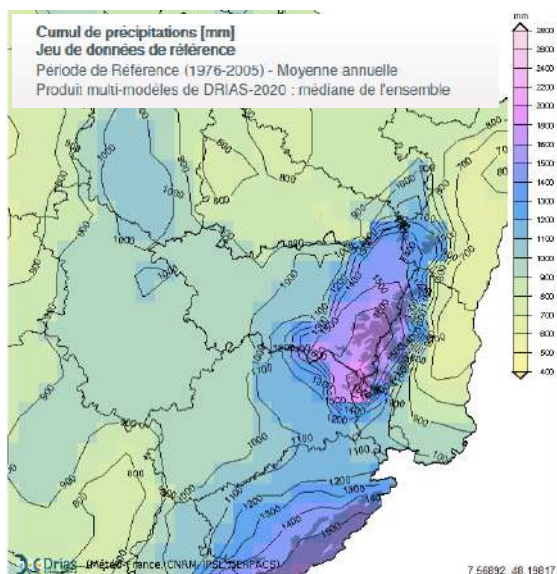


Figure 11 Carte du cumul de précipitations en mm pendant la période de référence sur le département des Vosges (DRIAS)

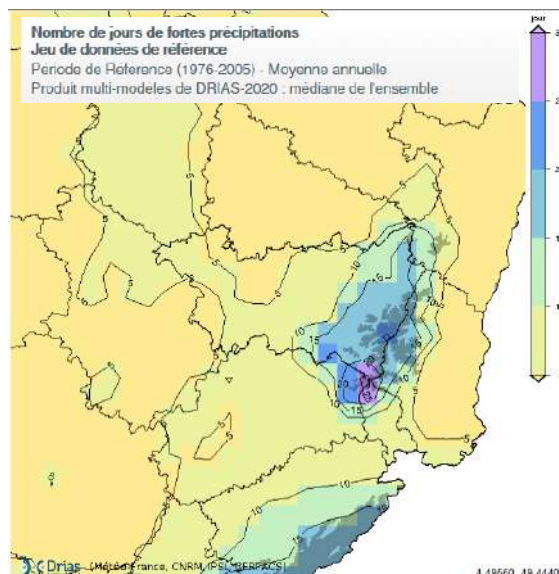
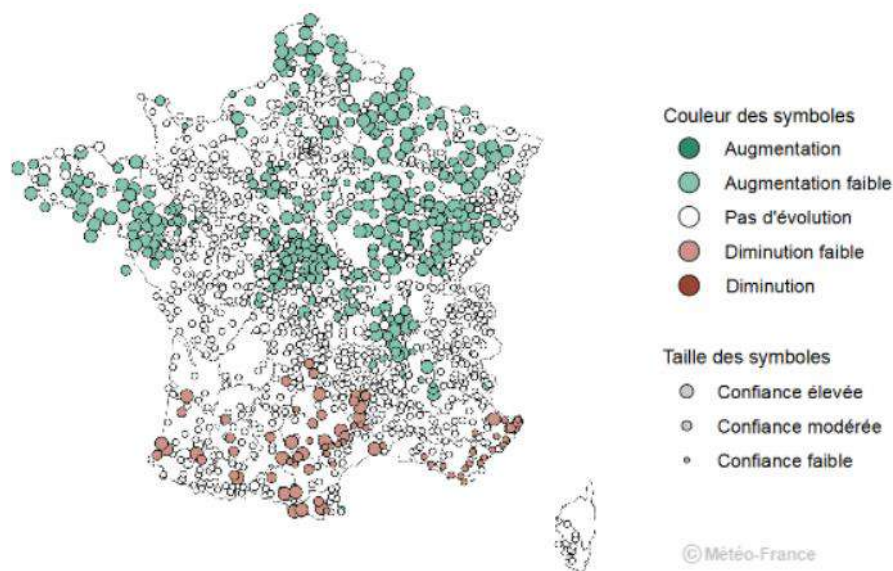


Figure 102 Carte du nombre de jours de fortes précipitations (>20 mm) pendant la période de référence sur le département des Vosges (DRIAS)

Le cumul annuel des précipitations sur la période 1976-2005 est de 1622.8 mm sur les communes de Gérardmer et Xonrupt-Longemer. Le nombre de jours de forte pluie (cumul de la journée supérieure ou égale à 20mm) est 18 et 19 jours sur ces communes.

Evolution observée du cumul annuel sur la période 1961-2012



A l'échelle de la France, les précipitations annuelles ne présentent pas d'évolution marquée depuis 1961. Elles sont toutefois caractérisées par une nette disparité avec une augmentation sur une grande moitié Nord (surtout le quart Nord-Est) et une baisse au sud.

Figure 23 Evolution du cumul annuel sur la période 1961-2012 ; ClimatHD Météo France

Dans les Vosges, cette augmentation des précipitations entre 1961 et 2021 est marquée en été et en automne.

Les lacs sont très dépendants en eau, ils sont en tête de bassin de la Vologne. Au-delà de la quantité annuelle tombée, la répartition des pluies est très importante notamment en période estivale où l'évaporation et l'évapotranspiration sont plus importantes et la demande en eau plus forte du fait de la population des communes qui augmente. Les précipitations hivernales sont également très conséquentes, puisque, si elles sont sous forme de neige, elles se stockent. La quantité d'eau arrivant au lac est donc plus tardive. La fonte des neiges au printemps restitue cette quantité d'eau. Elle est d'autant plus importante que le printemps peut-être sec. Il est donc important pour les lacs d'avoir cette arrivée printanière d'eau issue de la neige, qui permet de les recharger et de supporter les printemps et étés plus chauds et secs.

Enneigement

Les données suivantes sont fournies par Pierre Marie DAVID de l'association Niv'ose depuis 1976. Les données sont récoltées sur le site du Haut-Chitelet, source de la Vologne, sur la commune de Xonrupt-Longemer à 1200 m d'altitude. Il s'agit d'un point haut pour le bassin versant du lac de Retournemer. Cette station dans la partie supérieure du massif puisque l'altitude maximum du massif de Vosges est de 1 424 m côté alsacien (Grand Ballon) et de 1363m pour le massif du côté vosgien (Hohneck).

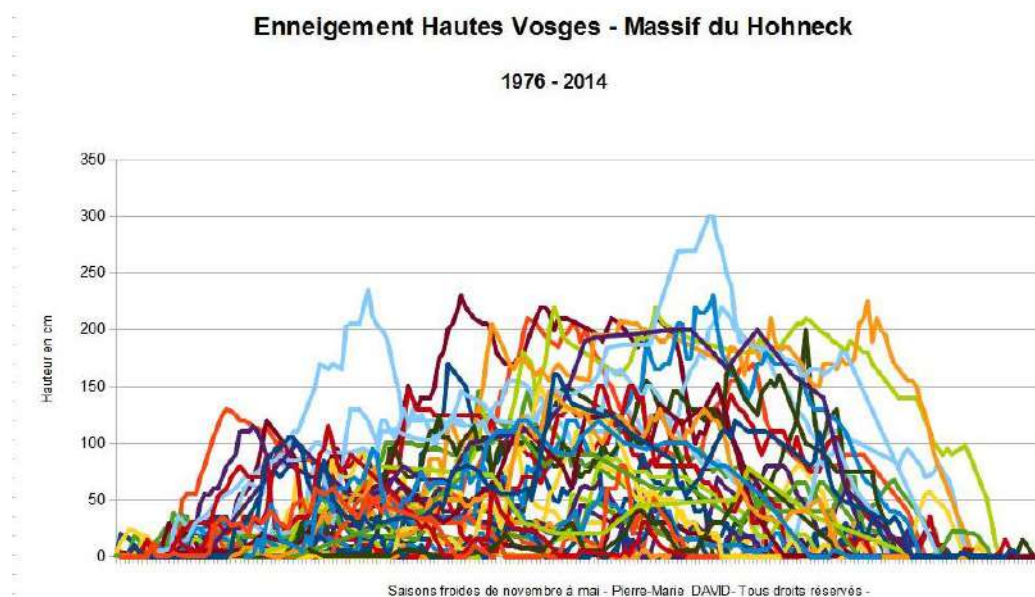
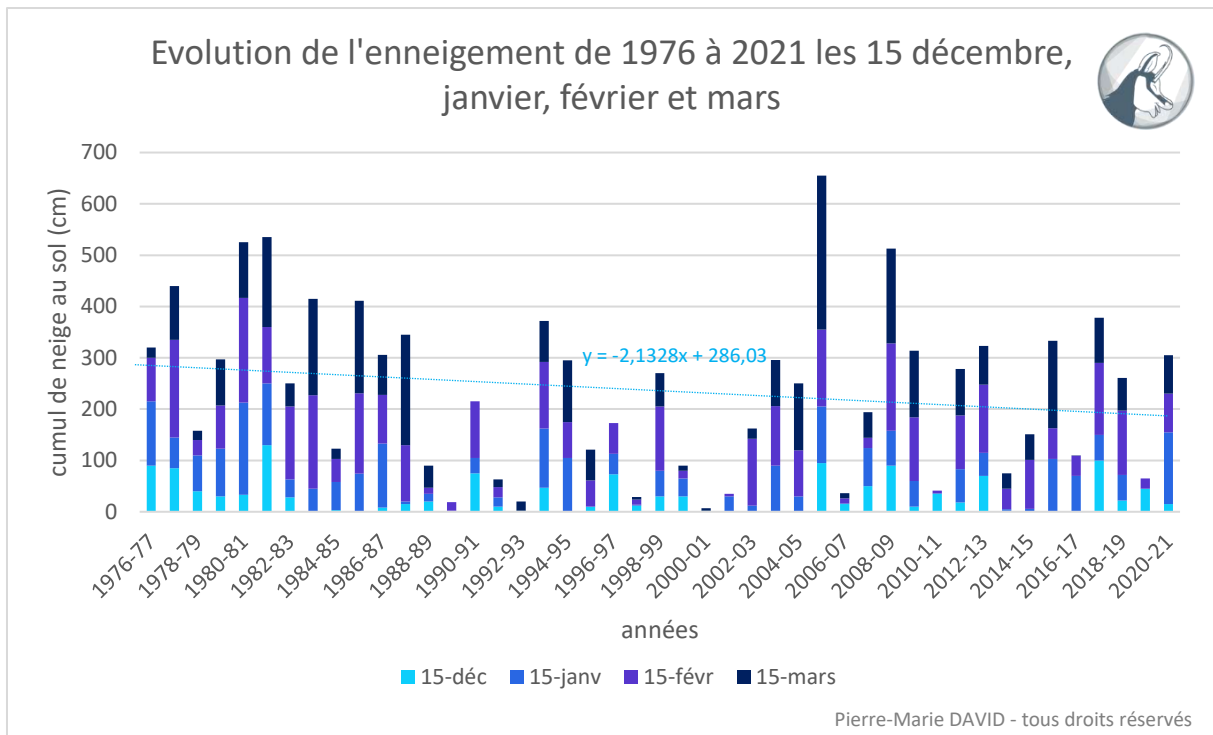


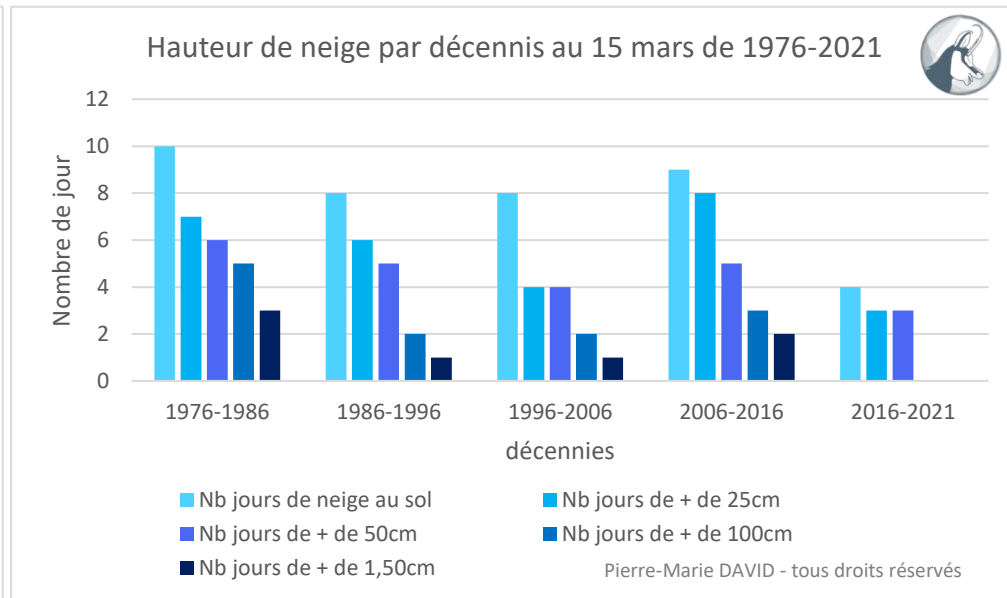
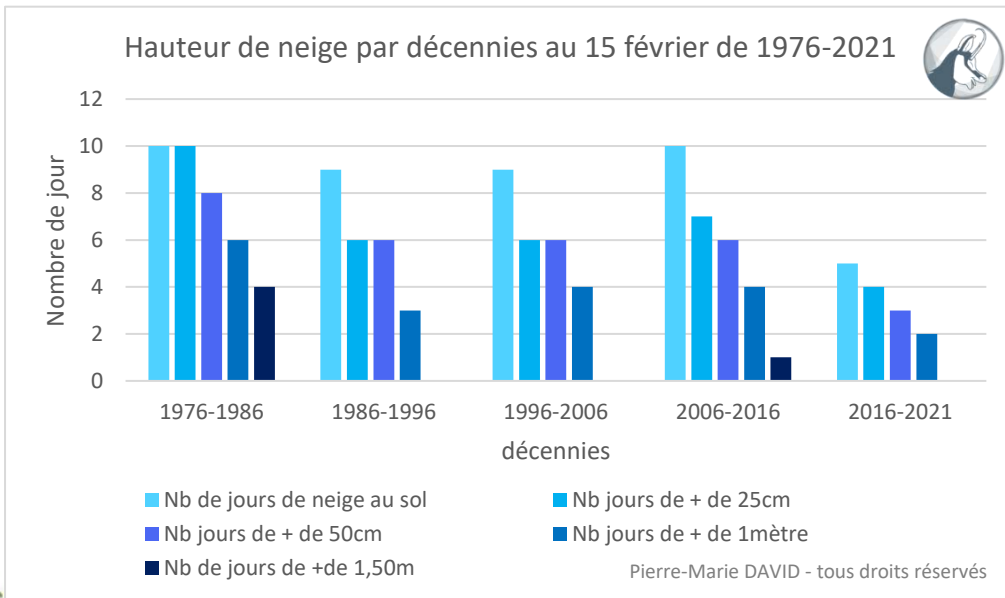
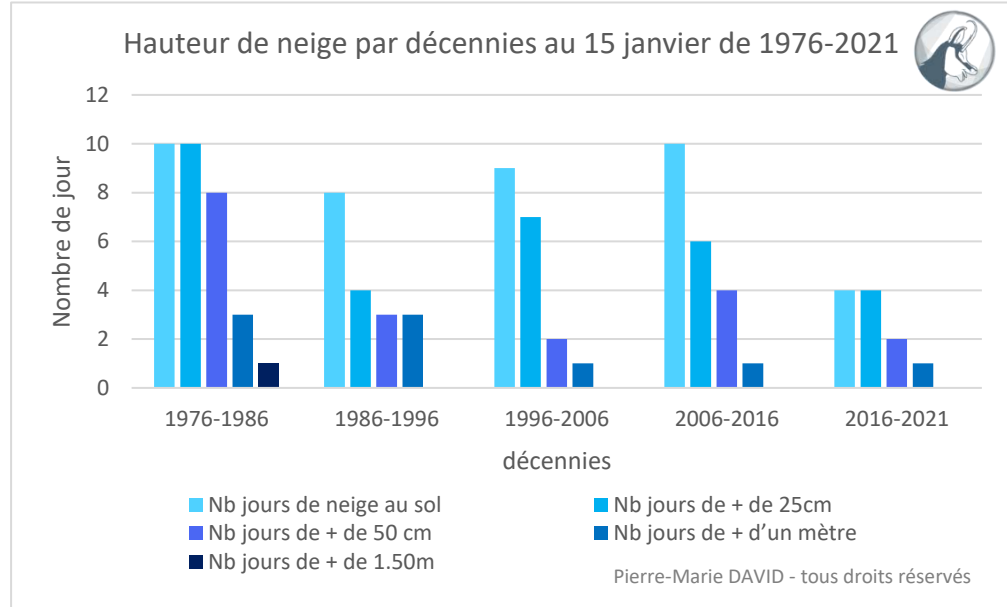
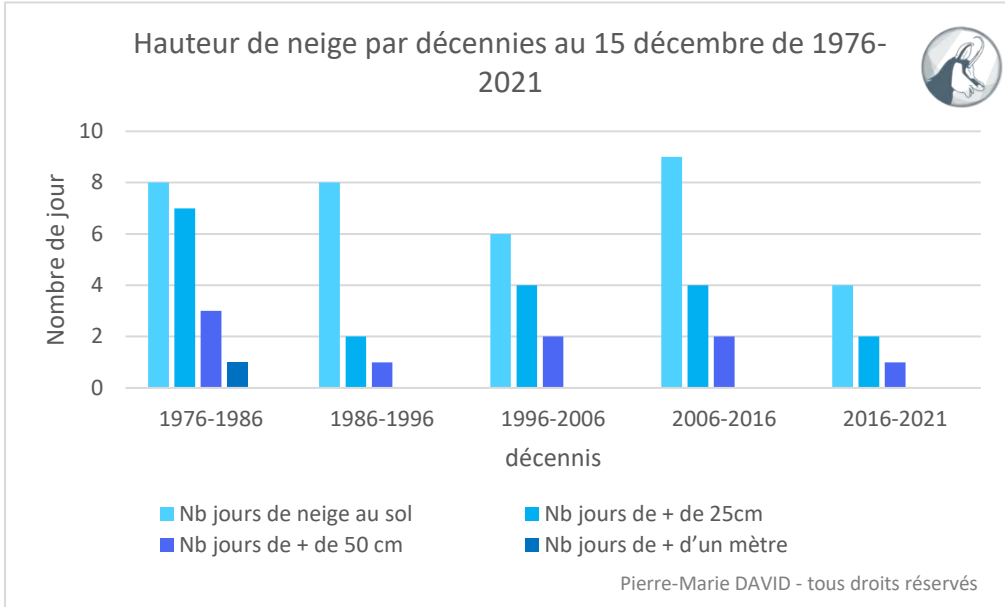
Figure 24 schéma du cumul de l'enneigement selon les années au chalet du Haut-Chitelet de novembre à mai sur la période de 1976-2014

L'enneigement est très hétérogène entre 1976 et 2014 sur le massif du Hohneck en amont de la vallée des lacs dans les Vosges.



On constate **une tendance à la baisse** sur le cumul des enneigements au cours des 45 hivers passés aux 15 décembre, janvier, février et mars.

La décennie 1996-2006 est assez peu neigeuse sur la majorité de la période mais l'hiver 2005-2006 est un énorme pic. 2008-2009 est une année chargée en neige également (513 cm sur l'hiver 2008-2009) les autres années de la décennie sont plus neigeuses que les années de 1996-2006 qui étaient globalement peu neigeuses.



Les graphiques précédents nous permettent de comprendre l'évolution de l'enneigement au Haut Chitelet décennies par décennies au 15 décembre, janvier, février, mars de 1976 à 2021. Néanmoins, il s'agit de relever la hauteur de neige à un jour précis dans le mois. Il présente la quantité de neige à un instant T. Ces données sont choisies pour imaginer les tendances de l'enneigement au Haut Chitelet mais ne permettent pas de connaître la surface recouverte, ni la quantité mensuelle ou annuelle tombée. Une tendance est observable mais il est à garder à l'esprit que ce sont 45x1 donnée par mois d'hiver (décembre, janvier, février, mars).

L'enneigement sur ces 4 dates a diminué au cours de ces 45 hivers. Le **15 décembre** on constate une diminution de la quantité des forts enneigements de plus de 50 cm et d'un mètre de 1976 à 2021. Cet effet est amplifié sur la période de 2016 à 2021, il y a une baisse importante des quantités et des jours de neige au sol. On peut supposer que le réchauffement réduit la période propice à l'enneigement. Décembre n'est peut-être plus assez froid pour permettre une couverture neigeuse importante.

Les quantités de neige supérieures à 25 cm au **15 janvier** à une tendance à la diminution au cours des décennies. Le nombre de jour de neige au sol au cours des décennies est stable de 1976 à 2016 et décline fortement sur la période 2016-2021.

Les hauteurs de neige par décennies au **15 février** régressent de décennies en décennies. Les quantités supérieures à 1m50 n'arrivent que de manière exceptionnelle et ce depuis 1986.

Les hauteurs de neige par décennies au **15 mars** régressent de manière graduelle sur l'ensemble de la période. Les plus fortes quantités ne sont pas atteintes depuis 2016.

On observe donc une tendance à la régression tant en quantité de neige tombée que dans le nombre de jour de neige au sol. Ces données permettent de comprendre que le changement climatique, malgré une grande hétérogénéité des années entre-elles, tend à faire diminuer la période d'enneigement (moins de précipitations en décembre et au printemps), et moins en quantité (hauteur et nombre de jours de neige au sol). En effet ce n'est pas la quantité des précipitations (pluie, neige) qui diminue mais la température qui augmente et donc la prévalence des précipitations pluvieuses plutôt que des précipitations neigeuses.



Illustration.6 : Lac de Retournemer enneigé (24/01/2021).

Surface en hectare soumise à la sécheresse

Ici la question est de savoir sur quelle proportion le territoire de la Lorraine est impacté par les sécheresses, et si nos sols sont donc plus soumis à la sécheresse au fur et à mesure des années.

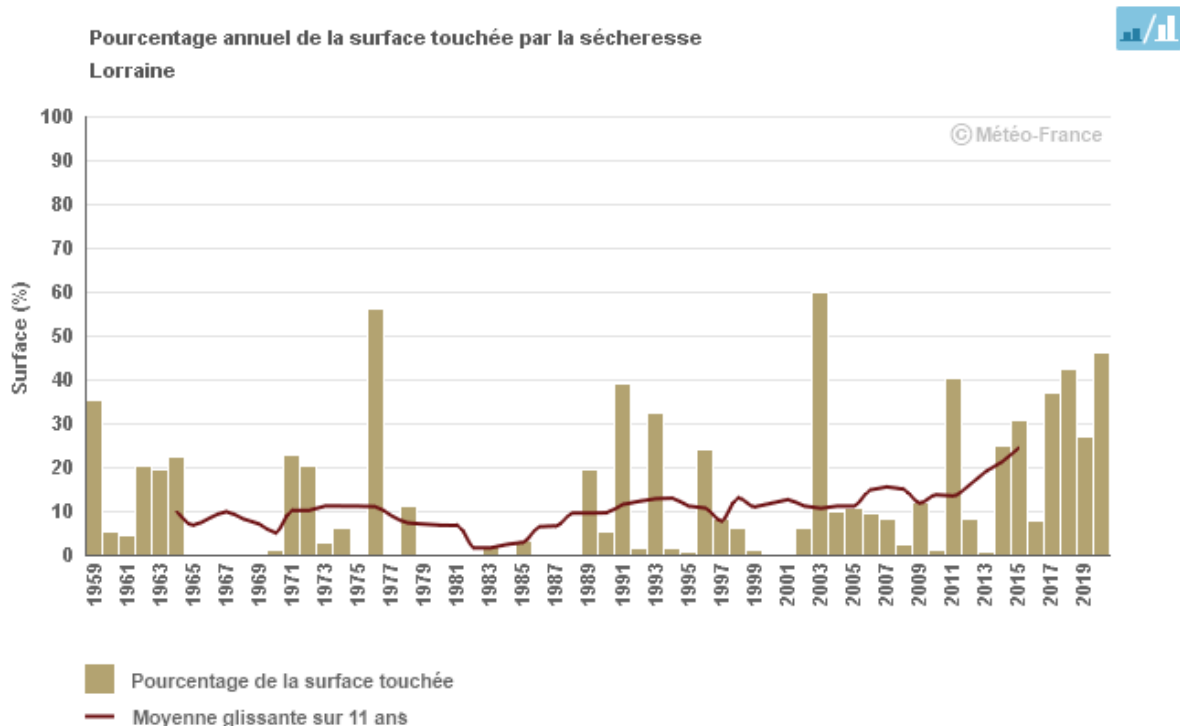


Figure 25 Histogramme de la surface annuel touchée par la sécheresse en Lorraine de 1959 à 2020 (Climat HD)

« L'analyse du pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse des sols depuis 1959 permet d'identifier les années ayant connu les événements les plus sévères comme 1976, 2003, 2011, 2018, et 2020.

L'évolution de la moyenne décennale montre une **nette augmentation de la surface des sécheresses** lors de la **dernière décennie** avec des **sécheresses successives notables depuis 2014**. La moyenne décennale est passée de **15 %** dans les années 2000 à plus de **20 %**. » @Climat HD

On constate une tendance à l'augmentation des surfaces souffrant de la sécheresse en Lorraine.

Humidité du sol et sécheresse

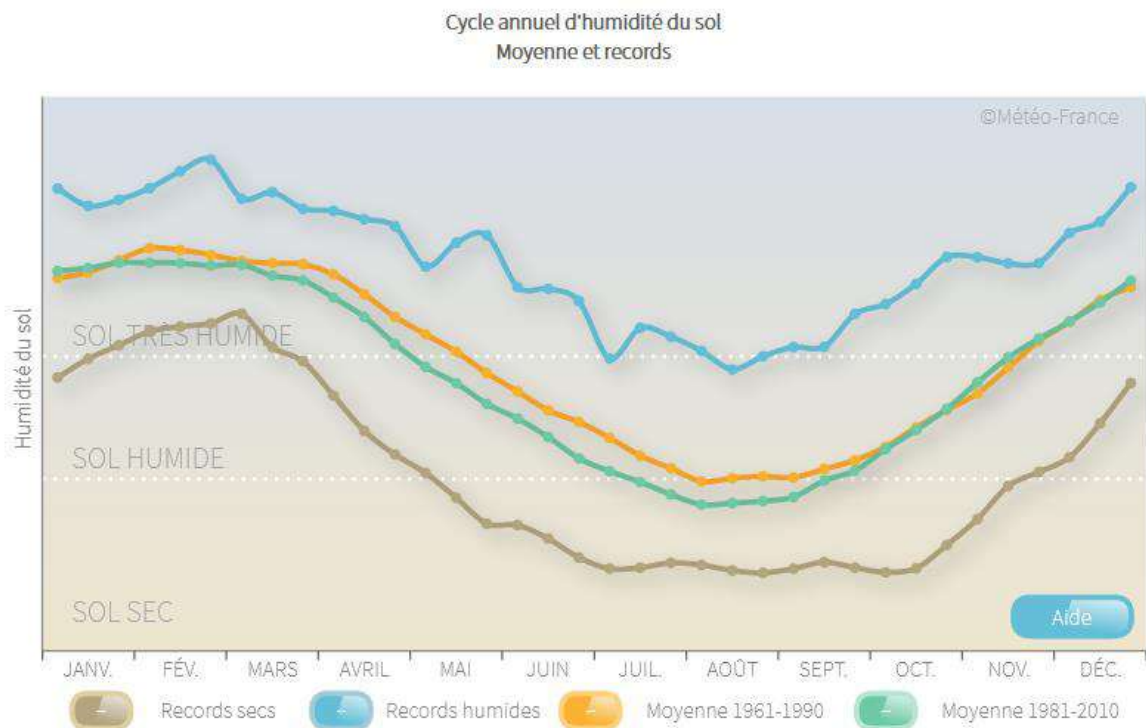


Figure 126 Schéma du cycle d'humidité du sol avec moyennes et records en Lorraine (Climat HD)

« La comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1981-2010 sur la région Lorraine montre un **assèchement proche de 5 % sur l'année**, à l'exception de l'automne qui reste stable.

En termes d'impact potentiel pour la végétation et les cultures non irriguées, cette évolution se traduit par un **léger allongement moyen de la période de sol sec** (SWI (*Soil Wetness Index* indice d'humidité des sols) inférieur à 0,5) **en été** et d'une **diminution faible de la période de sol très humide** (SWI supérieur à 0,9) **au printemps**. Pour les cultures irriguées, cette évolution se traduit potentiellement par un accroissement du besoin en irrigation.

On note que les événements récents de sécheresse de 2011 et 2014 correspondent aux records de sol sec depuis 1959 respectivement pour les mois d'avril et mai. » @Climat HD

Tendances climatiques passées sur le massif des Vosges

Période de référence						
	Pas de temps		Source		Source	Tendance sur la période de référence
Températures	mois		Station météo-France de Gérardmer (1948-1999)		DRIAS (1976-2005)	<p>Les données de DRIAS donnent des températures plus froides, cela peut être expliqué par la taille des mailles (8x8 km) qui peuvent courir de fond de la vallée aux sommets environnants. Cela peut donner des tendances plus froides que la station de Gérardmer positionnée en fond de vallée à l'Est du lac.</p> <p>↗ de la température annuelle moyenne, plus de 1.5°C sur une période de 50 ans. Sur la période 1959-2009, la tendance observée sur les températures moyennes est d'un peu plus de +0,3 °C par décennie.</p>
	janvier	0,9°C		-0,48°C		
	février	1,24°C		-0,11 °C		
	mars	5,16°C		2,58 °C		
	avril	8,79°C		6,33 °C		
	mai	12,73°C		10,77 °C		
	juin	16,14°C		13,55 °C		
	juillet	18,34°C		15,92 °C		
	août	18,06°C		15,75 °C		
	septembre	14°C		12,17 °C		
	octobre	4°C		7,96°C		
	novembre	4,92°C		3,75°C		
	décembre	2,09°C		0,96°C		
année	8,86°C	6,84°C				
Nombre de jour chauds (1976-2005)			5 jours/an	DRIAS	↗ de 4 à 5 jours par décennie (climat HD)	
Vagues de chaleur (1947-2020)	28 vagues		2,95 jours/an	Climat HD	Plus nombreuses et plus sévères (11 vagues après 2000)	
Vagues de chaleur (1976-2005)			10 jours/an	DRIAS		
Nombre de jour de gel (1976-2005)			90 jours/an	DRIAS	↘ de 3 à 4 jours par décennie en Lorraine (1967-2020) (climat HD)	
Vagues de froid (1947-2020)	43 vagues		5,57 jours/an	Climat HD	Moins nombreuses, sévères, intenses après 2000 (5 vagues)	
Vagues de froid (1976-2005)			8 jours/an	DRIAS		
T° moy de surface des lacs (1984-2019)			↗	OFB	Depuis 2013 T° moyennes dépassent 20°C tous les étés	

Période de référence							
	Pas de temps		Source		Source	Tendance sur la période de référence	
Précipitations	Cumul précipitation moyen (1950-2013)	mois	mm	Station météo-France de Longemer (1950-2013)	mm	DRIAS (1976-2005)	Les données de DRIAS donnent des précipitations plus faibles, cela peut être expliqué par les périodes étudiées qui sont différentes (1950-2013 pour la station météo France de Longemer et 1976-2005 pour la période de référence de DRIAS.)
		janvier	191,7		175,21		
		février	162,1		144,76		
		mars	149,7		134,24		
		avril	125,9		127,01		
		mai	138,2		128		
		juin	143,3		131,07		
		juillet	133,3		120,38		
		août	133,6		109,09		
		septembre	134		114,56		
		octobre	156,4		137,93		
		novembre	188,2		154,94		
		décembre	212		179,62		
	année	1868,4	1655,68			↗ légère du cumul des précipitations sur la période de référence	
	Enneigement (1976-2021)				P.M. David	↘ mais années très hétérogènes, ↘ de la période d'enneigement et de la quantité tombée	
Impacts	Sécheresse (1959-2020)	Lorraine		20% des surfaces touchées	Climat HD	Moyenne décennale des surfaces touchées de 15 % (années 2000), à plus de 20 % maintenant Allongement de la période sèche de 2 à 4 mois	

Bilan du climat passé

Le massif des Vosges a un climat marqué du fait de sa position montagnarde par rapport au reste du département et au reste de la région.

Les données étudiées ici montrent une tendance à l'augmentation des températures de manière globale sur les 50 dernières années. Ainsi qu'une tendance à l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur et des journées chaudes ainsi que de la sécheresse.

En parallèle, les hivers ont tendance à être moins rigoureux, les vagues de froid moins fortes et moins nombreuses, l'enneigement baisse au profit de la pluie.

Les surfaces touchées par la sécheresse sont plus importantes et sur les dernières années, les étés sont particulièrement chauds et secs. Ce constat est le même pour l'ensemble de la région Lorraine et même pour la France métropolitaine.

Ces phénomènes ont déjà des répercussions sur les lacs.

Il ne gèle plus entièrement en hiver et/ou plus tous les hivers comme c'était le cas pendant de nombreuses années. La neige est moins abondante et sur une période plus courte. Le stock d'eau créé en hiver par la neige est moindre et ne permettra peut-être pas de recharger complètement les nappes et écosystèmes avant les chaleurs et parfois les sécheresses printanières et estivales. Les étiages des cours d'eau et des lacs sont plus prononcés et sont accentués par l'augmentation des températures et l'augmentation de la demande en eau estivale.

Les lacs sont déjà impactés par ces évolutions.



Illustration.7 : Ancienne carte postale de la vallée des lacs vosgiens

Climat futur

Cette partie est basée sur les projections climatiques. Il s'agit donc d'hypothèse quant au climat futur. Il ne s'agit pas ici de discuter des différents modèles et scénarii qui existent mais de montrer les évolutions potentielles du climat. Une tendance est recherchée pour permettre d'anticiper les évolutions du climat et tout ce que cela va engendrer sur les composantes essentielles des aires protégées et de leurs zones d'interdépendance. Ces scénarii permettent d'imaginer comment l'aire protégée, son fonctionnement, ses alimentations, ses pressions, son patrimoine naturel et les activités sur celles-ci vont évoluer. Ils explorent les différentes possibilités d'évolution du climat en se basant sur la quantité de gaz à effet de serre (GES) qui sera émise dans les années à venir (période de 2000 à 2100).

Les scénarii sur lesquels cette partie est fondée sont ceux du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat). Ce sont ceux utilisés par les services climatiques que nous utilisons pour ce récit climatique (ClimatHD et DRIAS de météo France).

Il y a 4 scénarii d'évolution appelés RCP (*Representative Concentration Pathway*). Chaque scénario RCP donne une variation jugée probable du climat selon le niveau d'émission des gaz à effet de serre :

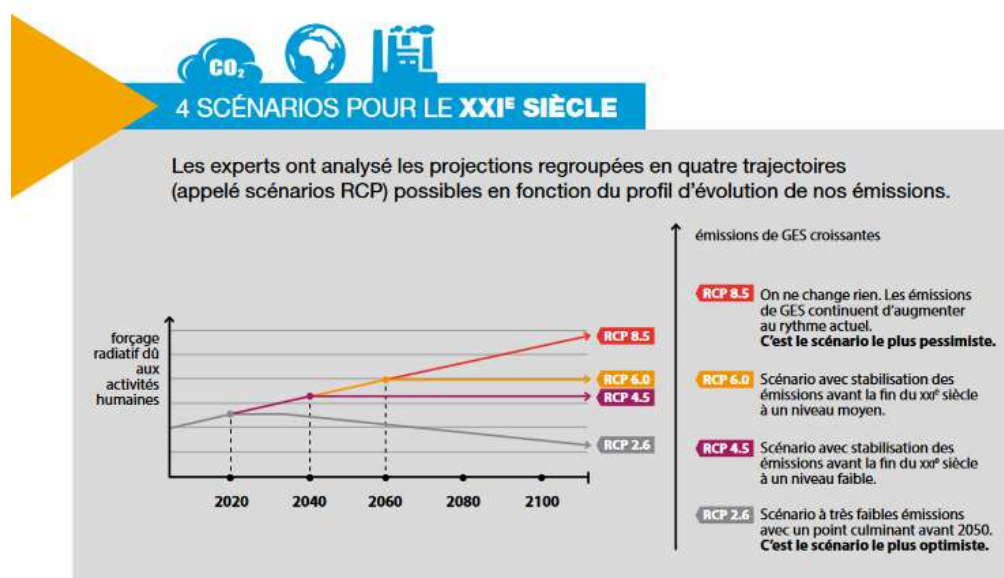


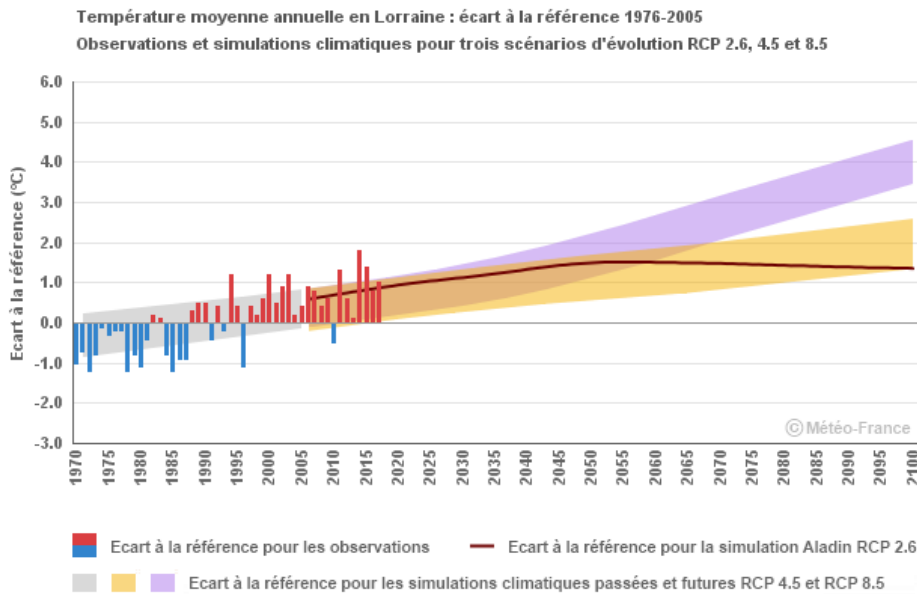
Figure 13 Schéma des différents scénarios proposés par le GIEC (DICOM-DGEC/FIC/14049 - Mars 2015)

Dans le cadre de ce récit climatique, l'équipe du CENL a fait le choix de s'appuyer sur le scénario le plus pessimiste (RCP 8.5) que malheureusement nous suivons actuellement. Nous avons fait ce choix pour alerter sur le pire cas possible et s'adapter au plus extrême. Ces scénarii sont des projections scientifiques, mais les actions de l'Homme ne sont pas prévisibles. Peut-être que des politiques fortes en matière de climat seront portées et que les émissions de GES se stabiliseront voir se réduiront, mais il est également possible que rien ne soit fait pour les diminuer et que l'émission de GES augmente encore.

Nous avons choisi ce scénario pour s'adapter au pire et tenter de réagir au mieux.

« Gérer l'inévitable et éviter l'ingérable – nous en sommes là » Filippo Giorgi climatologue italien

Températures moyennes annuelles



Les températures annuelles moyennes vont augmenter quel que soit le scénario choisi. Pour le scénario RCP8.5, on peut s'attendre à une augmentation de 3°C pour 2075 en Lorraine par rapport à la période de référence de 1970-2005.

Figure 17 Schéma des projections des températures moyennes annuelles en Lorraine selon l'état de référence 1976-2005 (ClimatHD)

Le scénario choisi ici est le RCP 8.5, sur les horizons 2021-2050 (horizon proche) et 2041-2070 (horizon moyen), qui nous permettent de prévoir les effets à court terme et d'adapter notre gestion et nos pratiques ; et l'horizon moyen qui permet de prendre un peu plus de recul et d'envisager des changements plus prononcés. L'horizon lointain n'est pas utilisé ici car il donne une tendance trop générale qui est sujette à une grande variabilité au cours des années à venir. Le scénario RCP.8.5 nous permet de mettre en place toutes les actions nécessaires pour anticiper les effets du changement climatique sur cette vallée.

Il est d'ailleurs intéressant de noter que ce récit climatique devra être réactualisé dans quelques années selon les évolutions observées. Cela permettra à notre gestion d'être adaptée aux changements réels perçus, et d'anticiper de manière plus fine les changements futurs.

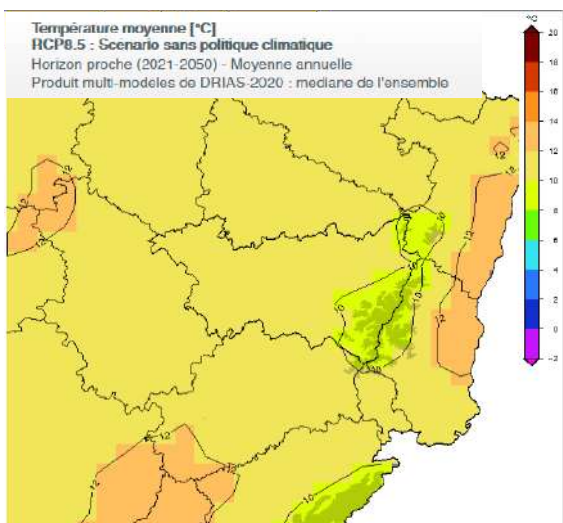


Figure 15 Carte de la température moyenne annuelle à l'horizon proche selon le scénario RCP 8.5 pour les Vosges (DRIAS)

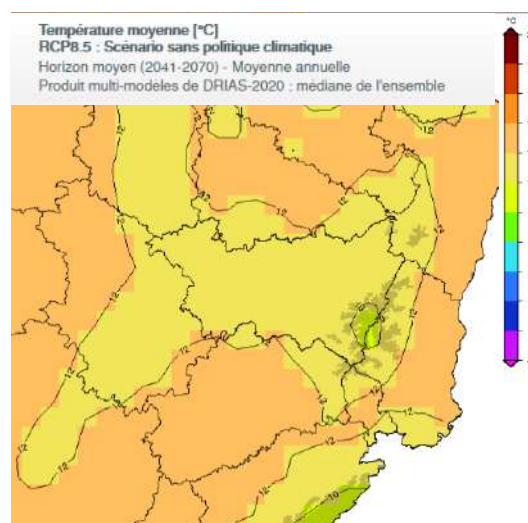


Figure 14 Carte de la température moyenne annuelle à l'horizon moyen selon le scénario RCP8.5 pour les Vosges (DRIAS)

Pour le scénario RCP8.5 à **horizon proche**, la température moyenne annuelle est comprise entre 10 et 12 °C sur le département des Vosges. Elle est comprise entre **8 et 10°C sur le massif et le piémont**.

A l'**horizon moyen**, la température moyenne annuelle est comprise entre **8 et 10°C** uniquement sur la **partie centrale du massif** et entre 10 et 12°C ailleurs. Les départements limitrophes sont plus chauds avec une température comprise entre 12 et 14°C (la température moyenne annuelle actuelle à Valence).

Pour rappel la température moyenne annuelle sur la **période de référence** (1976-2005) sur le massif est de **6 à 8°C** et celle du département est de 8 à 10 °C.

Nombre de journées chaudes annuel

Les journées chaudes sont les journées où la température maximale de la journée dépasse 25°C.

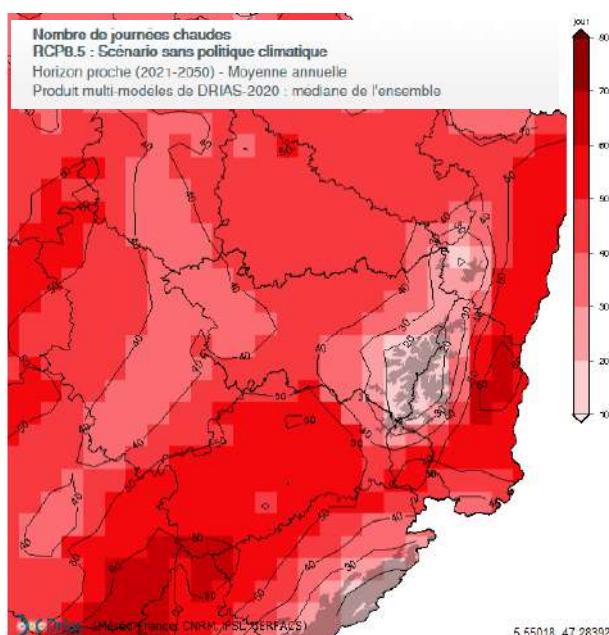


Figure 16 Carte du nombre de journées chaudes à l'horizon proche selon le scénario RCP8.5 pour les Vosges (DRIAS)

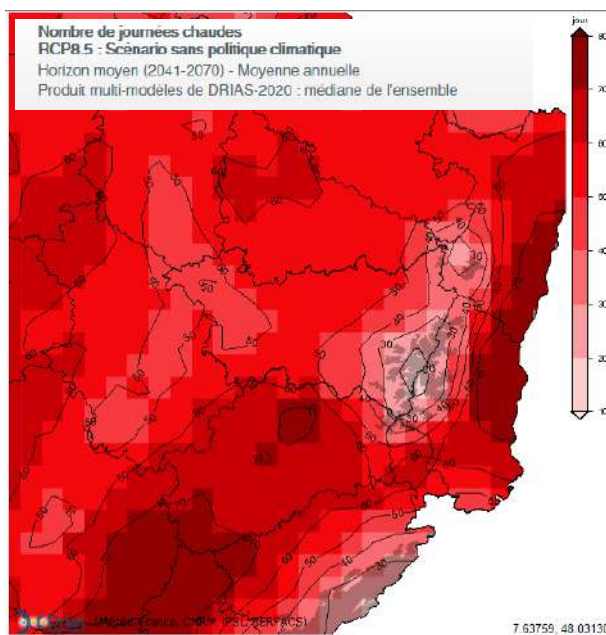


Figure 17 Carte du nombre de journées chaudes à l'horizon moyen selon le scénario RCP8.5 pour les Vosges (DRIAS)

Pour le scénario RCP8.5 à **horizon proche**, le nombre annuel de journées chaudes est compris entre **10 et 20 jours sur le massif**. Il est compris entre 20 et 40 jours selon les lieux au sein du département.

A l'**horizon moyen**, le nombre de journées chaudes est compris entre **10 et 20 jours** uniquement sur la **partie centrale du massif** et entre 20 et 60 jours ailleurs. Ce qui correspond à ce qu'on a actuellement les départements de l'Ain et du Rhône ou les Landes.

Les départements limitrophes ont un nombre allant jusqu'à avoir entre 70 et 80 journées chaudes par an par endroit. Ce qui représente 2 mois et demi de journée où la température dépasse les 25°C.

Pour rappel le nombre annuel de journées chaudes sur la **période de référence** (1976-2005) sur le massif est de **moins de 10 jours** et ne dépasse qu'à quelques endroits du département les 40 jours.

Nombre de jours de vague de chaleur

Ce nombre correspond au nombre de jours où la température maximale est supérieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs.

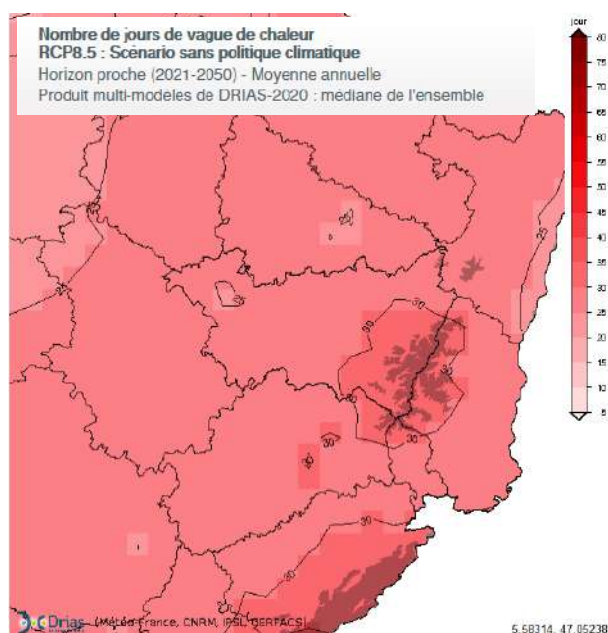


Figure 19 Carte du nombre de jours de vagues de chaleur à l'horizon proche selon le scénario RCP8.5 pour les Vosges (DRIAS)

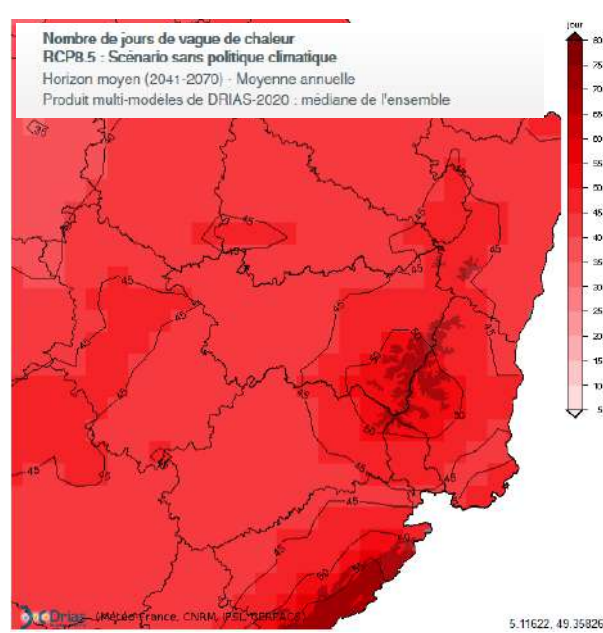


Figure 18 Carte du nombre de jours de vagues de chaleur à l'horizon moyen selon le scénario RCP8.5 pour les Vosges (DRIAS)

Pour le scénario RCP8.5 à l'horizon proche, le nombre de jours de vague de chaleur est compris entre **30 et 35 jours** pour le massif.

A l'horizon moyen, le nombre de jours de vague de chaleur est compris entre **50 et 55 jours pour le massif**. Le piémont lui sera soumis à 45 à 50 jours de vague de chaleur et le reste du département entre 40 et 45.

Les vagues de chaleur **touchent plus les massifs** d'autant plus s'ils sont **loin de l'océan** ou de la mer. Ces énormes masses d'eau permettent d'éviter les vagues de chaleur grâce à leur inertie. C'est-à-dire qu'il faut une quantité bien plus importante d'énergie pour élever la température de l'océan que celle de la terre ou de l'air. L'océan met donc plus de temps à se réchauffer ou à se refroidir et aussi à transmettre la chaleur (et le froid). Ce phénomène est appelé effet littoral. Ce qui fait que les départements qui sont sous climat atlantique sont soumis à moins de pic de chaleur et à une amplitude thermique moins importante. Ce qui n'est pas le cas des territoires soumis au climat semi-continental comme les Vosges.

Pour rappel le nombre annuel de jours de vague de chaleur sur la **période de référence** (1976-2005) sur une grande partie du département des Vosges est de **11 jours**.

Nombre annuel de jours de gel

Les jours de gel sont les jours la température minimale ce jour se situe sous 0°C.

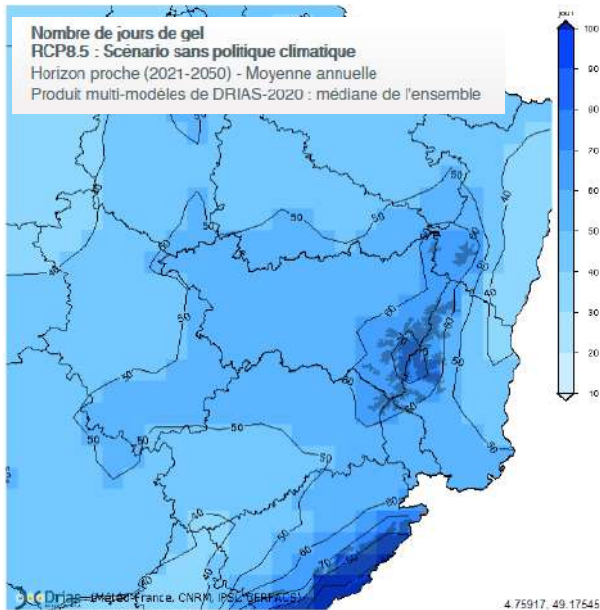


Figure 21 Carte du nombre de jour de gel à l'horizon proche selon le scénario RCP8.5 dans les Vosges (DRIAS)

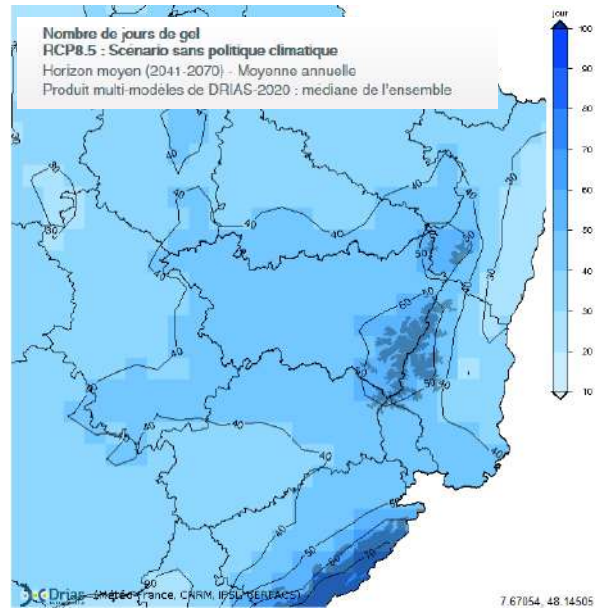


Figure 20 Carte du nombre de jour de gel à l'horizon moyen selon le scénario RCP8.5 dans les Vosges (DRIAS)

Pour le scénario RCP8.5 à l'horizon proche, le nombre annuel de jours où la température minimale est inférieure à 0°C est compris entre **70 et 80 jours** pour l'hypercentre du massif. Pour le reste du massif on compte entre 60 et 70 jours de gel, pour le reste du département c'est entre 50 et 60 jours.

A l'horizon moyen, le nombre de jours de gel est compris entre **50 et 60 jours pour le massif**. Le reste du département sera soumis à 40 à 50 jours de gel. On baisse donc de 20 jours de jour de gel sur le massif.

Pour rappel le nombre annuel de jour de gel sur la période de référence (1976-2005) était supérieur à **90 jours** sur l'hypercentre du massif. Il était de **80 jours** sur le reste du massif et sur le piémont. L'ensemble des Vosges était donc soumis à plus de 70 jours de gel tous les ans en moyenne sur la période 1976-2005.

Nombre de jours de vagues de froid

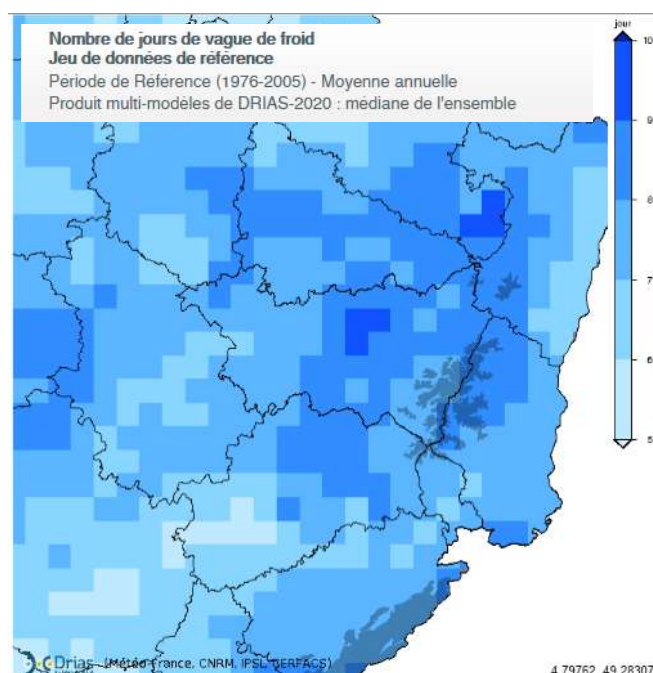


Figure 22 Carte du nombre de jours de vague de froid sur la période référence dans les Vosges (DRIAS)

Le nombre de jour de vague de froid correspond à la température minimale du jour inférieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs.

Le nombre moyen annuel de jour en vague de froid est **entre 7 et 8 sur le massif** sur la **période de référence** 1976-2005.

Pour l'**horizon proche** d'après le scénario RCP8.5, le nombre de jour annuel moyen en vague de froid passe à **3 jours pour tous les départements du quart nord-est** sans différenciation.

Pour l'**horizon moyen**, ce nombre tombe à **2 jours**. Ce qui correspond au nombre actuel des départements du pourtour méditerranéen.

Les vagues de froid sont difficiles à modéliser. Néanmoins une tendance à la diminution de ces vagues de froid est probable.

Températures des eaux de surface des lacs

Il n'y pas de modélisation pour chiffrer les températures futures sur les eaux de surface des lacs. De même que pour d'autres facteurs, l'augmentation des températures, la régression des jours froids et des jours de gel va certainement faire augmenter les températures de surface. On peut s'attendre à ce qu'elles augmentent sur des périodes plus longues (plus tôt et plus tard de l'année qu'actuellement) et de manière plus sévère.

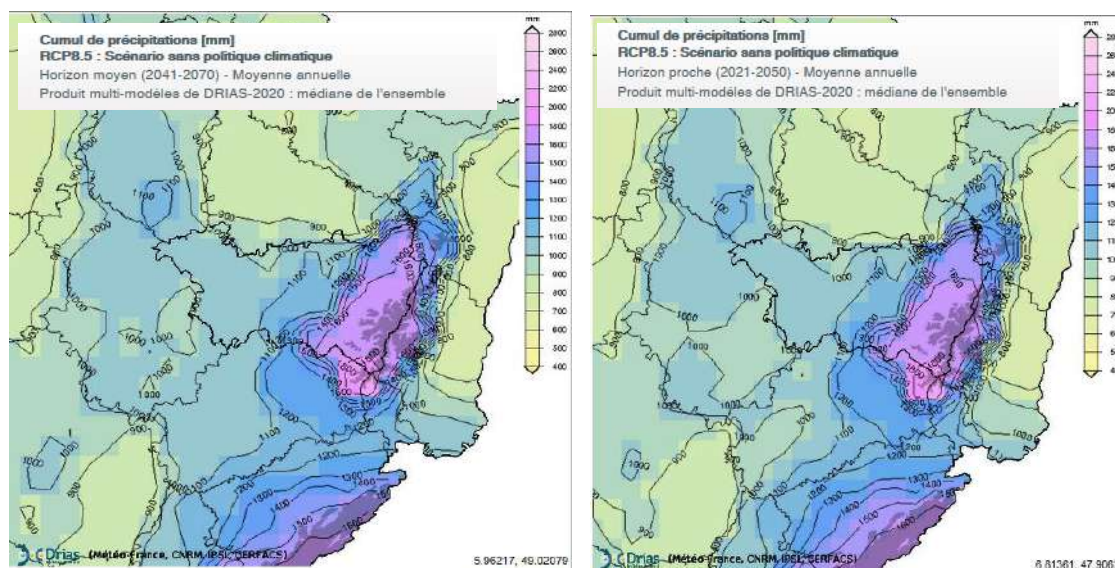
Températures de la colonne d'eau

La modélisation des températures futures de la colonne d'eau des lacs n'est pas possible pour l'instant. On peut s'attendre tout de même à une augmentation des températures générales due aux températures de l'air et à la température des ruisseaux tributaires. Cette augmentation des températures en intensité et dans le temps va affecter le mélange naturel des eaux qui intervient aux intersaisons (automne et

printemps) et qui est essentiel pour le fonctionnement du lac notamment à travers l'oxygénation des eaux du lac.

Ce réchauffement va rendre moins efficace le mélange des eaux et donc créer des conditions d'anoxie dans le fond du lac plus longue et plus sévère et ainsi favoriser le relargage des polluants contenu dans les sédiments et la libération de gaz à effets serre dû aux bactéries anaérobies méthanogènes.

Cumul annuel de précipitations



Pour le scénario RCP8.5 à l'horizon proche, le cumul de précipitations moyen à l'année est compris entre **1600 et 1800 mm** sur le massif et le piémont élargi. Pour le sud du massif on compte entre 1800 et 2000 mm par an, pour le reste du département on observe un dégradé négatif vers l'ouest du département qui est moins soumis aux effets du relief.

A l'horizon moyen, on observe peu de changement dans le cumul de précipitations. Il est toujours compris entre **1600 et 1800 mm** et s'étend également un peu plus vers le nord. Le reste des variables et zones est très similaire.

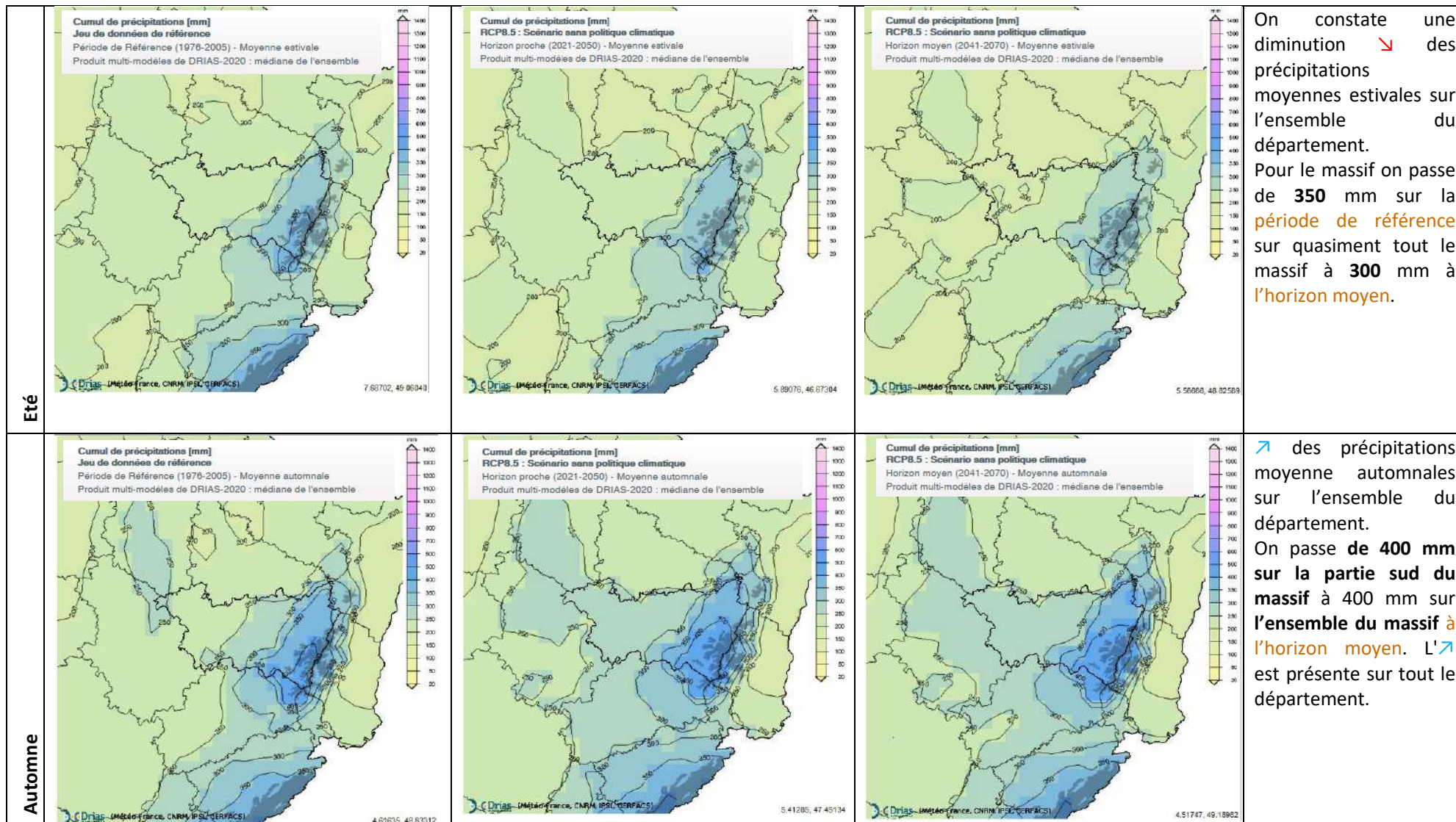
Pour rappel le cumul des précipitations moyen annuel sur la période de référence (1976-2005) était de **1600 à 1800 mm** sur l'ensemble du massif.

Le cumul des précipitations ne change pas, mais cela ne nous renseigne pas sur la répartition de ces précipitations, ce qui est primordial pour l'approvisionnement en eau correct tout au long de l'année et ainsi éviter les étiages trop importants qui peuvent être sévères pour les lacs et les zones humides.

Il est donc intéressant de suivre les évolutions saison par saison. Pour savoir s'il y a des différences importantes.

Cumul annuel de précipitations par saison

	Période de référence	Horizon proche	Horizon moyen	Observation
Hiver	<p>Cumul de précipitations [mm] Jeu de données de référence Période de Référence (1978-2005) - Moyenne hivernale Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble</p> <p>5.75343, 47.04854</p>	<p>Cumul de précipitations [mm] RCP8.5 : Scénario sans politique climatique Horizon proche (2021-2050) - Moyenne hivernale Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble</p> <p>4.75387, 48.98478</p>	<p>Cumul de précipitations [mm] RCP8.5 : Scénario sans politique climatique Horizon moyen (2041-2070) - Moyenne hivernale Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble</p> <p>4.48008, 49.15341</p>	<p>↗ des précipitations hivernales sur le sud du massif de 450 mm (période de référence) à 650 mm (l'Horizon moyen). Sur le reste ↗ du massif entre 400 et 500 mm plus de 500 voir 600 mm à l'Horizon moyen.</p>
Printemps	<p>Cumul de précipitations [mm] Jeu de données de référence Période de Référence (1978-2005) - Moyenne printanière Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble</p> <p>5.63376, 48.53808</p>	<p>Cumul de précipitations [mm] RCP8.5 : Scénario sans politique climatique Horizon proche (2021-2050) - Moyenne printanière Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble</p> <p>5.61810, 46.73852</p>	<p>Cumul de précipitations [mm] RCP8.5 : Scénario sans politique climatique Horizon moyen (2041-2070) - Moyenne printanière Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble</p> <p>7.13221, 46.86688</p>	<p>↗ des précipitations moyennes printanières sur le massif et une partie du piémont. On passe d'une moyenne de 375 mm sur le massif à 400 mm sur la moitié sud du massif à l'Horizon moyen.</p>



Il y a des différences dans la répartition des précipitations, **diminution en été** et augmentation des précipitations sur le reste de l'année. Ces différences dans la répartition des précipitations sont assez faibles. Néanmoins il s'agit de moyennes saisonnières, ce qui **gomme donc les événements extrêmes**. Il est possible d'assister à de fortes pluies ou à des périodes de sécheresse qui n'apparaissent pas avec cet indice.

Nombre de jour de fortes précipitations

Moyenne annuelle des jours de fortes précipitations (jour où le cumul des précipitations est supérieur ou égale à 20 mm) sur la **période de référence** est de plus de **15 jours** sur le massif avec un maximum dans le sud du massif jusqu'à **30 jours**.

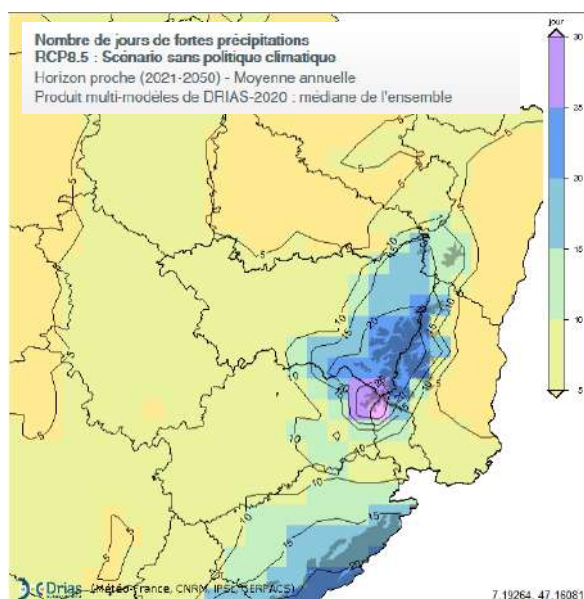


Figure 24 Carte du nombre de jours de fortes précipitations à l'année à l'horizon proche selon le scénario RCP 8.5 (DRIAS)

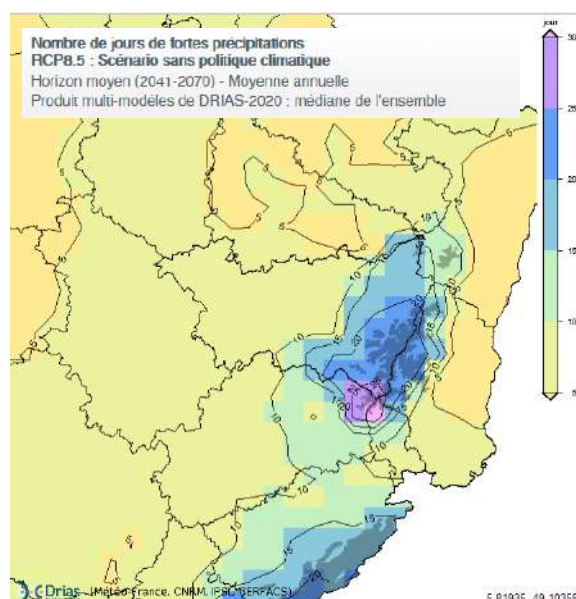
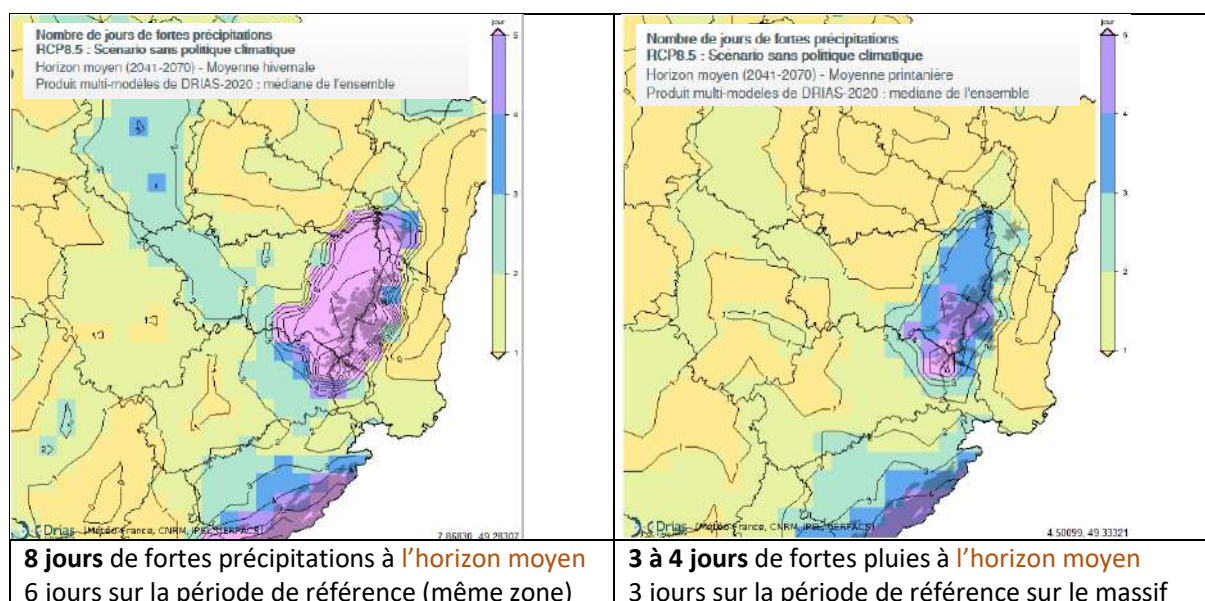
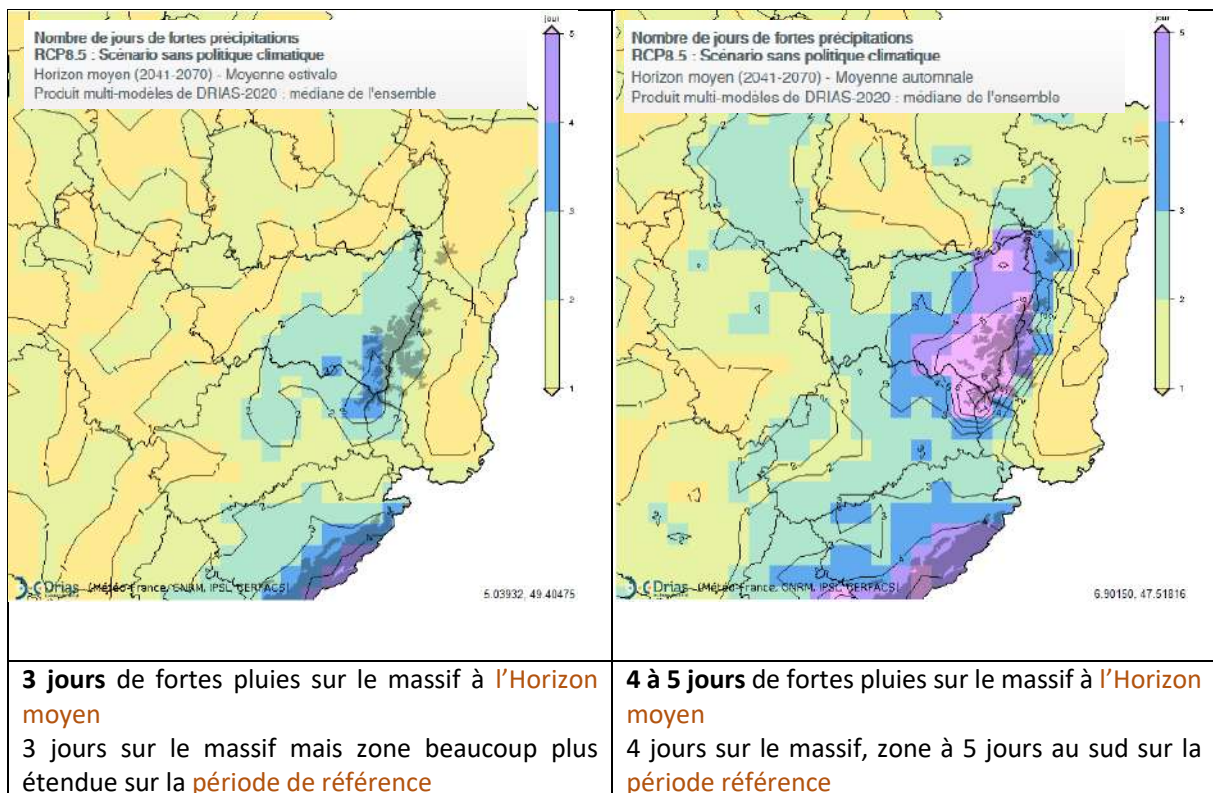


Figure 23 Carte du nombre de jours de fortes précipitations à l'année à l'horizon moyen selon le scénario RCP 8.5 (DRIAS)

Nombre de jour de fortes précipitations en fonction des saisons :





Tendance à l'augmentation des jours de fortes pluies en automne, hiver et printemps et diminution en été, mais ce sont des écarts faibles.

Enneigement

Les modèles qui calculent la répartition des précipitations et leurs quantités ne renseignent pas sur la qualité de celle-ci (pluie, neige, brouillard). Les précipitations hivernales augmentent légèrement, mais sont-elles sous forme de pluie, ou de neige ?

Les services climatiques (climat HD et DRIAS) ne modélisent pas encore l'enneigement sur les massifs de moyennes montagnes.

Néanmoins, au vu de l'augmentation des températures, la réduction des jours de gel, des vagues de froid et même si les précipitations hivernales augmentent, on peut supposer que l'enneigement du massif soit amené à diminuer fortement au fil des années pour suivre la diminution que l'on connaît déjà actuellement.

L'enneigement sur le massif constitue un stock d'eau très important, qui au printemps fond et recharge le système hydrique. Il permet d'éviter un étiage précoce et un déficit hydrique important.

Avec une diminution voire disparition de l'enneigement sur le massif, le risque de déficit hydrique et d'étiage printanier est fort. Cela fragilise les écosystèmes et la ressource en eau avant même les fortes chaleurs et la sécheresse relative en été. C'est donc une véritable menace.

La quantification de cette diminution ni même sa vitesse de déclin n'est pas possible précisément, on peut supposer que la quantité de neige va diminuer, que sa période d'apparition sera peut-être plus centrée sur les mois très froids d'hiver et non plus sur la fin d'automne ou le début du printemps comme c'était le cas.

Sécheresse

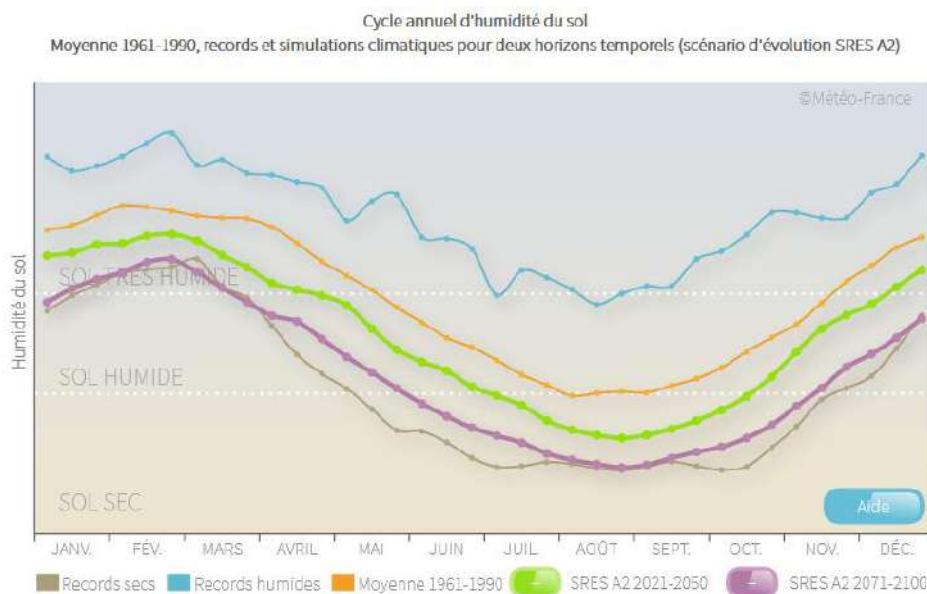


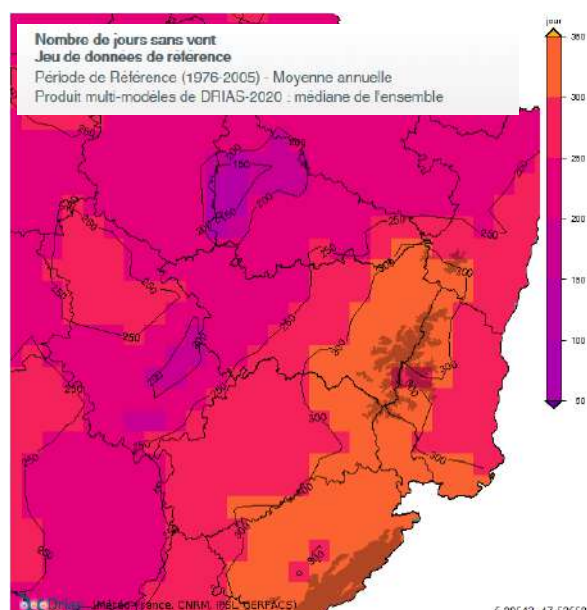
Figure 25 Cycle annuel d'humidité dans le sol, moyenne, records et projections climatiques selon le scénario SRES A2 (Climat HD)

« La comparaison du cycle annuel d'humidité du sol sur la Lorraine entre la période de référence climatique 1961-1990 et les horizons temporels proches (2021-2050) ou lointains (2071-2100) sur le XXI^e siècle (selon un scénario SRES A2) montre un assèchement important en toute saison.

En termes d'impact potentiel pour la végétation et les cultures non irriguées, cette évolution se traduit par un **allongement moyen de la période de sol sec** (Indice d'humidité du sol (SWI) inférieur à 0,5) de l'ordre de **2 à 4 mois** tandis que la période humide (SWI supérieur à 0,9) se réduit dans les mêmes proportions.

On note que **l'humidité moyenne du sol en fin de siècle** pourrait correspondre aux **situations sèches extrêmes d'aujourd'hui**. » analyse Météo-France

Vent



Sur la période de référence 1976-2005, la moyenne annuelle du nombre de jours sans vent sur le massif des Vosges est de 300 et 350 jours de vent.

A **l'horizon proche et moyen** le nombre de jours de vent moyen par an **n'évolue pas**. La force du vent en moyenne est de 2m/s sur le massif, et n'évolue pas non plus.

On observe une stabilité dans les conditions venteuses sur le massif, avec très peu de jour de vent, de jours de fort vent et des vitesses de vent faible.

Avec l'augmentation des températures on peut s'attendre une **stagnation de l'air chaud** sur le massif, et un ressenti de la chaleur plus écrasante.

Evapotranspiration

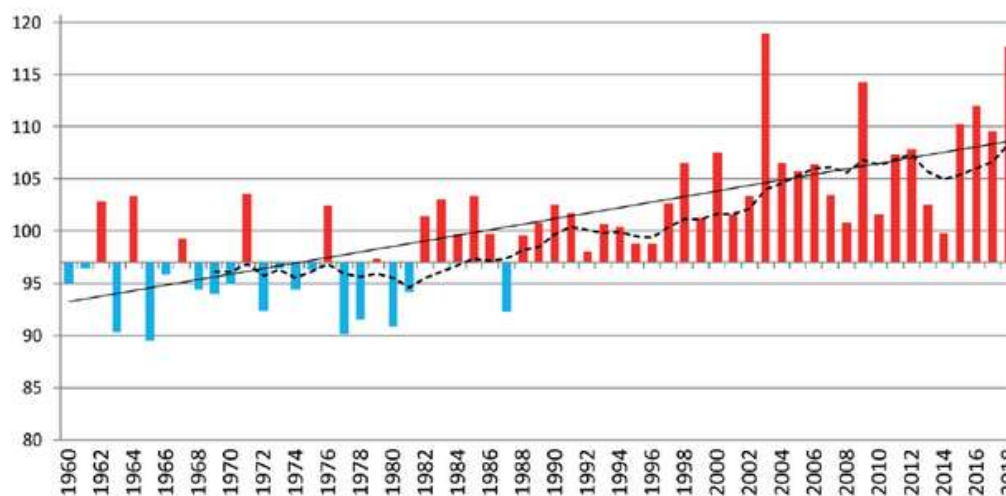


Figure 6 : Ecart de l'ETP moyen (évapotranspiration potentielle de Penman) de la période végétative (en mm, d'avril à septembre) de 1960 à 2018 par rapport à la normale 1961-1990 à Bourg-Saint-Maurice.
Météo-France ; traitement AGATE (Bilan climatique 2018)

Figure 26 Changement climatique et risques naturels dans les Alpes; Simon Gérard et Benjamin Einhorn 2019

On remarque sur ce graphique que l'évolution de l'Evapotranspiration potentielle moyenne augmente fortement sur la période 1960 à 2018 par rapport à la normale de 1961-1990 à Bourg-Saint-Maurice (275 km au sud de Gérardmer 744m à 3816m d'altitude).

Il est probable que le massif des Vosges soit soumis à ce même phénomène, dû à l'augmentation des températures et aux changements des régimes de précipitations.

Une plus forte évapotranspiration est due à l'augmentation du rayonnement solaire et des températures.

L'évapotranspiration comprend à la fois l'évaporation de l'eau sur le sol par exemple et la transpiration des végétaux, elle est exprimée en mm. Plus le rayonnement solaire et les températures sont importants plus les végétaux réalisent d'échanges gazeux avec l'atmosphère. Ils rejettent du dioxygène et de l'eau. Les lacs sont des étendues sombres qui captent les rayons lumineux, si le rayonnement augmente la surface des lacs va se réchauffer plus encore et donc plus s'évaporer. Ce qui va influencer sur la quantité d'eau présente dans le lac.

Tendances climatiques passées et futures sur le massif des Vosges

	Indicateurs	Pas de temps	Période de référence			RCP 8.5					
			Source	Source	Tendance sur la période de référence	Proche	Moyen	Tendance future	Source		
Températures	Températures moyennes annuelles	mois									
		janvier	0,9°C	Station météo-France de Gérardmer (1948-1999)	-0,48°C	DRIAS (1976-2005)		0,87°C	1,68°C	↗	DRIAS
		février	1,24°C		-0,11 °C		1,34°C	2,31°C	↗		
		mars	5,16°C		2,58 °C		3,98°C	5,08°C	↗		
		avril	8,79°C		6,33 °C		7,6°C	8,5°C	↗		
		mai	12,73°C		10,77 °C		12,01°C	12,64°C	↗		
		juin	16,14°C		13,55 °C		15,12°C	16,37°C	↗		
		juillet	18,34°C		15,92 °C		17,48°C	18,65°C	↗		
		août	18,06°C		15,75 °C		16,94°C	18,08°C	↗		
		septembre	14°C		12,17 °C		13,65°C	14,77°C	↗		
		octobre	4°C		7,96°C		9,46°C	10,61°C	↗		
		novembre	4,92°C		3,75°C		5,38°C	6,19°C	↗		
		décembre	2,09°C		0,96°C		1,93°C	3,23°C	↗		
	année	8,86°C		6,84°C			8,88°C	9,15°C	↗		
	Nombre de jour chauds	1976-2005		5 jours/an	DRIAS	↗ de 4 à 5 jours par décennie (climat HD)	13 jours/an	17 jours/an	↗		
	Vagues de chaleur	1947-2020	28 vagues	2,95 jours/an	Climat HD	Plus nombreuses et plus sévères (11 vagues après 2000)					
	Vagues de chaleur	1976-2005		10 jours/an	DRIAS		33 jours/an	52 jours/an	↗	DRIAS	
	Nombre de jour de gel	1976-2005		90 jours/an	DRIAS	↘ de 3 à 4 jours par décennie en Lorraine (1967-2020) (climat HD)	71 jours/an	57 jours/an	↘		
	Vagues de froid	1947-2020	43 vagues	5,57 jours/an	Climat HD	Moins nombreuses, sévères, intenses après 2000 (5 vagues)			↘		
	Vagues de froid	1976-2005		8 jours/an	DRIAS		3 jours/an	2 jours/an	↘		
	T° moy de surface des lacs	1984-2019		↗	OFB	Depuis 2013 T° moyenne dépassent 20°C tous les étés			↗?		
Précipitations	Cumul précipitation moyen (1950-2013)	mois	mm		mm			mm	mm		
		janvier	191,7	Station météo-France de Longemer (1950-2013)	175,21	DRIAS (1976-2005)		191,36	211,89	↗	DRIAS
		février	162,1		144,76		153,25	167,21	↗		
		mars	149,7		134,24		152,82	144,3	↗		
		avril	125,9		127,01		130,32	130	↗		
		mai	138,2		128		137,93	127,13	↗		
		juin	143,3		131,07		141,45	133,27	↗		
		juillet	133,3		120,38		114,79	105,3	↘		
		août	133,6		109,09		102,72	93,82	↘		
		septembre	134		114,56		116,94	115,28	↗		
		octobre	156,4		137,93		144,8	144,06	↗		
		novembre	188,2		154,94		171,46	178,67	↗		
		décembre	212		179,62		197,94	203,18	↗		
	année	1868,4			1655,68			↗ légère du cumul des précipitations	1756,99	1749,45	
	Enneigement (1976-2021)				P.M. David	↘ période d'enneigement et quantité tombée mais années hétérogènes			↘	P.M. David	
Impacts	Sécheresse (1959-2020)			20% de surface touchée	Climat HD	↗ des surfaces touchées de 15% à 20% en Lorraine	Allongement de la période sèche de 2 à 4 mois		↗	Climat HD	
	Evapotranspiration				Météo-France	↗ de l'évapotranspiration			↗		

Bilan du climat futur

Les lacs et leur bassin versant vont être soumis à des changements climatiques importants au cours des prochaines années.

Quel que soit le scénario choisi, le réchauffement va se poursuivre en Lorraine au cours du siècle. Selon le scénario sans politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre (RCP 8.5), les températures vont se réchauffer de manière générale tout au long de l'année avec une augmentation des températures annuelles de 2°C à l'horizon moyen. Une augmentation des vagues de chaleur, et des journées chaudes atteignant presque 2 mois. Une baisse consécutive des jours de gel et vagues de froid ainsi qu'une absence d'englacement des lacs.

Les précipitations vont légèrement augmenter de manière globale, mais se raréfier en période estivale. Les précipitations neigeuses vont décroître en termes de période, de quantité, de surface au cours du siècle dû à l'augmentation des températures hivernales.

Ces deux phénomènes couplés créent des conditions d'étiages importants au printemps et en été. Cette diminution de la quantité d'eau disponible et l'augmentation de la pression sur la ressource en eau pose question sur l'avenir des lacs, des espèces qui y vivent, des activités qui y sont pratiquées ainsi que l'état de santé de leurs bassins versants.

L'assèchement des sols sera de plus en plus marqué au cours du siècle quel que soit la saison. L'évapotranspiration sera plus marquée également, la quantité d'eau retenue dans le bassin versant, et dans les lacs sera moindre.

Tous ces changements vont influencer le fonctionnement des écosystèmes et des activités humaines dans la vallée des lacs. Ces éléments sont tous exposés aux changements climatiques et ont un degré de résilience différent. Ce qui les rend donc plus ou moins vulnérables sur le long terme. C'est ce que nous allons étudier lors du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

Évolution des activités socio-économiques : activité humaine

Les activités socio-économiques sont nombreuses dans les ENS et autour de ceux-ci. En effet la vallée des lacs est un lieu prisé pour son cadre. De plus, elle est facile d'accès et proche de villes attractives. Ces sites sont très fréquentés et utilisés par une multitude d'acteurs et d'utilisateurs. Les abords des lacs sont urbanisés (routes et infrastructures) et les berges sont enrochées. On peut voir notamment à Gérardmer et à Longemer des campings et habitations au bord de l'eau.

Avec le changement climatique, on peut pressentir une recherche importante des points de fraîcheur en été. La période de forte affluence s'étale de juin à août, mais avec le changement climatique l'amplitude pourrait varier de mai à septembre.

L'enneigement décroissant fait changer les pratiques hivernales, moins de ski, luges, raquette au profit de la randonnée. Le massif tend vers un tourisme 4 saisons. Ce qui va porter des pressions plus importantes sur les sites tout au long de l'année, et en particulier sur la ressource en eau et sa quantité. La population de Gérardmer double à triple en été et en hiver. Cette augmentation estivale augmente la demande en eau alors que c'est la période où l'eau est la moins abondante. Les activités de loisirs et le tourisme sont particulièrement développés sur et autour des sites ENS.

Tableau 4 Activités sur et autour des sites protégés

	Sur les sites		Autour des sites	
	Fréquemment	Ponctuellement	Fréquemment	Ponctuellement
Printemps	Bateau/pédalos Pêche Canoë Kayak Plongée Randonnée	Plongée	Transport routier	Randonnée Cyclisme Course à pied
Été	Bateau/pédalos Pêche Baignade Plongée Canoë et Kayak Planche à voile Dragon boat Paddle Randonnée	Triathlon	Randonnée Cyclisme Course à pied Transport routier	Triathlon
Automne	Bateau/pédalos Pêche Plongée Randonnée		Transport routier	Randonnée Cyclisme Course à pied Ski roue
Hiver	Bateau Randonnée	Patinage Plongée	Ski Transport routier Salage routier	Raquette Ski nordique

Les activités ne sont pas les mêmes selon les lacs. Elles seront détaillées par lac dans le diagnostic de vulnérabilité.



Illustration.8 : Exemple d'activité de loisirs ou évènements sportifs pratiqués autour des lacs avec le climat actuel.

Analyse de la vulnérabilité et d'opportunité

Méthodologie

Sur la base du document préparatoire mis à disposition des sites test du LIFE Natur'Adapt, la méthodologie d'analyse de la vulnérabilité a été utilisée :

Sensibilité au changement climatique

Cette première analyse par objet se base sur une analyse bibliographique approfondie du sujet abordé. Selon les objets, elle consiste en la recherche d'articles scientifiques dédiés à la biologie des espèces, des monographies mais également en la lecture de rapport d'étude en lien avec le fonctionnement actuel des écosystèmes localement ou par analogie à d'autres sites ailleurs en France ou dans le monde. Depuis quelques années de nombreux articles scientifiques ou rapports d'étude apportent déjà des réponses sur la sensibilité au changement climatique de certaines espèces ou de milieux.

Cette première approche permet de cibler les facteurs clefs de développement par objet qui risquent d'évoluer avec le changement climatique :

- Exposition **forte**, si les facteurs de développement en lien direct avec les températures, le régime des pluies, l'enneigement neige et les conséquences physiques de ces facteurs, sont sensibles négativement aux évolutions climatiques ;
- Exposition **faible** si l'évolution climatique (mise en évidence dans le récit) permet de bénéficier d'un effet positif sur le développement des objets ;
- Exposition **intermédiaire**, lorsque l'évolution des facteurs climatiques n'auront pas de conséquences directes sur la dynamique des objets.

L'exposition au changement climatique de l'objet

Après cette étude globale sur la sensibilité des objets face au changement climatique, ce deuxième volet s'applique à mettre en lien la sensibilité de l'objet avec le récit climatique local. En effet, le changement climatique peut varier d'une zone biogéographique à une autre et il est très important, avec les outils mis à disposition à présent sur internet, de réaliser ce travail sur une échelle plus réduite. Cette mise en relation permet d'évaluer les objets selon trois classes :

- **Défavorable**, si le climat local affecte l'ensemble des facteurs de développement des objets de manière négative ;
- **Neutre**, si l'évolution du climat n'a pas d'influence sur le développement de l'objet malgré l'évolution négative d'une partie des facteurs de développement de l'objet ;
- **Favorable**, si le climat permet à l'objet de bénéficier de meilleures conditions de développement qui étaient jusqu'alors limitées par des effets climatiques contraignants (gel, période de végétation réduite, ...).

Les capacités d'adaptation globale de l'objet

Cette dernière catégorie se base une analyse bibliographique mais également sur un dire d'expert sur le fondement des suivis déjà en cours sur la zone d'étude. Cette partie est celle qui est soumise au plus d'incertitude. En effet, l'adaptation des espèces et des milieux face au changement climatique est un processus multifactoriel qui doit prendre en compte les données écologiques mais aussi l'action de l'Homme sur l'environnement. Au-delà des décisions prises à l'échelle globale pour limiter le réchauffement climatique, des mesures locales peuvent émerger et avoir un effet local sur la limitation du réchauffement climatique. Au contraire, des pressions anthropiques peuvent apparaître ou se généraliser et accentuer l'effet du changement climatique. Ces pressions et facteurs limitants sont à prendre en compte dans l'analyse.

De plus, l'adaptation de la plupart des espèces au changement climatique n'est pas connue. L'exemple le plus probant est celui des espèces d'arbres des forêts françaises. Des modèles d'évolution de la répartition des espèces à l'échelle nationale ont été produits, par l'INRAe notamment. Mais ces modèles ne se sont basés que sur quelques critères et ne prennent pas en compte ni les microclimats ni la capacité d'adaptation des espèces (d'un point de vue génétique). Ces cartes sont alors des tendances mais en aucun cas des cartes prédictives de la présence/absence des espèces d'arbres. Cette subtilité dans la lecture de ces modèles est très importante.

Malgré ces incertitudes, l'exercice a été réalisé sur la base de :

- D'une capacité d'adaptation **forte** : si des leviers d'actions sont possibles pour restaurer des milieux ou des processus fonctionnels de ces milieux malgré l'évolution climatique ;
- D'une capacité d'adaptation **moyenne** : si les leviers permettent de maintenir au minimum les processus naturels malgré une perte de la biodiversité associée ;
- D'une capacité d'adaptation **faible** : si les leviers existent mais que les pressions sont telles qu'elles ne permettent que le maintien de l'existant via des opérations de gestion anthropique (sans maintien de processus naturels)
- D'une capacité d'adaptation **nulle** : si aucun levier d'action n'existe et que les pressions et facteur limitant sont trop importants pour maintenir les processus naturels et même les espèces.

Choix des objets

Dans le cadre de projet, un choix restreint des objets a été décidé pour tester la méthode. Ces objets sont les principales espèces et milieux en rapport avec les lacs, ainsi que les thématiques en lien directe avec la ressource en eau qui seront impactés par le changement climatique :

- **Les herbiers aquatiques** : la dernière cartographie des herbiers aquatiques des lacs a été réalisée en 2017. Celle-ci a été comparée à celle de 2010 et a conclu en une régression des herbiers aquatiques des lacs vosgiens. Les causes avancées sont liées à l'urbanisation autour du lac (pollutions diffuses), aux activités de loisirs mais également potentiellement déjà au changement climatique ;



Illustration.9 : Exemple d'herbiers sur le lac de Gérardmer.

- **Les isoétides** : ce groupe d'espèces analogues par leur forme et exigences écologiques est caractéristique de la zone littorale des lacs montagnards. Ils regroupent *Isoetes lacustris*, *Isoetes echinospora*, *Littorella uniflora*, *Subularia aquatica*. Ces espèces forment des herbiers pérennes, parfois très denses et sur de grandes surfaces, dans la zone euphotique des lacs de montagne. Ces espèces sont particulièrement adaptées aux eaux froides, englacées une partie de l'année. Ils participent à la fixation des sédiments, à l'oxygénation de l'eau, ou encore à l'oxydation de certains métaux lourds.



Illustration. 10 : Isoètes des lacs (*Isoetes lacustris*).

- **La qualité de l'eau** : Dans le cadre de la Directrice Cadre sur l'Eau (DCE), un monitoring des eaux des lacs de Gérardmer et Longemer et en place. Des études fonctionnelles ont été réalisées sur les trois lacs par le laboratoire ChronoEnvironnement de l'Université de Franche-Comté. Enfin, les eaux de baignade sont régulièrement analysées par l'ARS. Ces lacs sont dimictiques (deux renversements thermiques par an) mais la qualité de l'eau est variable. Le lac de Gérardmer est classé comme moyen concernant la qualité de l'eau d'après le diagnostic de 2015, Longemer est médiocre. Des problématiques en lien avec le phosphore, l'azote et la matière organique sont des facteurs déclassants. Le lac de Retournemer est lui classé comme dysfonctionnel du fait d'une accumulation de trop de matière organique ainsi qu'une mauvaise assimilation de cette dernière (phénomène d'anoxie très prononcé de la colonne d'eau) ;
- **La quantité d'eau** : Peu de données sont actuellement disponibles sur la quantité d'eau du lac et de son évolution au cours des saisons. Les lacs sont des cuvettes naturelles, seul Gérardmer possède une vanne qui permet de réguler le niveau du lac. Cette vanne est gérée par la Commune avec l'objectif de maintenir un niveau d'eau constant. Ces dernières années, un marnage s'est installé sur le lac de Longemer, ce qui indique des apports en eau limités et une évapotranspiration prononcée en période estivale. Les arrêtés sécheresse de la DDT se multiplient ces dernières années dans le Département des Vosges. Ces observations nous indiquent déjà une tension sur cette ressource ;
- **Le cortège de poissons de 1^{er} catégorie piscicole** : Les relevés sur l'ichtyofaune sont réalisés via les suivis de monitoring de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse dans le cadre de la DCE. Les cortèges initiaux sont déjà largement perturbés par les introductions pour le loisir (Carpe, Truite arc-en-ciel, ...). L'espèce cible de ce cortège est la Truite commune, *Salmo trutta*. Elle est encore présente et reproductrice sur les sites et ses affluents.
- **Les berges des lacs** : Toujours dans le cadre de la DCE, un protocole de suivi des berges a été mis en place. Celui-ci indique un état de dégradation très avancé des berges sur près de 90 % du pourtour du lac de Gérardmer (sur le volet artificialisation). Une expérimentation est en cours pour restaurer un linéaire test de ces berges. Le lac de Longemer est en partie dégradé mais présente un linéaire « naturel » plus long que celui de Gérardmer. Enfin, les berges du lac de Longemer sont les plus naturels mais ne représentent qu'un faible linéaire du fait de sa petite taille par rapport aux lacs de Longemer et Gérardmer. Des phénomènes d'érosion des berges sont déjà présents : sur Gérardmer, l'accès à l'eau mais surtout l'absence de marnage participe à cette érosion. Sur Longemer, c'est surtout l'accès à la baignade qui participe à cette dégradation directe des berges.

Sur Retournermer, l'accès à l'eau est interdit, les berges ne sont seulement fréquentées par les pêcheurs, limités en nombre mais qui, sur les zones tourbeuses, ont un impact réel.



Illustration. 11 : Exemple de berge érodée (à gauche) et urbanisée (à droite) à Gérardmer.

La sensibilité, l'exposition au changement climatique et les capacités d'adaptation de chaque objet sont déterminées via une analyse fine. Les résultats sont projetés dans le tableau ci-dessous pour obtenir une note de vulnérabilité globale.

		Capacité d'adaptation globale (7)			
Sensibilité intrinsèque (1)	Exposition au CC (3)	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Forte	Défavorable	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne
Moyenne		Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible
Faible		Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible	Vulnérabilité faible
Forte	Neutre	Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Moyenne					
Faible					
Faible	Favorable	Opportunité faible	Opportunité faible	Moyennement opportuniste	Opportunité forte
Moyenne		Opportunité faible	Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte
Forte		Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte	Opportunité très forte

Résultats

Herbiers aquatiques

	Vulnérabilité	Exposition	Opportunité
Note	Forte	Défavorable	Forte
Résultats synthèse bibliographie	Augmentation des températures limitera le développement des herbiers caractéristiques des eaux froides	Raréfaction des espèces caractéristiques des eaux froides entre 2010 et 2017	Augmentation du recouvrement des herbiers méso-eutrophes à renoncules aquatiques

Note globale : Moyennement vulnérable.

Les herbiers aquatiques adaptés aux eaux froides tendent à se raréfier du fait de l'urbanisation, l'eutrophisation et la destruction directe par les loisirs liés aux activités nautiques. Ces effets seront accentués par le changement climatique, notamment sur le court terme avec une attractivité renforcée des lacs lors de la période estivale. Toutefois, le réchauffement des eaux et l'évolution de la trophie des lacs offrent la possibilité à des herbiers actuellement présents mais restreints à seulement quelques zones des lacs de se développer à large échelle. La fonction écologique des herbiers (oxygénation, cachette, zone de reproduction) pourrait être maintenue.

Isoétides

	Vulnérabilité	Exposition	Opportunité
Note	Forte	Défavorable	Faible
Résultats synthèse bibliographie	La reproduction de ces espèces est directement en lien avec la température de l'eau / la modification des conditions peut modifier la phénologie des espèces et limiter ainsi la reproduction (<i>Isoetes lacustris</i>)	Baisse du recouvrement des herbiers à Isoètes sur les 3 lacs depuis le début des années 1900 et disparition de la Subulaire aquatique (<i>Subularia aquatica</i>) Compétition avec les autres espèces (<i>Isoetes echinospora</i>)	Les Isoétides sont caractéristiques des eaux froides. Les zones favorables avec le réchauffement des eaux vont limiter les capacités d'extension des stations // les capacités de restauration des habitats sont très faibles

Note globale : Très fortement vulnérable.

Les herbiers à Isoétides sont les herbiers qui caractérisent le mieux la végétation des lacs vosgiens. Ces végétations se retrouvent encore actuellement dans les autres massifs d'Europe de l'Ouest. Bien que présentes historiquement dans des lacs et zones humides de plus faible altitude, elles ne subsistent plus que dans les lacs de Longemer et Gérardmer. La dynamique de ces herbiers est déjà négative avec de multiples atteintes (piétinement, urbanisation, pollution, compétition). Le changement climatique va accentuer ces différents phénomènes de manière directe et indirecte (eutrophisation, augmentation de la fréquentation) ce qui laisse peu d'espoir de maintenir l'existant. Seule une zone semble encore favorable au développement des Isoétides, le bout du lac de Gérardmer, côté moraine, où des phénomènes de remontés d'eaux froides liées aux vents dominants semblent maintenir des conditions favorables au développement de ces espèces.

Qualité de l'eau

	Vulnérabilité	Exposition	Opportunité
Note	Forte	Défavorable	Moyenne
Résultats synthèse bibliographie	Modification du fonctionnement intrinsèque des lacs d'altitude par le CC	Désoxygénation pérenne des masses d'eau profondes Production de gaz à effet de serre Remobilisation des sédiments Eutrophisation Envasement Erosion des sols dans le BV Cyanobactérie	Plan d'actions Grands lacs (restauration des zones humides, gestion forestière, ...)

Note globale : Fortement vulnérable.

Le réchauffement des eaux risque d'altérer le fonctionnement des lacs, conduit par deux mélanges annuels des eaux de surface et de profondeur. Ces mélanges sont induits par les modifications de de température de la masse d'eau et permettent la réoxygénation de l'ensemble de la colonne d'eau. Une modification de ce régime peut avoir des conséquences sur l'oxygénation de l'eau, la remobilisation des sédiments ou encore la production de gaz à effet de serre. Le changement climatique affectera la qualité de l'eau des trois lacs par la modification du fonctionnement de ce derniers, ce qui entrainera des conséquences diverses en cascade (augmentation des températures → modification du fonctionnement → désoxygénation pérenne → production de gaz à effet de serre) dont l'émergence de nouvelles contraintes comme le développement de cyanobactéries.

Le changement climatique est une contrainte supplémentaire qui s'ajoute à l'urbanisation, l'artificialisation des bords des lacs, les pollutions diffuses, ... Un plan d'action vient d'être lancé sur le bassin versant des lacs et vise à la mise en œuvre d'actions de restauration/limitation de ces contraintes. Si ces opérations voient le jour, les effets du changement climatique sur la qualité de l'eau pourraient être limités.

Quantité d'eau

	Vulnérabilité	Exposition	Opportunité
Note	Moyenne	Défavorable	Faible
Résultats synthèse bibliographie	Maintien de la quantité d'eau apporté par les précipitations mais principalement sous la forme de pluie et d'événements exceptionnels	Stockage de l'eau limité dans le granite Bassin versant urbanisé qui limite le retour de l'eau dans les lacs (sauna, piscine, maison secondaire, ...) Stockage de l'eau sous forme de neige et restitution jusqu'en été de moins en moins efficace Marnage	Restauration des zones humides et des cours d'eau Gestion de l'eau à l'échelle communale

Note globale : Fortement vulnérable.

Le changement climatique ne va pas modifier la quantité d'eau apportée par les précipitations mais va modifier leur fréquence, leur intensité et surtout leur forme. L'absence de neige aura des conséquences majeures sur la disponibilité en eau en période estivale sur des sols peu profonds qui ne stockent de l'eau que dans les premiers mètres de sol (pas d'existence de nappes profondes dans le granite). De plus, la tension sur la ressource en eau se fera sur les périodes printanières et estivales, là où la population des Communes de Gérardmer et Xonrupt-Longemer double voir triple leur population avec les résidences secondaires et touristes. Des problèmes d'approvisionnement sont à prévoir. De plus, si cette quantité d'eau n'est plus restituée en été, l'utilisation à outrance de la ressource et l'évapotranspiration pourraient provoquer un marnage important qui aurait des conséquences écologiques et paysagères très importantes. Le plan d'action doit permettre de revoir l'utilisation de l'eau dans le bassin versant pour limiter les conséquences du CC.

Le cortège piscicole de 1^{ère} catégorie

	Vulnérabilité	Exposition	Opportunité
Note	Forte	Moyenne	Moyenne
Résultats synthèse bibliographie	Les cortèges piscicoles de première catégorie affectionnent les eaux froides et risquent d'être affectés par des modifications de température de l'eau, de la compétition avec des espèces introduites et de l'étiage des cours d'eau	Sur les lacs vosgiens, les cortèges naturels ont déjà été largement perturbés et modifiés par l'Homme Les frayères à truites sont encore présentes mais pourraient commencer à souffrir de l'assec des cours d'eau (climat et usages) et de la compétition avec les espèces introduites	Restauration des deltas et des cours d'eau qui pourraient permettre de maintenir des zones de reproduction à ces espèces

Note globale : Moyennement vulnérable.

Les cortèges piscicoles initialement présents sur les lacs ont déjà en partie disparu suite aux introductions anciennes et récentes d'espèces allochtones de poissons, de l'urbanisation mais également des atteintes à la continuité écologiques des cours d'eau. L'espèce cible de ce cortège est la Truite fario. Cette espèce est encore présente dans les lacs, même si elle souffre de la concurrence avec la Truite arc-en-ciel, par introduction volontaire, et de celle des truites fario, d'origine génétique variée. Les zones de fraie en lien avec les lacs souffrent de l'urbanisation, de la modification des deltas naturels des affluents qui se jettent dans chacun des trois lacs mais également de l'assec récent des cours d'eau, qui limite la production primaire et secondaire de ces derniers. C'est sur ce dernier point que le réchauffement climatique aura des conséquences importantes. Les leviers d'action peuvent se retrouver dans le plan d'action en cours qui prévoit un travail important sur les deltas des lacs. Cela pourrait permettre de maintenir au minimum une population de truites autochtones, à défaut de l'ensemble du cortège de première catégorie.

Les berges des lacs

	Vulnérabilité	Exposition	Opportunité
Note	Faible	Défavorable	Faible
Résultats synthèse bibliographie	Modification de la dynamique de colonisation des milieux aquatiques par les espèces montagnardes mais bonne résilience de ces herbiers	Fréquentation des berges des lacs en augmentation constante avec la succession des périodes de sécheresse : <ul style="list-style-type: none"> - Érosion accentuée ; - Érosion de nouvelles zones jusqu'à présent protégées Perte de la fonctionnalité et érosion des berges Possible marnage trop important à moyen terme	Peu de leviers sur les aspects fréquentation et sur la désartificialisation des berges du fait d'enjeux touristique et économique, importants pour les communes concernées

Note globale : Moyennement vulnérable.

Les berges, surtout sur Gérardmer, ont déjà été largement modifiées par l'artificialisation pour l'urbanisation (route, quai, ...), les loisirs nautiques (base nautique, baignade, ...) ou les campings. Les dernières zones préservées sont soumises à une pression touristique de plus en plus importante qui pourrait à court terme avoir pour conséquence la disparition de la végétation de ces berges naturelles. Cette pression est due au réchauffement climatique et la recherche d'îlot de fraîcheur lors des épisodes caniculaires des étés chauds, secs, sans vent en zone climatique à tendance continentale. Cette absence de végétation alimenterait alors l'érosion des sols et accentuerait encore un peu plus l'arrivée de matière organique et minérale dans les lacs (eutrophisation, envasement, ...). Le recul du trait de berge est également possible à terme.

Un des leviers serait de parvenir à limiter l'accès aux berges ou de favoriser la mise à l'eau via des points d'accès bien définis (type pontons flottants) selon un plan de baignade et d'activités sur les lacs. Toutefois, la pression touristique à la recherche de points de fraîcheur est si forte en été en période caniculaire que la gestion de cette fréquentation anarchique semble difficile à mener. La restauration des berges est possible mais demande du temps et doit se mettre en œuvre sur des linéaires beaucoup plus importants que ceux testés jusqu'alors sur le lac de Gérardmer.

Bilan de la vulnérabilité des objets

Objet	Vulnérabilité ou opportunité future
Herbiers aquatiques	Moyennement vulnérable
Isoétides	Très fortement vulnérable
Qualité de l'eau	Fortement vulnérable
Quantité d'eau	Fortement vulnérable
Poissons 1^{ère} catégorie piscicole	Moyennement vulnérable
Berge	Moyennement vulnérable

Récit prospectif

À la suite du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité, un travail de prospective doit être mené. Il s'agit de prendre le temps de dresser les perspectives d'évolution des milieux naturels et d'imaginer le futur de ces espaces naturels sensibles.

Avoir en tête cette vision prospective de l'espace naturel protégé est essentiel avant de passer à l'élaboration du plan d'adaptation.

La vallée des trois lacs va rapidement subir des transformations directes et indirectes à cause du changement climatique et ce quelques soit la trajectoire future. Avec le scénario sans politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre (RCP 8.5), les températures vont se réchauffer tout au long de l'année avec une augmentation des températures annuelles de 2°C à l'horizon moyen. Entraînant alors une augmentation des vagues de chaleur et journées chaudes. Le nombre de jours de gel et vagues de froid va baisser drastiquement. Avec l'élévation des températures, les précipitations neigeuses se transformeront en précipitations pluvieuses avec une augmentation de la pluviométrie hors période estivale. Tous ces phénomènes vont entraîner des étiages plus importants au printemps et en été, engendrant alors des pressions autour de la ressource en eau et sur sa qualité. Ainsi, tous ces changements vont influencer le fonctionnement des écosystèmes et des activités humaines dans la vallée des lacs avec des degrés de résiliences différents et donc une vulnérabilité plus ou moins importante sur le long terme.

Le fonctionnement des lacs vosgiens et de son bassin versant associé va être impacté à court terme et sera de plus en plus visible au fur et à mesure des années. Ainsi, les objets qualité, quantité d'eau et berges du lac sont liés les uns avec les autres. Le changement climatique va modifier la répartition et l'intensité de la pluviométrie impactant ces objets. Le cortège de 1^{ère} catégorie piscicole, les Isoétides et plus largement les herbiers aquatiques seront, à long terme, marqués par une banalisation des cortèges car ils possèdent peu de système d'adaptation face au changement climatique. Concernant les activités de loisirs autour et sur le lac, le tourisme 4 saisons est et sera de plus en plus important, avec une modification de la fréquentation (période favorable, nombre de personnes, activités...). Sur le court terme, le changement climatique sera favorable au développement des activités 4 saisons. Mais sur le long terme, les phénomènes de marnages, de cyanobactéries... pourront entraîner des périodes interdites à la baignade alors que les îlots de fraîcheur seront de plus en plus demandés.

Avec l'ensemble des incertitudes liées au changement climatique, la définition du devenir de l'ensemble des objets est donc fragile. Néanmoins, il est important que chaque gestionnaire mette leur lunette face au changement climatique pour imaginer les projections futures et pouvoir les prendre en compte pour une adaptation des enjeux de leur plan de gestion. Les trois lacs vosgiens sont tous inventoriés et labellisés au titre des Espaces Naturels Sensibles mais ne sont pas protégés au même degré. Ainsi, les documents de gestion en cours sur ces sites ne sont pas identiques. Commençons par le lac de Gérardmer, celui-ci n'est inventorié qu'au titre des ENS, il ne dispose pas de Plan de Gestion ni de protection du CENL. Néanmoins, un accompagnement des élus locaux est en cours via le Projet Lacs. Concernant le lac de Longemer, il est préservé pour partie par des maitrises d'usage depuis de nombreuses années. Il possède un Plan de Gestion en cours (2012/2023) mais qui ne prend pas ou peu en compte le changement climatique. Lorsqu'il sera renouvelé, un travail méthodologique Natur'Adapt devra être mené, avec la rédaction d'un DVO et PA simplifié. Enfin, le Lac de Retourner est préservé via une maitrise d'usage, une convention de gestion avec les propriétaires privés depuis 2020. Son Plan de Gestion est donc récent (2020/2030) et prend en compte le changement climatique pour l'établissement des enjeux et objectifs, cependant sans la méthodologie Natur'Adapt.

À l'échelle des trois lacs vosgiens, il est d'autant plus important que le gestionnaire soit conscient du changement climatique pour accompagner les partenaires et les acteurs du territoire dans les décisions futures à l'échelle du bassin versant et même au-delà. Le gestionnaire sera alors une véritable sentinelle du climat à l'échelle d'un territoire. Il devra veiller à être un relai local au regard des acteurs locaux et non un expert sur le climat. Grâce à ce diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité, un plan d'adaptation a été élaboré permettant de définir les stratégies et les actions à mener à l'échelle de la vallée des trois lacs vosgiens.

Démarche d'adaptation

Après de nombreuses études sur l'état de santé des lacs vosgiens dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau, un projet est lancé depuis quelques années pour la préservation des lacs « Grands lacs naturels vosgiens ». Les lacs sont en effets pollués et dysfonctionnels. Ils ont subi de nombreux aménagements et changements qui les ont dégradés. Le plan d'action est en cours sur la vallée des lacs et vise à mettre en place des actions pour maintenir une bonne qualité de l'eau, des milieux et de leurs fonctionnalités. Une conciliation des activités humaines et des lacs est recherchée.

Des actions ont été menées comme la mise en place d'un réseau d'assainissement autour des lacs, la réduction du salage routier. Certaines actions sont en cours, la reméandrement d'un affluent du lac de Gérardmer, le déenrochement et la revégétalisation des berges de celui-ci. La communication, concertation avec les acteurs et usagers sont engagées depuis plusieurs années.

Dans le cadre de la mise en place de ce projet, cette année plusieurs ateliers ont été menés pour présenter les actions réalisées et les projets à venir à trois groupes d'acteurs et d'usagers et de les consulter :

- Les acteurs du territoire : tel que l'Office National des Forêts, Agence de l'Eau Rhin Meuse, Fédération de pêche 88, Universitaires, ...
- Les acteurs socio-économiques comme les bateliers, les associations sportives, ...
- Et les habitants des communes de Gérardmer et de Xonrupt-Longemer.

D'autres ateliers ont été menés plus récemment pour présenter les résultats des premiers ateliers et les avancées réalisées.

En parallèle, des études sur les composantes biotiques et abiotiques des lacs sont menées. Le CEN Lorraine a mis en place un suivi des températures de la colonne d'eau des lacs pour mesurer les effets du changement climatique sur le fonctionnement du lac. En effet les températures de l'air et de l'eau conditionnent les brassages naturels de lacs, essentiels pour la vie dans les lacs. Il s'agit du protocole national proposé par le Pôle ECosystème LAcustres (ECLA) de l'OFB (Office Français de la Biodiversité).

La démarche Natur'Adapt s'inscrit donc une dynamique local forte. L'échelle de travail sera donc les ENS élargies à la masse d'eau et aux berges des lacs. Le choix de ne pas prendre en compte les bassins versants a été fait. Ils sont pourtant une composante essentielle du fonctionnement des lacs, mais le temps dont on dispose est limité. Néanmoins ce projet permet de développer une vision qui sera ensuite applicable sur des échelles beaucoup plus importantes. Nous allons pouvoir mener une réflexion plus pointue sur les ENS et ainsi agir sur notre gestion de ces espaces.

Perspectives et conclusion

Le test de la méthodologie Natur'Adapt sur la vallée des trois lacs, avec le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité (DVO), a permis de mettre les lunettes de changement climatique pour comprendre l'évolution du climat, ses impacts et toutes ses incertitudes. Les différentes étapes de ce document ont permis de faire un récit climatique avec les évolutions du climat passé, actuel et futur pour définir des projections sur les espaces naturels et leurs activités. Au vu de l'outil ENS, qui n'est pas un outil réglementaire mais d'inventaire, il a été choisi un nombre restreint d'objet. Par conséquent, la méthodologie de DVO, par rapport aux sites expérimentaux, a été adaptée en fonction de l'outil ENS. Pour poursuivre cette réflexion sur le changement climatique à l'échelle des Vosges et même de la Lorraine, cette méthodologie devra être simplifiée pour qu'un maximum de sites puissent prendre en compte le changement climatique en fonction de leur taille ou encore de leur protection. Le questionnaire devra s'appuyer sur de nombreux acteurs (professionnels, acteurs locaux...) pour s'adapter au changement climatique. À la suite du DVO, un second document est rédigé. Il s'agit du Plan d'adaptation à l'échelle des trois lacs vosgiens. Des perspectives sont décrites dans cet ouvrage.

GLOSSAIRE

Adaptation : qui vise à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains contre les impacts présents ou à venir du changement climatique.

Atténuation : qui vise à réduire ou limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Changement climatique : désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné au cours du temps : réchauffement ou refroidissement.

Dimictique : se dit d'un lac où l'eau présente une stratification thermique normale en été (température plus élevée en surface), inverse en hiver (prise en glace superficielle), avec des périodes intermédiaires homothermes.

DRIAS : donner accès aux scénarios climatiques régionalisés français pour l'impact et l'adaptation de nos sociétés et environnements.

Oligotrophe : milieu particulièrement pauvre en éléments nutritifs.

Résilience face au changement climatique : correspond à la quantité ou à la dimension des impacts auxquels un secteur peut résister avant de subir une transformation complète.

Sensibilité intrinsèque face au changement climatique : propension intrinsèque d'un système humain ou naturel à être affecté favorablement ou défavorablement par des variations climatiques et leurs conséquences physiques.

Vulnérabilité : propension d'un système humain ou naturel à subir des dommages, en fonction de son exposition, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation globale aux variations climatiques et leurs conséquences physiques.

LISTE DES ABREVIATIONS

CC = Changement climatique

CENL = Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine

DVO = Diagnostic de Vulnérabilité et d'Opportunité

ENS = Espace Nature Sensible

GIEC = Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

PA = Plan d'Adaptation

RCP = Representative Concentration Pathways

ZNIEFF = Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

BIBLIOGRAPHIE

AFP [vue le 23/11/2021] Demain quel climat sur le pas de ma porte <https://interactive.afp.com/features/Demain-quel-climat-sur-le-pas-de-ma-porte-621/city/88196-G%C3%A9ardmer>

BATTARBEE R. et al., 2002. Comparing palaeolimnological and instrumental evidence of climate change for remote mountain lakes over the last 200 years. *Journal of paleolimnology* 28 : 161-179.

CTVRTLIKOVA M, ZNACHOR P, & VRBA J., 2014. The effect of temperature on the phenology of germination of *Isoetes lacustris*. *Preslia*. 86 : 279-292.

CTVRTLIKOVA M. & al., 2016. Lake water acidification and temperature have a lagged effect on the population dynamics of *Isoetes echinospora* via offspring recruitment. *Ecological indicators* 70 : 420-430.

DAVID P.M., 2021. Données relatives à l'enneigement, Association Niv'Ose.

DIAZ S., et al. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (p. 44).

DRAIS [vue le 04/02/2021] <http://www.drias-climat.fr/decouverte>

HUSAK S., VOGÉ M. & WEILNER C., 2000. *Isoetes echinospora* and *I. Lacustris* in the Bohemian Forest lakes in comparaison with other European sites. Vimperk. *Silva Gabreta*. Vol 4. p. 245-252.

GACIA E. & BALLESTEROS E., 1994. Production of *Isoetes lacustris* in a Pyrenean lake : seasonality and ecological factors involved in the growing period. *Aquatic botany* 48 : 77-89.

HOLMER & al., 1998. Sulfate reduction in lake sediments inhabited by the isoetid macrophytes *Littorella uniflora* and *Isoetes lacustris*. *Aquatic botany* 60 : 307-324.

KAJSAND & JENSEN, 1978. Metabolic adaptation and vertical zonation of *Littorella uniflora* (L.) Aschers. and *Isoetes lacustris* L.. *Aquatic botany*, 4 :1-10.

LEADLEY P., Pereira, H. M., Alkemade, R., Fernandez-Manjarrés, J. F., Proença, V., Scharlemann, J. P. W., & Walpole, M.J. (2010). Biodiversity scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity, and associated ecosystem services: A technical report for the global biodiversity outlook 3 (No. 50)

MétéoFrance [vue le 23/11/2021] Climat HD <https://meteofrance.com/climathd>

MétéoFrance [vue le 20/11/2021] Bulletin climatique https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=129&id_rubrique=29

PASTORINO P. & PREARO P., 2020. High-mountain lakes, indicators of global change : ecological characterization and environmental pressures. *Diversity*. 12. 260.

PEREIRA, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P. W., Fernandez-Manjarrés,... (2010). Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science*, 330(6010), 1496–1501. <https://doi.org/10.1126/science.1196624>

RAGUE JC. & MULLER S., 2019. Les herbiers amphibies vivaces à *Isoetes* dans les lacs oligotrophes montagnards du massif vosgien, état de conservation, observations et expérimentation récentes. *Naturae* (2) : 59-79.

SADRO et al., 2019. Climate warming response of mountain lakes affected by variations in snow. *Limnology and oceanography letters* 4. 9-17.

SEDDON B., 1965. Occurrence of Isoetes echinospora in eutrophic lakes in Wales. Ecology. Vol 46. No 5, pp 747-748.

UNESCO [vue le 04/03/2022] <https://events.unesco.org/>

VOGE M., 2006. The reproductive phenology of isoetes lacustris L.: Results of field studies in Scandinavian lakes. Limnologica 36 : 228-233.

VOGE M., 2014. Monitoring the vitality of Isoetes lacustris by using a non-destructive method. Limnol. Rev. 14,3 : 153-158.



naturadapt.com

Le projet LIFE Natur'Adapt vise à intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Coordonné par Réserves Naturelles de France, il s'appuie sur un processus d'apprentissage collectif sur 5 ans (2018-2023), 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 revus et testés sur 15 autres sites, avant la dernière phase de déploiement aux échelles nationale et européenne.

Coordinateur du projet



Grâce au soutien financier de



Contact : naturadapt@rnfrance.org / 03.80.48.91.00

Partenaires engagés dans le projet



Financeurs du projet



The Natur'Adapt project has received funding from the LIFE Programme of the European Union

LIFE17 CCA/FR/000089 - LIFE #CC #NATURADAPT

Novembre 2022