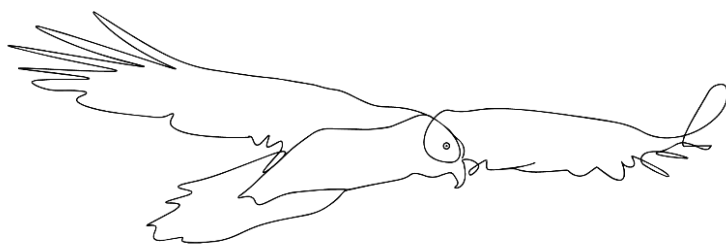




Réserve Naturelle Régionale
AULON



Gérée par :



Gestionnaire
de la Réserve
d'Aulon

RECIT CLIMATIQUE

Projet d'adaptation au changement climatique des 5 RNR
d'Occitanie du massif des Pyrénées

Adèle Lombart et Lou Dumaine - 2022

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	I
TABLE DES TABLEAUX	3
TABLE DES FIGURES.....	4
I. INTRODUCTION.....	5
II. CONTEXTE CLIMATIQUE	6
1. Le climat comme sujet d'étude	6
a. Le climat, un facteur constituant de nos paysages, aujourd'hui bouleversé	6
b. Le climat aujourd'hui bouleversé	6
2. Les réserves pyrénéennes d'Occitanie soumises aux grandes tendances du climat	7
a. Le climat et ses variations multiscalaires.....	7
b. Le climat en montagne.....	8
c. Les évolutions récentes.....	8
3. Construction d'un récit climatique pour la RNR d'Aulon.....	11
a. La RNR d'Aulon et sa zone d'interdépendance comme échelle d'analyse.....	11
b. Les données récoltées	12
c. Choix du traitement des données.....	14
III. LE CLIMAT FUTUR, INDICATEUR PAR INDICATEUR	16
1. Les indicateurs de températures	16
a. Température moyenne journalière	16
b. Température minimale journalière.....	19
c. Température maximale journalière.....	22
d. Amplitude thermique journalière (°C)	24
e. Jours de gel.....	27
➤ Prospective.....	28
f. Nombres de jours de vague de chaleur	30
2. Les indicateurs de précipitations	32
a. Cumul précipitations (mm).....	32
b. Période de sécheresse en jours.....	35
3. Les indicateurs d'enneigement	37
a. Epaisseur de neige moyenne (cm).....	37
b. Nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm.....	40
IV. RECIT DES GRANDES TENDANCES DU CLIMAT FUTUR.....	42
I. Synthèse des indicateurs.....	42
a. Températures	42
b. Précipitations	42

c.	Enneigement.....	43
2.	Demain, le massif pyrénéen d'Occitanie.....	44
a.	Mosaïque des sous-massifs	44
b.	Le changement climatique et phénomène de risques, un lien de cause à effet relatif dans les Pyrénées.....	48
V.	CONCLUSION.....	49
VI.	BIBLIOGRAPHIE	50

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evolutions récentes du climat dans la région	9
Tableau 2 : Les 10 indicateurs sélectionnés	14
Tableau 3 : Période de référence de l'indicateur de températures moyennes journalières (1976 - 2005)	16
Tableau 4 : Anomalies des températures moyennes journalières pour 2071 - 2100	17
Tableau 5 : Anomalies des températures moyennes journalières pour 2021 - 2050	17
Tableau 6 : Période de référence de l'indicateur des températures minimales journalières (1976 - 2005)	19
Tableau 7 : Anomalies des températures minimales journalières (2021 - 2050)	20
Tableau 8 : Anomalies des températures minimales journalières (2071 - 2100)	20
Tableau 9 : Période de référence de l'indicateur des températures maximales journalières (1976 - 2005)	22
Tableau 10 : Anomalies des températures maximales journalières (2021 - 2050)	22
Tableau 11 : Anomalies des températures maximales journalières (2071 - 2100)	22
Tableau 12 : Période de référence de l'indicateur de l'amplitude thermique °C (1976 - 2005)	24
Tableau 13 : Anomalies de l'amplitude thermique journalière °C (2021 - 2050)	25
Tableau 14 : Anomalies de l'amplitude thermique journalière °C (2071 - 2100)	25
Tableau 15 : Période de référence du nombre de jours de gel (1976 - 2005)	27
Tableau 16 : Anomalies des nombres de jours de gel (2021 - 2050)	28
Tableau 17 : Anomalies des nombres de jours de gel (2071 - 2100)	28
Tableau 18 : Période de référence du nombre de jours de vague de chaleur (1976 - 2005)	30
Tableau 19 : Anomalies des nombres de jours de vague de chaleur (2021 - 2050)	30
Tableau 20 : Anomalies des nombres de jours de vague de chaleur (2071 - 2100)	31
Tableau 21 : Période de référence du cumul précipitations en mm (1976 - 2005)	32
Tableau 22 : Anomalies du cumul de précipitations en mm (2021 - 2050)	33
Tableau 23 : Anomalies du cumul de précipitations en mm (2071 - 2100)	33
Tableau 24 : Période de référence de l'indicateur de période de sécheresse en jours (1976 - 2005)	35
Tableau 25 : Anomalies des périodes de sécheresse en jours (2021 - 2050)	35
Tableau 26 : Anomalies des périodes de sécheresse en jours (2071 - 2100)	35
Tableau 27 : Période de référence de l'épaisseur de neige moyenne (1976 - 2005)	37
Tableau 28 : Anomalies de l'épaisseur moyenne de neige (2021 - 2050)	38
Tableau 29 : Anomalies de l'épaisseur moyenne de neige (2071 - 2100)	38
Tableau 30 : Période de référence du nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm (1976 - 2005)	40
Tableau 31 : Anomalies de l'épaisseur de neige > 50 cm (2021 - 2050)	40
Tableau 32 : Anomalies de l'épaisseur de neige > 50 cm (2071 - 2100)	40
Tableau 33 : Synthèse des évolutions communes et singulières à venir sur les différentes RNR	44

TABLE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Carte de l'extension maximale des glaciers pyrénéens à la dernière glaciation (entre 29 500 et 24 400 av JC)</i>	6
<i>Figure 2 : Typologie des climats (Joly and al, 2010)</i>	7
<i>Figure 3 : Les 8 types de climat français (Joly et al., 2010)</i>	7
<i>Figure 4 : Limites de la zone d'interdépendance de la RNR d'Aulon</i>	11
<i>Figure 5 : Carte des reliefs de la RNR d'Aulon</i>	12
<i>Figure 6 : 4 scénarios d'émissions de gaz à effet de serre pour le XXIème siècle (ONERC, 2015)</i>	13

I. INTRODUCTION

La Réserve Naturelle Régionale (RNR) d'Aulon s'inscrit dans le cadre du projet d'adaptation au changement climatique des 5 RNR d'Occitanie du massif des Pyrénées. Avec le soutien du conseil régional, La Frénette et la commune d'Aulon, aux côtés des gestionnaires des 4 autres RNR (Saint-Barthélémy, Pibeste-Aoulhet, Montious et Nyer) se sont associés pour adapter leur gestion au changement climatique.

Démarche d'adaptation au changement climatique « Une démarche d'adaptation est une démarche qui permet à un système humain ou naturel de réduire les effets négatifs et/ou de tirer parti des effets positifs du changement climatique. Elle vise à anticiper les conditions climatiques futures pour prendre aujourd'hui des décisions et des actions compatibles avec la situation, demain. » (Natur'Adapt, [s d])

Les réserves naturelles, qui ont pour mission de protéger la biodiversité, sont particulièrement sensibles aux évolutions climatiques et leur adaptation devient nécessaire. En effet, le changement climatique entre en résonance avec la sixième crise de la biodiversité, bien plus rapide que les cinq précédentes. Ces deux dynamiques sont d'origine anthropique et s'intensifient au contact l'une de l'autre. À l'échelle mondiale, le GIEC (groupe d'experts du climat) prévoient entre 3 et 14 % des espèces terrestres menacées d'extinction même si le réchauffement est limité à +1,5 °C. De plus, pour les RNR de milieu montagnard, les conditions climatiques sont parmi les facteurs les plus déterminants dans la régulation d'écosystèmes, plus que dans d'autres zones biogéographiques (OPCC-CTP, 2018).

Le projet d'adaptation s'appuie sur le guide du LIFE Natur'Adapt, issu d'une expérimentation de la méthode sur 6 aires protégées et éprouvé sur 15 sites tests. Le guide est composé en trois étapes : un récit climatique, un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité (DVO), et enfin un plan d'adaptation. Le récit a pour objectif de décrire les évolutions du climat auxquelles sont soumises les aires protégées. Connaître ces évolutions (présentes et futures) permettra d'évaluer les niveaux de sensibilité de la RNR au changement climatique. Ces éléments seront donc remobilisés dans le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité de la RNR.

Le récit climatique demande de distinguer la météorologie, c'est-à-dire le temps qu'on observe quotidiennement, du climat, qui se caractérise à partir de données météorologiques sur moyen et long termes – au minimum 30 ans (normale climatique).

Climat « Représentation synthétique des conditions météorologiques caractérisant une région donnée. Il est défini par les valeurs moyennes, généralement sur 30 ans, et la dispersion autour de la moyenne des grandeurs météorologiques (température, pluviométrie, vent, ensoleillement...) et des phénomènes particuliers tels que le brouillard, les orages, la grêle. ». (Météo France, 2020a)

Les évolutions récentes du climat sont issues du maillage de stations météo, elles reposent donc sur des données constatées. Or, pour le climat futur il faut faire appel à des modèles de projection qui comprennent une marge d'incertitude incompressible. Ce document ne permet pas de prédire le climat futur sur les réserves mais d'identifier les grandes tendances qui se profilent.

II. CONTEXTE CLIMATIQUE

1. Le climat comme sujet d'étude

a. Le climat, un facteur constituant de nos paysages, aujourd'hui bouleversé

Le climat à l'échelle de la planète est la résultante d'interactions entre cinq entités : la lithosphère (croûte terrestre), l'hydrosphère (l'ensemble des eaux sur la planète, ici liquide comme les cours d'eau ou les océans), la cryosphère (les glaces), la biosphère (l'ensemble des êtres vivants, dont la végétation) et l'atmosphère (couche gazeuse entourant la Terre, une forte teneur en GES a une influence forte).

Le climat est changeant dans le temps. Depuis sa formation, notre planète connaît des ères glaciaires. A l'intérieur ces ères glaciaires, il existe une alternance de période de glaciation et période interglaciaire. Ces évolutions naturelles dépendent de l'exposition de la terre au soleil selon les 3 paramètres de Milankovic : variation due à l'inclinaison, la trajectoire de la Terre autour du Soleil, ou son axe de rotation propre (Berruyer, 2011). D'autres phénomènes peuvent influencer le climat comme la tectonique des plaques (Anon, 2019). Nous sommes actuellement dans une période interglaciaire baptisée Holocène, initiée il y a 11 700 ans.

Au cours de l'Holocène, les Pyrénées ont connu un réchauffement lent dû à des phénomènes naturels. L'évolution des glaciers illustre ces changements et les RNR en portent les traces dans leurs paysages (Delmas et al., 2012).

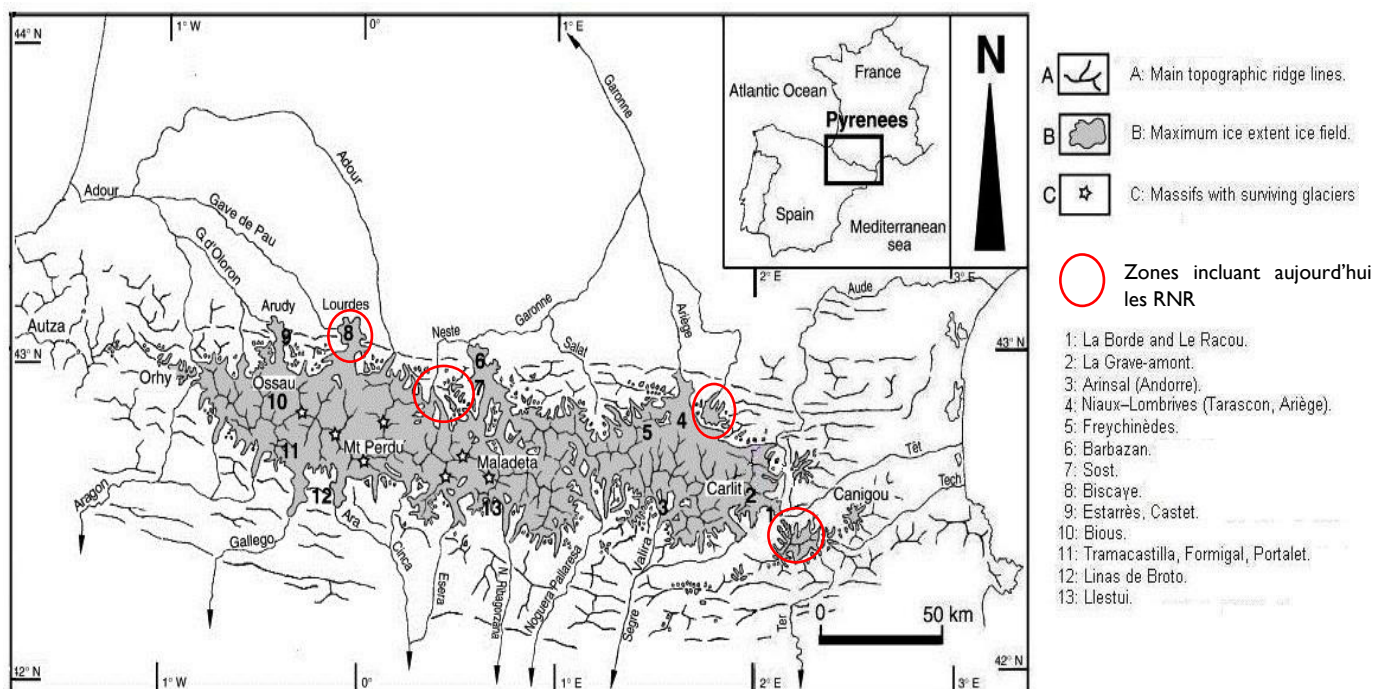


Figure 1 : Carte de l'extension maximale des glaciers pyrénéens à la dernière glaciation (entre 29 500 et 24 400 av JC)
Carte originale de (Delmas et al., 2012) – Cercles des RNR apposés

b. Le climat aujourd'hui bouleversé

Or le changement que l'on mesure aujourd'hui est bien plus rapide que dans les périodes précédentes et ne peut être expliqué par les paramètres de Milankovic. Le dernier rapport du GIEC confirme l'origine anthropique du dérèglement climatique. Aux vues de l'accélération de ces changements sur l'ensemble de la planète et de son origine humaine (concentration en GES dans l'atmosphère et

accélération dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle) ainsi que de son intensité, nous rentrons dans une nouvelle aire, l'anthropocène (ère géologique de l'homme).

La rapidité, sans précédent, de ces changements entraîne des bouleversements impactant l'environnement dans lequel évolue l'homme dont notamment l'accélération de la 6^{ème} crise de la biodiversité. Cette extinction de masse est 100 à 1000 fois supérieur au taux naturel et est d'origine anthropique (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 2022). Ce sont ces changements et leurs impacts directs qui sont décrits dans le récit climatique.

2. Les réserves pyrénéennes d'Occitanie soumises aux grandes tendances du climat

a. Le climat et ses variations multiscalaires

À l'échelle mondiale une dizaine de climats sont identifiés, les 6 majeurs sont : le climat équatorial, le climat tropical, le climat aride, le climat froid, le climat polaire et le climat tempéré.

A l'échelle nationale, la France métropolitaine profite d'un climat tempéré. Il a pour caractéristique d'être humide avec des amplitudes thermiques modérées. Ceci est dû à «la rencontre des masses d'air chaud provenant des tropiques et des masses d'air froid des plus hautes latitudes. Les vents d'ouest sont prédominants. » (Universalis Encyclopædia, [s d]). La France métropolitaine est au carrefour de plusieurs climats tempérés : méditerranéen, océanique et continental. Afin d'avoir une vision plus précise sur le territoire, (Joly et al., 2010) ont travaillé sur une représentation de 8 types de climat au regard des données climatiques sur la période 1971-2000.

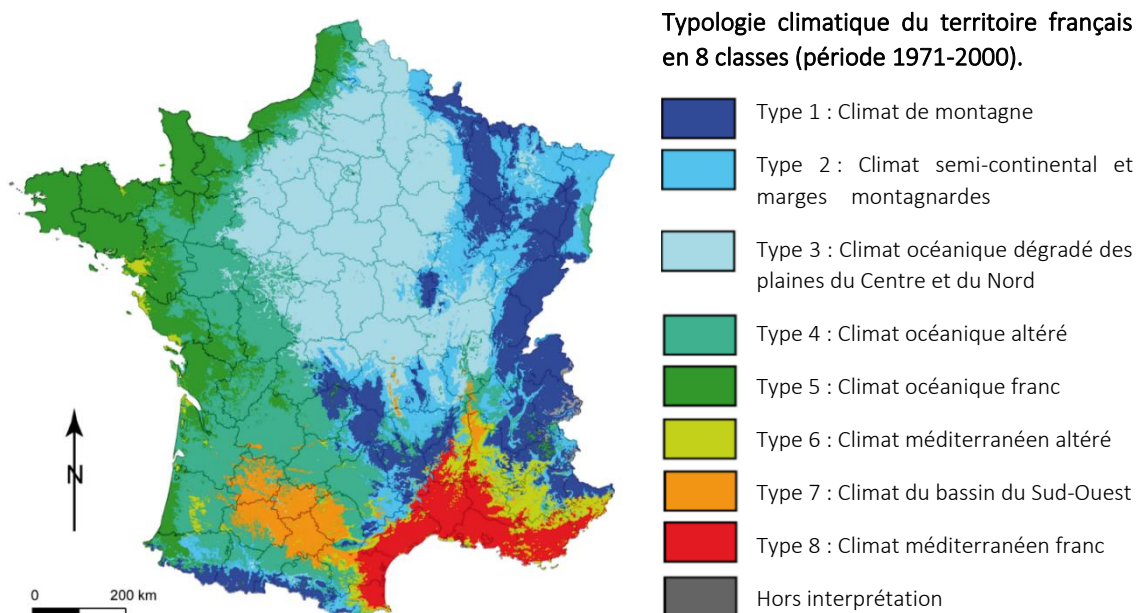


Figure 2 : Typologie des climats (Joly and al, 2010)

b. Le climat en montagne

D'après la typologie de (Joly et al., 2010), les 5 RNR du massif des Pyrénées en Occitanie se situent entre un climat de montagne et ses marges (types 1 et 2). Le climat de montagne se caractérise par une précipitation forte avec une variabilité d'intervalle importante, ainsi qu'une moyenne de température plus faible (< à 9,4°C) elle aussi fortement variable en été et hiver. Le climat semi-continental (type 2) est influencé par le climat océanique altéré (température homotherme et forte pluviométrie) et le climat méditerranéen franc (température plus élevée) pour la RNR de Nyer et légèrement celle du St Barthélémy. A ce titre, on note un gradient entre l'Est et l'Ouest des RNR dans les Pyrénées. Au-delà de ces indicateurs, Météo-France définit le climat montagnard de la façon suivante : « En climat de montagne, la température décroît rapidement en fonction de l'altitude. On observe une nébulosité minimale en hiver et maximale en été. Les vents et les précipitations varient notablement selon le lieu » (Météo France, 2020a). L'altitude induit des singularités météorologiques locales et la création de microclimats :

- Il existe un gradient thermique vertical, c'est-à-dire, que les températures diminuent avec l'altitude. En effet, l'altitude impacte la pression atmosphérique, celle-ci diminue, ce qui donne le rapport suivant, une augmentation de 100m, entraîne une diminution de 0,55°C de la température de l'air (Douguédroit et De Saintignon, 1970). De plus, d'autres phénomènes entrent en compte comme la teneur en oxygène qui diminue et les UV qui augmentent avec l'altitude.
- L'orientation des vallées entraîne des vents différents, en force et en direction (Chatelard, 1930).
- Les versants Sud (appelés Soulane dans les Pyrénées) sont susceptibles d'avoir des températures plus chaudes en altitude et les versants Nord (appelé Ombré), une plus forte pluviométrie.
- Répartition de cortège végétal en étagement altitudinaux.

c. Les évolutions récentes

➤ Evolutions générales

Afin de comprendre les grandes tendances qui influencent les 5 RNR, il faut mesurer les évolutions récentes du climat, sur les 30 dernières années. À l'échelle des RNR, les stations météo locales ne couvrent pas encore suffisamment de temps et leurs données ne sont pas traitées ni comparables. De plus, les échelles régionales et pyrénéennes offrent une lecture suffisante et englobante facilitant la compréhension. Pour synthétiser, les données observées ont été remobilisées par les traitements de données et les analyses ont été réalisées par des climatologues de Météo France pour Climat HD, service proposé par Météo France, puis par des climatologues de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC). Ces analyses offrent une lecture solide des grands bouleversements en cours sur les RNR.

Tableau 1 : Evolutions récentes du climat dans la région

Indicateurs	Évolution régionale (Climat HD)	Évolution des Pyrénées (OPCC)
Température	↑ Hausse des températures moyennes ↑ Réchauffement plus marqué au printemps et en été ↓ Diminution des jours de gel ↑ Augmentation des vagues de chaleur ↑ Augmentation du nombre de journées chaudes	↑ Hausse des températures moyennes ↑ Réchauffement plus marqué en été.
Précipitation	⇒ Grande variabilité interannuelle du cumul de précipitations et légère diminution ↗ Augmentation de surface du sol touchée par la sécheresse ↗ Augmentation de l'assèchement du sol sur l'année	↘ Diminution du cumul des précipitations
Enneigement	↓ Durée d'enneigement > 50cm en diminution depuis 1980 ↗ Augmentation de la variabilité interannuelle	↓ Diminution du manteau neigeux

➤ Des températures plus chaudes

De 1900 à 2019, la température moyenne mondiale a augmenté de 1,1 °C et en France métropolitaine de 1,7 °C. Les 3 dernières décennies de cette période ont connu une accentuation sensible de la fréquence des vagues de chaleur.

ÉVOLUTION RÉGIONALE

Selon Climat HD

Hausse des températures moyennes en Occitanie de 0,3°C par décennie sur la période 1959-2009.

Réchauffement plus marqué au printemps et en été.

Diminution de jour de gel. De -1 à -3 jours de gel par décennie de 1961 à 2010 en ex-Midi-Pyrénées et de 0 à -1 en ex-Languedoc.

Augmentation des vagues de chaleur recensées depuis 1947. La canicule de 2003 a été la plus importante.

Augmentation du nombre de journées chaudes (TP max > à 25°C) de 3 à 6 jours par décennie. Les plus chaudes depuis 1947 ont été enregistrées lors des canicules de juin et juillet 2019.

ÉVOLUTION À L'ÉCHELLE DES PYRÉNÉES

Selon l'OPCC

Hausse des températures moyennes de 0,2°C par décennie sur la période 1949-2015 sur les versants nord et sud-pyrénéens.

Réchauffement plus marqué en été.

« Les anomalies négatives ont prédominé jusqu'en 1980, avec une tendance à la baisse des températures. À partir des années 1980, cette tendance s'est inversée, avec des anomalies positives systématiquement ascendantes, jusqu'à nos jours» (OPCC-CTP, 2018)



➤ Des précipitations variables en Occitanie, mais en diminution sur le massif

En France métropolitaine, de 1900 à 2019, les précipitations connaissent des évolutions différentes selon les régions et les saisons. Au nord de la France, on constate une augmentation des précipitations notamment en été et au sud une diminution des précipitations notamment en hiver.

ÉVOLUTION RÉGIONALE

Selon Climat HD

Grande variabilité interannuelle des cumuls de précipitations et diminution légère dans l'ex-Languedoc en été et en hiver. En ex-Midi-Pyrénées les précipitations sont très variables à l'année.

Augmentation de surface du sol touchée par la sécheresse de 5% en 1960 à + de 15% en ex-Midi-Pyrénées et 20% en Ex-Languedoc de nos jours.

7% du sol montre un assèchement sur l'année en moyenne autant sur la période de 1961-1990 que celle de 1981-2010 à l'exception générale de l'automne.

➤ *L'enneigement en diminution en moyenne altitude*

L'analyse des changements récents du manteau neigeux est complexe, dû notamment à un manque de mesures sur le long terme en haute altitude. Au col de Porte (1300m en Isère), les mesures de hauteur de neige au sol réalisées depuis 1960 montrent une baisse de l'enneigement moyen de 30 à 40% (Météo France, 2020b). Pour Climat HD, ce diagnostic peut être étendu sur l'ensemble de la France bien que les zones situées en haute altitude (supérieure à 2000 m) soient moins touchées par cette diminution.

ÉVOLUTION À L'ÉCHELLE DES PYRÉNÉES

Selon l'OPCC

Diminution du cumul des précipitations de 2,5 % par décennie 1949 à 2010 avec le versant espagnol un peu plus touché. Cette diminution semble un peu plus marquée en hiver et en été.



ÉVOLUTION RÉGIONALE

Selon Climat HD

Variabilité interannuelle forte pour une durée d'un enneigement > à 50 cm. La moyenne glissante sur 11 ans étant comprise entre 110 et 150 jours de neige.

Durée d'enneigement > 50 cm en diminution depuis 1980 malgré les bons enneigements constatés en 2009, 2013, 2014 et 2016.

ÉVOLUTION À L'ÉCHELLE DES PYRÉNÉES

Selon l'OPCC

Diminution du manteau neigeux de 1949 à 2010 selon le réseau de balises du versant sud des Pyrénées.



Le LIFE Natur'Adapt est constitué comme un guide. Afin de réaliser un récit climatique adapté aux RNR d'Occitanie du massif pyrénéen, un ensemble de choix ont été réalisés et constituent la méthode du récit. La méthode est **détaillée en annexe**.

➤ **Elaboration de la zone d'interdépendance**

Légende

- Limites de la RNR d'Aulon
- Zone d'interdépendance
- Cours d'eau

Fonds cartographiques SCAN
 Source : IGN 2016 ; Sandre 2019
 Réalisée par Adèle Lombart

Les enjeux abordés ici permettent de visualiser les territoires des acteurs à mobiliser pour la suite du projet d'adaptation au changement climatique et d'identifier les zones qui vont être directement impactées par les changements climatiques .

➤ Les données climatiques disponibles

Le périmètre ciblé dans le récit climatique futur correspond à celui de la RNR et de sa zone d'interdépendance. Les données disponibles correspondent au mieux à cette échelle sont celles par sous-massif.

Pour la RNR d'Aulon, il s'agit du sous-massif de Haute-Bigorre. L'intérêt est d'avoir le meilleur compromis d'échelle et d'avoir des données altitudinales tous les 300m. Ces données représentent une altitude et ses alentours. Le biais induit est de rendre invisibles les microclimats des RNR dû à l'orientation de versant par exemple.

La Figure 5 représente les tranches altitudinales présentes sur la Réserve ainsi que sur la zone d'interdépendance préalablement établie. Les tranches altitudinales ont été sélectionnées 150m en-dessous et 150m au-dessus du point altitudinal proposé par DRIAS. Par exemple, le point aux alentours de 2100m de DRIAS correspond à la tranche altitudinale de 1950 – 2250m. Le point le plus bas de la zone d'interdépendance est 737m alors que le point le plus haut est à 2831m.

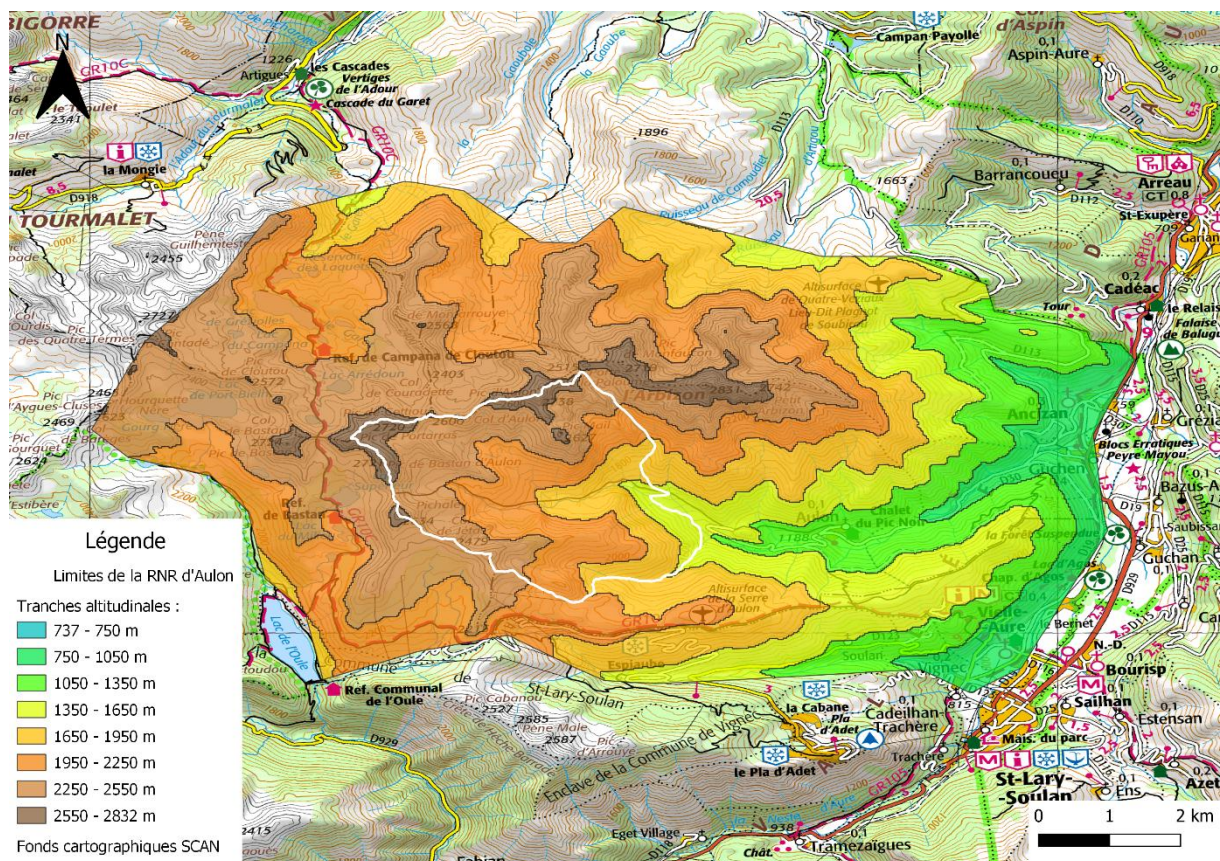


Figure 5 : Carte des reliefs de la RNR d'Aulon
Réalisée par Adèle Lombart

b. Les données récoltées

DRIAS est le service climatique retenu. Il a pour avantage d'être fourni par Météo France, d'avoir une grande diversité de modèles, un large choix d'indicateurs disponibles, des outils statistiques de traitement (médiane), et d'intégrer le travail de l'OPCC (lui-même adaptée aux Pyrénées par les sous-massifs et leur correction ADAMONT).

Un modèle est une représentation simplifiée du monde réel ainsi pour se projeter dans le futur, en avoir une représentation, il est nécessaire de travailler sur des données modélisées. Une multitude de modèles ont été constitués et sont souvent mis à jour. La combinaison d'un maximum de modèles permettra de réduire les incertitudes.

Afin d'avoir les plus grands regroupements de modèles, nous avons choisi de travailler avec la médiane des modèles disponibles et non pas les quantiles 1 et 3 pour avoir une vision de la tendance centrales. Dans le cas de DRIAS par sous-massif, on retrouve notamment le modèle IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace), CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques) et EURO-CORDEX (association de 11 modèles globaux et régionaux).

Les données des indicateurs sont disponibles selon des distributions temporelles différentes : annuelle, saisonnière, mensuelle, journalière. Le récit ayant pour objectif d'enrichir le DVO, la distribution choisie est mensuelle. En effet, les composantes naturelles subissent les changements climatiques au cours de leur cycle de vie évoluant au sein d'une année (phénologie). De même, les activités humaines, comme le pastoralisme, avec la montée en estive ou la fréquentation de loisir ne sont pas similaires sur l'ensemble de l'année. Dans ce contexte, la distribution journalière est trop précise et la distribution saisonnière selon les périodes administratives inclut un trop grand biais dans un contexte de changement climatique.

Le climat se travaille sur des périodes minimales de 30 ans. DRIAS, le service climatique retenu propose plusieurs pas de temps. Nous avons conservé le climat présent (de 1976 à 2005 ce qui correspond à la période de référence) et le climat futur selon 2 horizons : horizon proche (de 2021 à 2050) permettant de se situer à une échelle de gestion et l'horizon lointain (de 2071 à 2100), permettant d'identifier les grandes tendances.

Les quatre scénarios RCP (*Representative Concentration Pathway*) sont des scénarios de référence de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre sur la période 2006-2300. Leur élaboration a été effectuée par les scientifiques du GIEC ont analysées les projections et les ont regroupées en quatre trajectoires présentées dans la Figure 6 ci-dessous (ONERC, 2015).

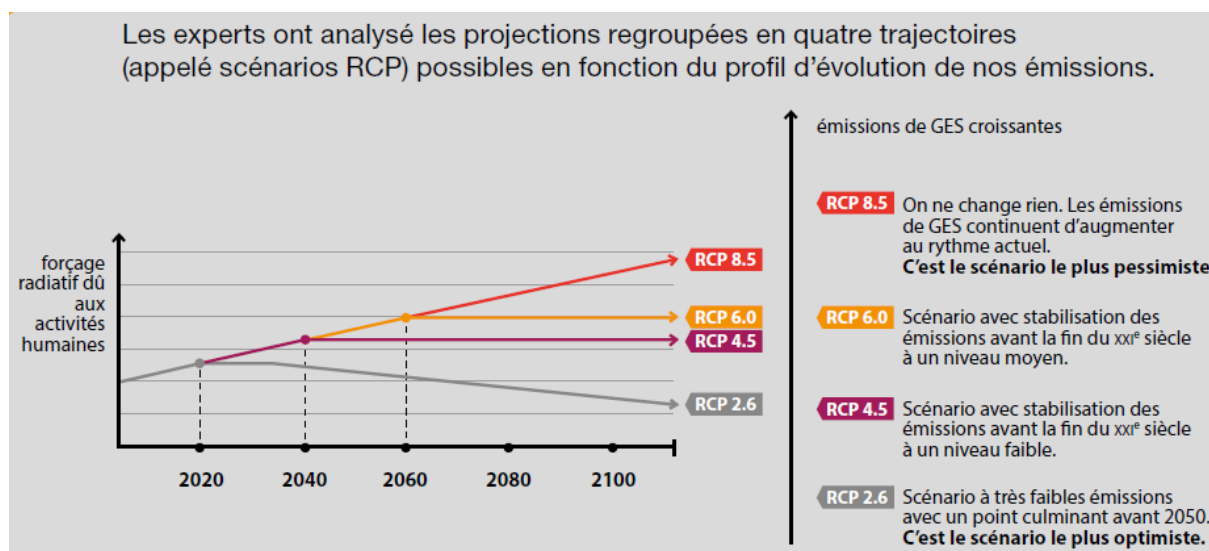


Figure 6 : 4 scénarios d'émissions de gaz à effet de serre pour le ^{XXI}ème siècle (ONERC, 2015)

Dans le récit climatique, nous mobilisons deux RCP :

- **RCP 4,5** : Stratégie de réduction où on atteint une stabilisation des émissions de GES. Ce scénario incite à passer à l'action.
- **RCP 8,5** : Scénario jugé pessimiste, sans mesures de réduction des émissions de GES (business as usual). Ce dernier est nécessaire à mobiliser, car il correspond au scénario le plus probable aujourd'hui.

L'avantage est de proposer une fourchette des évolutions possibles qui rend compte des incertitudes possibles concernant le climat futur. Le biais induit est qu'il s'agit de projections et non d'une science exacte, les données constatées dans le futur ne seront pas exactement les mêmes, et des événements imprévisibles pourront changer les tendances.

➤ **Indicateurs du changement climatique**

Pour l'évaluation des évolutions dans le temps, les indicateurs sont appréhendés sous deux dimensions : l'**anomalie** et l'**indice intégré**. Les climatologues travaillent en "anomalie" c'est-à-dire, les changements modélisés (+X°C par exemple en 2100) alors que l'indice intégré correspond à la situation finale cumulant la référence à l'anomalie (en 2100 il fera Y°C). Afin de mieux identifier les écarts, les indicateurs du récit climatique futur correspondent aux **anomalies**. Pour la diffusion au grand public, les indices intégrés peuvent être plus percutants et seront mobilisés ponctuellement sur le support de sensibilisation.

Les observatoires du changement climatique mobilisent des indicateurs associés de deux grands paramètres : les **températures** et les **précipitations**. Le choix des indicateurs dépend de la disponibilité de la donnée, mais aussi et surtout de sa pertinence au regard de l'exercice et du contexte des RNR. 10 indicateurs communs ont été sélectionnés, le tableau de sélection est présent dans le Tableau 2 (**+ tableau des indicateurs à ajouter en annexe !!**). Chaque indicateur sera présenté individuellement dans le récit climatique futur ainsi que sa pertinence pour la RNR.

Tableau 2 : Les 10 indicateurs sélectionnés

Paramètres	Températures	Précipitations	Enneigement
Indicateurs	- Température moyenne journalière - Température minimale journalière - Température maximale journalière - Amplitude thermique - Jours de gel - Jours de vague de chaleur	- Cumul de précipitations - Jours de sécheresse	- Epaisseur de neige moyenne - Jours de dépassement d'un seuil > à 50 cm

c. Choix du traitement des données

L'objectif du récit climatique n'est pas de modéliser les changements climatiques sur les RNR mais d'évaluer les tendances évolutives en s'appuyant sur des indicateurs les plus précis possible pour correspondre aux contextes des RNR.

L'objectif est donc de visualiser au mieux les données sans perdre en précision. Pour cela, seul un tableau permettait de lire les trois caractéristiques de données mois/altitude/valeurs. Le choix de la représentation a été difficile pour trouver l'équilibre entre une lecture rapide des résultats sans perdre le niveau d'information. Pour ces tableaux une colorimétrie a été utilisée :

- RCP4.5 – Horizon proche $\Rightarrow$ dégradé de jaune,
- RCP8.5 - Horizon proche $\Rightarrow$ dégradé d'orange,
- RCP4.5 – Horizon lointain $\Rightarrow$ dégradé de rouge,
- RCP8.5 – Horizon lointain $\Rightarrow$ dégradé de violet.

L'avantage est de pouvoir avoir une lecture fine des écarts au sein de même scénario/horizon en soulignant les écarts entre eux. Les données les plus alarmantes correspondant au RCP8.5 horizon lointain.

III. LE CLIMAT FUTUR, INDICATEUR PAR INDICATEUR

1. Les indicateurs de températures

L'indicateur global sur l'évolution des températures s'appuie sur l'analyse de multiples modèles climatiques. L'indicateur principal est celui des températures moyennes journalières, il s'agit de l'échantillon de températures journalières entier, moyennisé sur une journée puis sur 30 ans.

Cependant, plusieurs indicateurs se concentrent plutôt sur des phénomènes dit « exceptionnels », tels que les journées de vagues de chaleur et les journées de gel. Ces phénomènes exceptionnels, cumulés aux températures moyennes journalières sont le reflet direct de l'évolution climatique.

a. Température moyenne journalière

La température moyenne journalière est la moyenne des températures moyennes quotidiennes de la période.

➤ Climat présent

La description et l'analyse d'un indicateur est basé sur une période de référence, correspondant à un climat de référence sur une période d'au moins 30 ans, ici de 1976-2005, par rapport auquel les évolutions et anomalies sont calculées.

Tableau 3 : Période de référence de l'indicateur de températures moyennes journalières (1976 - 2005)

Températures moyennes journalières (°C)	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	-5,41	-5,58	-4,4	-2,32	0,72	4,68	8,67	9,32	5,46	1,83	-1,79	-3,97
2400 m	-3,89	-4,07	-2,75	-0,62	2,45	6,36	10,48	11,18	7,24	3,55	-0,1	-2,46
2100 m	-2,19	-2,38	-0,76	1,35	4,48	8,18	12,16	12,92	8,96	5,32	1,61	-0,88
1800 m	-0,63	-0,78	1,1	3,26	6,41	9,83	13,73	14,43	10,53	6,9	3,25	0,71
1500 m	0,7	0,59	2,79	4,95	8,2	11,16	15,02	15,66	11,77	8,18	4,5	2,11
1200 m	1,89	1,8	4,53	6,66	9,85	12,56	16,31	16,83	13,05	9,47	5,81	3,23
900 m	2,96	2,84	6,12	8,2	11,36	13,93	17,53	18	14,31	10,64	6,99	4,25
600 m	4,02	3,85	7,61	9,73	12,85	15,5	18,87	19,33	15,57	11,84	8,19	5,29

Le Tableau 3 nous indique les températures moyennes journalières du climat de référence, nous distinguons bien les variations de températures entre les saisons et les altitudes. En effet, le climat est caractérisé par des températures plus élevées dans les tranches altitudinales inférieures notamment en période estivale et des températures plus fraîches dans les hautes altitudes voire négatives en période hivernale.

➤ Prospective

Ces anomalies permettent de déterminer les écarts à la température moyenne journalière de référence. Les tableaux suivants représentent les anomalies (écart positif ou négatif) de température moyenne sur une journée. Les tableaux se lisent de gauche à droite, les premiers tableaux (Tableau 5) représentent le scénario 4.5 (à gauche), quant à celui de droite, il représente le scénario 8.5 pour le premier horizon temporel : 2021 – 2050. La seconde partie des tableaux (Tableau 4) suivent la même logique mais pour l'horizon plus lointain : 2071 – 2100. Les termes comme « important » et « faible » sont mentionnés à titre indicatif, en comparaison avec les autres mois de l'année.

Tableau 5: Anomalies des températures moyennes journalières pour 2021 - 2050

RCP 4.5												Anomalies des températures moyennes journalières (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1,14	1,05	0,85	1,07	1,10	1,67	1,33	1,17	1,03	1,50	0,73	1,43	2700 m	1,31	1,37	1,13	1,34	1,40	1,69	1,57	1,03	1,47	1,32	1,43	0,94
1,13	1,06	0,82	1,09	1,09	1,74	1,39	1,21	1,07	1,45	0,73	1,45	2400 m	1,30	1,40	1,17	1,34	1,41	1,69	1,62	1,08	1,50	1,34	1,42	0,96
1,09	1,03	0,88	1,13	1,18	1,74	1,44	1,27	1,12	1,46	0,75	1,38	2100 m	1,25	1,39	1,19	1,39	1,53	1,63	1,66	1,11	1,54	1,33	1,41	0,93
1,09	1,02	0,91	1,15	1,24	1,69	1,45	1,32	1,12	1,44	0,72	1,32	1800 m	1,23	1,40	1,18	1,40	1,59	1,55	1,67	1,10	1,52	1,31	1,38	0,95
1,10	1,03	0,88	1,15	1,22	1,59	1,47	1,34	1,08	1,48	0,73	1,36	1500 m	1,21	1,42	1,16	1,40	1,56	1,46	1,63	1,17	1,49	1,27	1,39	1,06
1,11	0,98	0,87	1,10	1,18	1,52	1,41	1,28	1,05	1,47	0,75	1,30	1200 m	1,21	1,42	1,13	1,37	1,53	1,41	1,60	1,13	1,45	1,26	1,33	1,08
1,16	0,98	0,83	1,06	1,14	1,44	1,35	1,24	1,03	1,48	0,81	1,34	900 m	1,22	1,38	1,08	1,30	1,49	1,32	1,55	1,07	1,45	1,25	1,28	1,12
1,17	0,97	0,78	1,06	1,12	1,32	1,30	1,19	1,06	1,48	0,80	1,34	600 m	1,19	1,35	1,04	1,29	1,49	1,19	1,46	1,01	1,45	1,25	1,27	1,12

Tableau 4 : Anomalies des températures moyennes journalières pour 2071 - 2100

RCP 4.5												Anomalies des températures moyennes journalières (2071 - 2100)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1,98	2,03	1,45	2,35	2,60	2,38	2,21	2,37	2,39	2,06	2,00	2,09	2700 m	4,30	3,86	3,46	4,62	4,60	4,41	4,33	4,34	4,40	3,64	4,17	4,79
1,98	2,04	1,48	2,35	2,61	2,50	2,26	2,45	2,42	2,08	2,01	2,04	2400 m	4,21	3,83	3,50	4,62	4,48	4,51	4,50	4,48	4,50	3,66	4,20	4,73
1,90	1,98	1,49	2,44	2,81	2,52	2,31	2,54	2,46	2,09	2,01	1,95	2100 m	4,03	3,66	3,59	4,78	4,85	4,51	4,60	4,66	4,55	3,71	4,19	4,52
1,89	1,97	1,51	2,51	2,88	2,46	2,34	2,54	2,47	2,07	2,00	1,93	1800 m	3,92	3,59	3,64	4,94	5,00	4,46	4,65	4,79	4,61	3,72	4,11	4,44
1,90	1,93	1,51	2,54	2,78	2,42	2,36	2,58	2,48	2,05	1,99	1,91	1500 m	3,96	3,63	3,65	5,00	4,97	4,47	4,74	4,87	4,65	3,71	4,05	4,51
1,85	1,87	1,51	2,46	2,71	2,31	2,29	2,57	2,46	2,04	1,98	1,90	1200 m	3,82	3,50	3,60	4,86	4,75	4,34	4,75	4,78	4,53	3,67	4,03	4,38
1,83	1,89	1,45	2,40	2,70	2,20	2,17	2,48	2,45	2,05	1,98	1,94	900 m	3,77	3,48	3,50	4,81	4,68	4,16	4,63	4,70	4,48	3,66	4,00	4,40
1,83	1,92	1,45	2,38	2,66	2,04	2,04	2,37	2,46	2,03	1,98	1,99	600 m	3,80	3,54	3,43	4,81	4,57	3,96	4,43	4,53	4,49	3,67	3,94	4,44

➤ Anomalies des températures moyennes journalières

Sur cet indicateur, il n'y a que des anomalies positives, ce qui indique un réchauffement général à tous les étages altitudinaux.

Horizon proche (2021 – 2050)

Selon le scénario 4.5, il y aurait un réchauffement plus conséquent sur le mois de juin avec une valeur maximum de **+1,74°C**, aux alentours de 2100m et 2400m. Les écarts les moins importants seraient situés aux mois de mars et novembre, la valeur minimale du réchauffement serait de **+0,72°C** à 1800m et globalement en dessous des +1°C, toutes altitudes confondues.

Selon le scénario 8.5, le réchauffement serait plus temporisé entre les mois de juin et juillet. Cependant, le maximum atteint serait de **+1,69°C**, en juin aux alentours de 2400m et 2700m. Toutefois, les anomalies seraient, de manière générale, plus importantes. Le mois de décembre serait le moins impacté, avec une valeur minimale de **+0,93°C**, à 2100m. Cependant, avec une vision d'ensemble, il est possible d'observer que les mois de mars, août et décembre seraient moins touchés par le réchauffement.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : +0,72°C à 1800m en novembre soit **≈ 3,97°C**

Ecart maximal : +1,74°C à 2100m et 2400m, en juin soit **≈ 9,92°C** et **8,1°C**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : +0,93°C à 2100m, en décembre soit **≈ 0,03°C**

Ecart maximal : +1,69°C aux alentours de 2400m et 2700m, en juin soit **≈ 8,05°C** et **6,37°C**

Il est important de noter que sur cet horizon temporel (2021 – 2050), il y a une faible évolution des anomalies de température moyenne journalière en fonction des altitudes. Sur ces 2 scénarios, les anomalies ne dépasseraient pas les +2°C.

Horizon lointain (2071 - 2100)

Selon le scénario 4.5, ce serait le mois de mai qui cumulerait les anomalies les plus importantes, avec une valeur maximale à **+2,88°C**, à 1800m. De manière générale, le réchauffement débiterait précocement, à partir d'avril jusqu'en septembre. Cette tendance se confirmerait lors du scénario 8.5, il est possible de constater un réchauffement d'avril à septembre, avec des anomalies atteignant jusqu'à **+5°C** à 1500m en avril et également à 1800m en mai.

Mars étant le mois le moins impacté par le réchauffement, les écarts entre mars et avril sont assez importants dans les deux scénarios. Durant cette période, nous pouvons constater une valeur minimale à **+1,45°C**, à 600m, 900m et 2700m en 4.5 et **+3,43°C**, à 600m également, avec le scénario 8.5.

Le Tableau 4 dans son ensemble montre des anomalies proches de **+2°C**, concernant le scénario 4.5. Et concernant le scénario 8.5, les anomalies seraient plutôt comprises entre **+3°C** et **+5°C**, toutes altitudes confondues. Par exemple, en décembre, dans le cadre du scénario 8.5, il serait possible d'observer une anomalie plus importante à 2700m (**+4,79°C**) qu'à 600m (**+4,44°C**).

➤ **Conclusion**

Les anomalies de cet indicateur nous montrent une tendance généralisée à se réchauffer par rapport à la période de référence, cela tendrait à être plus important à long terme dans le cadre du scénario 8.5. Les délimitations entre saisons deviendraient plus floues et il pourrait y voir un allongement de la période estivale puisque que les écarts sont plus importants à cette saison. La période hivernale subirait tout de même un réchauffement plus ou moins important selon les scénarios.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : +1,45°C à 600m, 900m et 3000m, en mars soit **≈ 9,06°C, 7,57°C et - 2,95°C**

Ecart maximal : +2,88°C à 1800m, en mai soit **≈ 9,29°C**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : +3,43°C à 600m, en mars soit **≈ 11,04°C**

Ecart maximal : +5°C à 1500m, en avril et à 1800m, en mai soit **≈ 9,95°C et 11,41°C**.

b. Température minimale journalière

Il s'agit de la moyenne des températures minimales quotidiennes de la période, c'est-à-dire la température minimale sur une journée, moyennisée sur 30 ans. Cet indicateur permet également d'observer et d'analyser les extrêmes moyens des températures, un paramètre essentiel pour la phénologie. Certaines espèces faunistique et floristique sont très sensibles aux variations des températures minimales.

➤ Climat présent

Tableau 6 : Période de référence de l'indicateur des températures minimales journalières (1976 - 2005)

Températures minimales journalières (°C)	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	-7,95	-8,25	-6,92	-4,98	-1,84	2,33	6,3	6,94	2,92	-0,47	-4,08	-6,62
2400 m	-6,58	-6,92	-5,47	-3,47	-0,26	3,97	8,06	8,74	4,62	1,17	-2,46	-5,28
2100 m	-4,79	-5,17	-3,44	-1,48	1,74	5,74	9,59	10,32	6,18	2,84	-0,71	-3,63
1800 m	-3,18	-3,54	-1,61	0,34	3,45	7,25	10,85	11,57	7,31	4,15	0,83	-2,05
1500 m	-2,16	-2,43	-0,1	1,78	4,73	8,13	11,56	12,27	7,99	4,96	1,69	-1
1200 m	-1,33	-1,61	1,14	2,97	5,69	8,83	12	12,68	8,7	5,81	2,61	-0,19
900 m	-0,47	-0,8	2,19	3,95	6,52	9,73	12,61	13,3	9,46	6,57	3,43	0,57
600 m	0,18	-0,21	3,1	4,93	7,41	11,04	13,58	14,31	10,25	7,28	4,17	1,25

Le Tableau 6 nous indique les températures minimales journalières du climat de référence, elles sont localisées plutôt dans les hautes tranches altitudinales. Les températures minimales journalières les plus élevées sont durant la période estivale (juin, juillet, août) aux altitudes inférieures, la valeur la plus haute atteint 14,31°C au mois d'août à 600m alors que la valeur la plus faible est de -8,25°C, en février à 2700m.

➤ Prospective

Tableau 7 : Anomalies des températures minimales journalières (2021 - 2050)

RCP 4.5												Anomalies des températures minimales journalières (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1,06	1,03	0,75	1,09	1,09	1,80	1,31	1,17	1,01	1,49	0,64	1,46	2700 m	1,23	1,14	1,04	1,17	1,25	1,99	1,73	0,98	1,37	1,42	1,35	0,87
1,05	1,07	0,75	1,10	1,13	1,85	1,34	1,21	1,07	1,52	0,63	1,41	2400 m	1,20	1,18	1,06	1,16	1,30	2,05	1,80	1,02	1,41	1,45	1,35	0,89
1,03	1,05	0,76	1,09	1,20	1,78	1,36	1,25	1,10	1,46	0,64	1,37	2100 m	1,17	1,19	1,13	1,19	1,36	1,93	1,76	1,05	1,41	1,39	1,33	0,86
1,00	1,01	0,79	1,07	1,19	1,68	1,32	1,24	1,08	1,38	0,55	1,41	1800 m	1,13	1,16	1,16	1,17	1,36	1,78	1,64	1,02	1,40	1,34	1,26	0,83
0,94	1,00	0,75	0,95	1,17	1,55	1,31	1,21	1,00	1,35	0,55	1,38	1500 m	1,09	1,13	1,03	1,18	1,25	1,62	1,58	0,97	1,38	1,28	1,19	0,86
0,97	0,92	0,69	0,89	1,19	1,37	1,19	1,13	0,93	1,28	0,60	1,28	1200 m	1,01	1,03	0,93	1,06	1,08	1,49	1,41	0,90	1,25	1,27	1,08	0,85
1,01	0,86	0,65	0,83	1,18	1,26	1,05	1,03	0,90	1,23	0,66	1,20	900 m	1,00	1,01	0,87	1,00	1,04	1,38	1,31	0,85	1,22	1,25	1,03	0,84
1,02	0,85	0,65	0,84	1,15	1,14	0,91	0,93	0,94	1,18	0,68	1,23	600 m	1,00	1,10	0,85	0,94	1,05	1,20	1,13	0,75	1,22	1,23	1,00	0,90

Tableau 8 : Anomalies des températures minimales journalières (2071 - 2100)

RCP 4.5												Anomalies des températures minimales journalières (2071 - 2100)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1,82	1,95	1,41	2,26	2,54	2,57	2,29	2,43	2,33	2,07	1,95	1,98	2700 m	4,25	3,67	3,40	4,49	4,40	4,65	4,25	4,35	4,01	3,76	4,16	4,64
1,78	1,96	1,47	2,31	2,56	2,66	2,38	2,50	2,40	2,04	1,93	1,91	2400 m	4,16	3,63	3,47	4,51	4,41	4,73	4,41	4,46	4,16	3,79	4,15	4,59
1,76	1,90	1,43	2,38	2,61	2,62	2,36	2,53	2,41	2,02	1,90	1,80	2100 m	3,92	3,46	3,48	4,56	4,60	4,59	4,38	4,51	4,21	3,78	4,02	4,27
1,75	1,89	1,42	2,37	2,55	2,47	2,25	2,40	2,31	1,97	1,83	1,83	1800 m	3,76	3,33	3,45	4,59	4,64	4,25	4,20	4,38	4,10	3,63	3,81	4,11
1,65	1,78	1,34	2,23	2,46	2,30	2,14	2,31	2,27	1,94	1,81	1,65	1500 m	3,66	3,25	3,29	4,40	4,46	4,00	4,13	4,31	3,98	3,54	3,70	3,99
1,60	1,64	1,31	2,05	2,28	2,11	1,93	2,15	2,21	1,88	1,78	1,53	1200 m	3,42	3,01	3,10	4,07	4,10	3,69	3,86	4,04	3,70	3,47	3,74	3,75
1,52	1,64	1,27	1,97	2,21	1,95	1,76	1,96	2,22	1,88	1,75	1,58	900 m	3,29	2,97	2,97	3,90	4,03	3,43	3,48	3,67	3,68	3,44	3,66	3,65
1,59	1,65	1,26	1,98	2,13	1,74	1,58	1,74	2,19	1,83	1,73	1,65	600 m	3,29	2,99	2,99	3,93	3,93	3,07	3,08	3,29	3,59	3,41	3,54	3,71

➤ Anomalies des températures minimales journalières

Sur cet indicateur, il n'y a que des anomalies positives, ce qui indique un réchauffement des températures minimales journalières à tous les étages altitudinaux.

Horizon proche (2021 – 2050)

Sur 30 ans, les anomalies de températures minimales sur une journée augmenteraient globalement selon le scénario 4.5. Ces valeurs seraient plus importantes dans les hautes tranches altitudinales. Les mois de mars et de novembre montreraient les températures minimales journalières les plus faibles, avec **+0,55°C**, en novembre à 1500m et 1800m. Alors que l'anomalie maximale se situerait en juin, à 2400m avec **+1,85°C**.

Selon le scénario 8.5, les mois d'août et de décembre seraient les mois où les anomalies seraient les plus faibles, avec une valeur minimale de **+0,83°C** en décembre à 1800m. Alors que les mois de juin et de juillet seraient ceux où les anomalies seraient les plus importantes, avec une anomalie maximum de **+2,05°C** en juin, à 2400m.*

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : +0,55°C à 1500m et 1800m, en novembre soit **≈ 2,24°C** et **1,38°C**

Ecart maximal : +1,85°C à 2400m, en juin soit **≈ 5,82°C**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : +0,83°C à 1800m, en décembre soit **≈ -1,22°C**

Ecart maximal : +2,05°C à 2400m, en juin soit **≈ 6,02°C**

Horizon lointain (2071 – 2100)

Selon le scénario 4.5, l'augmentation des anomalies se concentrerait entre mai et juin, avec une anomalie maximum de $+2,66^{\circ}\text{C}$ à 2400m en juin. Cette tendance se prolongerait sur la saison estivale et le début de l'automne. Les anomalies positives diminueraient pour la saison hivernale, en atteignant, un minimum en mars de $+1,26^{\circ}\text{C}$ à 600m.

Selon le scénario 8.5, les anomalies continueraient d'augmenter jusqu'à $+4,73^{\circ}\text{C}$ en juin, à 2400m (l'anomalie est ici plus élevée que la température de référence, qui est à $3,97^{\circ}\text{C}$). A 900m en février et mars, l'anomalie serait la plus faible avec une valeur de $+2,97^{\circ}\text{C}$.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : $+1,26^{\circ}\text{C}$ à 600m, en mars soit $\approx 4,36^{\circ}\text{C}$

Ecart maximal : $+2,66^{\circ}\text{C}$ à 2400m, en juin soit $\approx 6,63^{\circ}\text{C}$

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : $+2,97^{\circ}\text{C}$ à 900m, en février et mars soit $\approx 2,17^{\circ}\text{C}$ en février et **$5,16^{\circ}\text{C}$ en mars**

Ecart maximal : $+4,73^{\circ}\text{C}$ à 2400m, en juin soit $\approx 8,7^{\circ}\text{C}$

➤ **Conclusion**

- Les hautes altitudes seraient majoritairement plus impactées.
- Alors que les basses altitudes seraient globalement moins impactées par ce réchauffement bien qu'il y ait des anomalies importantes.
- 2400m est la zone où les températures minimales augmenteraient le plus.

c. Température maximale journalière

Moyenne des températures maximales quotidiennes de la période : la température maximum sur une journée, moyennisée sur 30 ans. Il permet également d'observer et d'analyser les extrêmes moyens des températures, un paramètre essentiel pour la phénologie.

➤ Climat présent

Tableau 9 : Période de référence de l'indicateur des températures maximales journalières (1976 - 2005)

Températures maximales journalières (°C)	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	-2,69	-2,92	-1,75	0,19	3,23	7,73	11,07	11,71	8,17	4,28	0,44	-1,34
2400 m	-0,97	-1,23	0,06	2,09	5,12	9,47	12,93	13,63	10,01	6,07	2,19	0,32
2100 m	0,57	0,36	1,97	4,02	7,2	11,29	14,8	15,53	11,92	7,88	3,86	1,79
1800 m	2,18	1,96	3,89	6,02	9,31	13,07	16,63	17,29	13,93	9,75	5,64	3,37
1500 m	3,8	3,59	5,76	7,97	11,53	14,78	18,52	19,05	15,73	11,41	7,28	5,07
1200 m	5,26	5,1	8,01	10,26	13,92	16,76	20,65	20,95	17,57	13,15	8,97	6,45
900 m	6,54	6,42	10,06	12,42	16,04	18,58	22,38	22,64	19,29	14,74	10,51	7,67
600 m	7,96	7,88	12,11	14,52	18,09	20,41	24,06	24,3	21,11	16,43	12,18	9,12

Le Tableau 9 nous indique les températures maximales journalières du climat de référence, elles sont localisées plutôt dans les basses tranches altitudinales. Elles augmentent en suivant le gradient altitudinal en période estivale. La valeur la plus haute atteint 24,3°C au mois d'août à 600m alors que la valeur la plus faible est de -2,92°C, en février à 2700m.

➤ Prospective

Tableau 10 : Anomalies des températures maximales journalières (2021 - 2050)

RCP 4.5												Anomalies des températures maximales journalières (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1,17	1,16	1,04	1,06	1,33	1,46	1,30	1,19	1,20	1,42	0,78	1,50	2700 m	1,26	1,59	1,03	1,48	1,56	1,50	1,41	1,02	1,41	1,28	1,51	1,08
1,16	1,15	0,96	1,09	1,25	1,50	1,35	1,24	1,22	1,46	0,76	1,49	2400 m	1,29	1,58	1,04	1,43	1,52	1,53	1,46	1,05	1,42	1,28	1,49	1,07
1,10	1,11	1,04	1,17	1,41	1,51	1,43	1,33	1,23	1,46	0,77	1,48	2100 m	1,26	1,53	1,06	1,60	1,69	1,55	1,53	1,14	1,48	1,34	1,50	1,07
1,06	1,14	1,09	1,20	1,49	1,55	1,51	1,40	1,22	1,51	0,77	1,46	1800 m	1,25	1,43	1,12	1,66	1,78	1,57	1,63	1,18	1,54	1,36	1,50	1,16
1,12	1,20	1,10	1,27	1,53	1,60	1,59	1,45	1,25	1,58	0,78	1,55	1500 m	1,36	1,53	1,22	1,69	1,83	1,62	1,71	1,21	1,53	1,38	1,54	1,31
1,04	1,17	1,13	1,27	1,48	1,66	1,60	1,44	1,27	1,63	0,78	1,50	1200 m	1,32	1,50	1,23	1,62	1,84	1,64	1,73	1,25	1,50	1,37	1,54	1,32
1,19	1,16	1,08	1,29	1,41	1,62	1,64	1,45	1,28	1,64	0,83	1,53	900 m	1,32	1,47	1,23	1,57	1,78	1,60	1,75	1,28	1,49	1,39	1,53	1,36
1,21	1,17	1,03	1,28	1,38	1,55	1,62	1,49	1,29	1,67	0,85	1,54	600 m	1,34	1,46	1,23	1,52	1,70	1,53	1,71	1,28	1,53	1,42	1,52	1,34

Tableau 11 : Anomalies des températures maximales journalières (2071 - 2100)

RCP 4.5												Anomalies des températures maximales journalières (2071 - 2100)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2,13	2,26	1,49	2,57	2,16	2,11	2,20	2,44	2,44	2,11	2,06	2,20	2700 m	4,50	4,13	3,50	4,76	4,62	4,16	4,28	4,36	4,92	3,63	4,04	5,04
2,16	2,27	1,54	2,55	2,06	2,16	2,27	2,56	2,46	2,14	2,09	2,18	2400 m	4,47	4,09	3,54	4,74	4,39	4,30	4,44	4,56	5,00	3,66	4,07	4,98
2,05	2,18	1,55	2,67	2,36	2,21	2,41	2,68	2,52	2,25	2,13	2,10	2100 m	4,36	3,96	3,69	5,00	4,96	4,36	4,66	4,79	5,13	3,87	4,15	4,84
2,04	2,12	1,61	2,80	2,48	2,26	2,53	2,88	2,62	2,27	2,16	2,04	1800 m	4,30	3,95	3,77	5,31	5,18	4,49	4,89	5,02	5,38	3,98	4,23	4,80
2,16	2,16	1,68	3,00	2,41	2,32	2,65	3,01	2,73	2,26	2,16	2,17	1500 m	4,47	4,10	3,90	5,59	4,98	4,66	5,19	5,32	5,49	4,05	4,31	5,07
2,15	2,11	1,70	3,03	2,38	2,30	2,72	3,07	2,76	2,31	2,18	2,27	1200 m	4,39	4,02	3,93	5,65	4,91	4,75	5,41	5,40	5,50	4,13	4,36	4,99
2,15	2,12	1,64	3,09	2,34	2,26	2,67	3,09	2,79	2,37	2,21	2,29	900 m	4,40	4,09	3,90	5,59	4,77	4,67	5,55	5,52	5,49	4,22	4,39	5,09
2,18	2,19	1,64	3,07	2,29	2,22	2,61	3,05	2,87	2,40	2,22	2,32	600 m	4,43	4,09	3,83	5,55	4,64	4,57	5,59	5,58	5,60	4,28	4,46	5,07

➤ **Anomalies des températures maximales journalières**

Sur cet indicateur, il n'y a que des anomalies positives, ce qui indique un réchauffement des températures minimales journalières à tous les étages altitudinaux.

Horizon proche (2021 – 2050)

Selon le scénario 4.5, l'anomalie la plus faible, **+0,76°C** serait atteinte en novembre, à 2400m. Tandis que l'anomalie la plus importante de **+1,67°C** se situerait en octobre à 600m. Ici, les altitudes inférieures seraient les plus affectées puisque c'est là où se situeraient les écarts les plus importants et lors de la période estivale (juin et juillet), ainsi que sur le mois d'octobre. En revanche, seul le mois de novembre aurait des écarts inférieurs à +1°C (excepté le mois de mars, à 2400m avec +0,96°C).

Selon le scénario 8.5, la tendance se confirmerait et les écarts importants se situeraient bien dans les basses altitudes, avec une valeur maximale à **+1,84°C** à 1200m, en mai. Alors que l'écart minimal des températures maximales journalières se situerait à 2700m, en août avec une valeur de **+1,02°C**. Hormis cette dernière, il n'y aurait pas de valeur inférieure à +1°C contrairement au scénario 4.5. De plus, les valeurs proches de +1°C se situeraient de manière globale dans les hautes altitudes en mars, août et décembre.

Horizon lointain (2071 – 2100)

Selon le scénario 4.5, les valeurs minimales de l'indicateur se situeraient majoritairement sur le mois de mars, avec une valeur minimale de **+1,49°C** à 2700m. Tandis que les anomalies les plus importantes, celles qui dépasseraient les +3°C seraient plutôt aux mois d'avril et d'août. L'écart maximum atteint serait en avril et en août, à 900m avec une valeur de **+3,09°C**.

Selon le scénario 8.5, la tendance se confirmerait et mars resterait le mois où les écarts seraient les plus faibles, particulièrement dans les hautes altitudes, avec une anomalie à **+3,50°C** à 2700m. Les écarts les plus importants seraient situés dans les basses altitudes, avec un écart maximum de **+5,65°C** à 1200m en avril, ce qui représente une augmentation de **+55%**. Sur les deux scénarios, le mois de septembre pourrait être également fortement impacté. La différence entre les deux scénarios est très nette, les anomalies doubleraient.

➤ **Conclusion**

- Les écarts les plus importants sont situés dans les basses altitudes.
- Ecart + important en 8.5 avec +5,65°C en avril = **augmentation de 55%**
- Un mois de mars faiblement impacté sur tous les scénarios et tous les horizons
- Avec scénarios 8.5 pour l'horizon I, le réchauffement est de plus en plus tôt. En 2050, pour le RCP 4.5, le réchauffement se localiserait plutôt en juin alors que pour le scénario 8.5, ce réchauffement serait en mai. Ce changement est plus marqué à l'horizon 2100 puisque le réchauffement se produirait cette fois, en avril, quel que soit le scénario. En revanche, il serait bien plus conséquent avec le scénario 8.5.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : +0,76°C à 2400m, en novembre soit **≈ 2,95°C**

Ecart maximal : +1,67°C à 600m, en octobre soit **≈ 18,1°C**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : +1,02°C à 2700m, en août soit **≈ 12,73°C**

Ecart maximal : +1,84°C à 1200m, en mai soit **≈ 15,76°C**

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : +1,49°C à 2700m, en mars soit **≈ -0,26°C**

Ecart maximal : +3,09°C à 900m, en avril et en août soit **≈ 15,51°C** en avril et **25,73°C** en août

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : +3,50°C à 2700m, en mars soit **≈ 1,75°C**

Ecart maximal : +5,65°C à 1200m, en avril soit **≈ 15,91°C**

d. Amplitude thermique journalière (°C)

L'amplitude thermique journalière représente la moyenne des températures maximales moins les températures minimales quotidiennes (Soubeyroux *et al.*, 2020), c'est-à-dire, la différence entre la température la plus chaude et la température la plus froide sur une période donnée, ici sur une journée (Triplet, 2022).

➤ Climat présent

Tableau 12 : Période de référence de l'indicateur de l'amplitude thermique °C (1976 - 2005)

Amplitude thermique (°C)	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	5,17	5,45	5,11	5,15	5,14	4,88	4,98	4,77	5,14	4,72	4,56	5,29
2400 m	5,56	5,84	5,46	5,52	5,5	5,01	5,07	4,88	5,24	4,91	4,68	5,66
2100 m	5,33	5,61	5,38	5,49	5,6	5,15	5,41	5,19	5,58	5,04	4,58	5,47
1800 m	5,3	5,6	5,44	5,62	5,9	5,35	5,95	5,73	6,48	5,56	4,83	5,42
1500 m	5,88	6,17	5,84	6,18	6,64	6,18	7,14	6,95	7,55	6,49	5,56	6,1
1200 m	6,58	6,81	6,79	7,25	8,03	7,57	8,7	8,52	8,57	7,45	6,32	6,79
900 m	7	7,24	7,83	8,31	9,33	8,57	9,79	9,54	9,52	8,3	7,06	7,22
600 m	7,79	8,08	8,97	9,41	10,48	9,19	10,53	10,13	10,57	9,31	8,06	8,04

Le Tableau 12 nous indique les amplitudes thermiques journalières du climat de référence, on peut observer une certaine cohérence vis-à-vis des altitudes. En effet, les amplitudes thermiques les plus élevées sont observées dans les tranches altitudinales inférieures et les amplitudes thermiques les moins élevées, dans les tranches altitudinales supérieures. Plus les données sont en rouge, plus les variations de températures sont importantes. Elles diminuent en suivant le gradient altitudinal. La valeur la plus haute atteint 10,57°C au mois de septembre à 600m alors que la valeur la plus faible est de 4,56°C, en novembre à 2700m.

➤ Prospective

Tableau 13 : Anomalies de l'amplitude thermique journalière °C (2021 - 2050)

RCP 4.5												Anomalies de l'amplitude thermique journalière (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
0,26	0,09	0,04	-0,05	0,27	-0,04	-0,14	-0,05	0,22	-0,07	0,01	0,17	2700 m	0,08	0,20	-0,01	-0,04	0,23	-0,15	-0,20	-0,12	0,04	-0,02	0,02	0,09
0,20	0,09	0,00	-0,02	0,18	-0,03	-0,13	-0,04	0,20	0,00	0,02	0,20	2400 m	0,08	0,20	-0,01	-0,03	0,14	-0,13	-0,18	-0,13	0,04	0,01	0,02	0,13
0,22	0,09	0,02	-0,02	0,36	-0,03	-0,03	-0,03	0,33	0,02	0,09	0,21	2100 m	0,02	0,24	0,01	0,08	0,25	-0,10	-0,15	-0,08	0,09	0,06	0,07	0,17
0,27	0,13	0,15	-0,02	0,50	0,09	0,14	0,21	0,41	0,13	0,12	0,20	1800 m	0,09	0,32	0,05	0,21	0,41	0,03	0,06	0,15	0,14	0,15	0,15	0,11
0,32	0,25	0,27	0,07	0,61	0,15	0,29	0,29	0,47	0,18	0,20	0,31	1500 m	0,22	0,41	0,26	0,38	0,55	0,09	0,25	0,23	0,25	0,17	0,23	0,33
0,28	0,25	0,32	0,29	0,65	0,24	0,43	0,36	0,55	0,21	0,19	0,38	1200 m	0,15	0,41	0,30	0,54	0,59	0,23	0,41	0,34	0,25	0,24	0,24	0,36
0,27	0,31	0,28	0,33	0,57	0,31	0,57	0,43	0,58	0,25	0,18	0,46	900 m	0,27	0,42	0,34	0,55	0,54	0,35	0,61	0,41	0,30	0,31	0,32	0,41
0,32	0,32	0,27	0,31	0,59	0,32	0,65	0,59	0,60	0,31	0,16	0,42	600 m	0,29	0,48	0,30	0,58	0,58	0,49	0,80	0,52	0,32	0,34	0,40	0,41

Tableau 14 : Anomalies de l'amplitude thermique journalière °C (2071 - 2100)

RCP 4.5												Anomalies de l'amplitude thermique journalière (2071 - 2100)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
0,36	0,26	0,02	0,12	0,23	-0,12	-0,17	-0,13	0,27	-0,16	-0,11	0,19	2700 m	0,63	0,52	-0,03	0,09	0,26	-0,14	0,19	-0,03	0,22	0,12	-0,08	0,45
0,39	0,29	0,04	0,09	0,15	-0,13	-0,20	-0,09	0,16	-0,14	-0,08	0,15	2400 m	0,67	0,51	-0,04	-0,04	0,09	-0,12	0,20	0,05	0,13	0,14	-0,04	0,43
0,43	0,27	0,05	0,12	0,24	-0,04	-0,11	0,03	0,25	-0,04	0,02	0,25	2100 m	0,62	0,60	0,08	0,35	0,24	0,11	0,32	0,23	0,25	0,36	0,15	0,59
0,45	0,35	0,01	0,28	0,39	0,08	0,15	0,28	0,40	0,12	0,16	0,25	1800 m	0,70	0,72	0,25	0,60	0,38	0,46	0,59	0,63	0,53	0,62	0,41	0,67
0,63	0,49	0,17	0,52	0,54	0,21	0,50	0,46	0,55	0,17	0,21	0,50	1500 m	1,02	1,04	0,48	0,99	0,65	0,80	1,06	0,98	0,74	0,73	0,54	1,09
0,62	0,48	0,31	0,82	0,53	0,38	0,73	0,70	0,77	0,28	0,26	0,53	1200 m	1,12	1,07	0,88	1,31	0,86	1,08	1,46	1,31	0,95	0,85	0,65	1,24
0,63	0,48	0,34	0,91	0,57	0,51	1,00	0,90	0,82	0,38	0,28	0,65	900 m	1,30	1,15	1,02	1,46	0,87	1,27	2,05	1,77	0,89	0,98	0,68	1,41
0,61	0,48	0,33	0,86	0,62	0,66	1,15	1,12	0,87	0,43	0,30	0,63	600 m	1,33	1,17	1,04	1,38	0,92	1,47	2,42	2,14	1,19	1,06	0,80	1,29

➤ Anomalies de l'amplitude thermique journalière

Ces deux tableaux (Tableau 13 et Tableau 14) représentent des anomalies positives (en couleurs) et des anomalies négatives (en gris). Le gris, signifie que l'amplitude thermique diminue donc que la différence entre la $t^{\circ} \text{ max}$ et $t^{\circ} \text{ min}$ rétrécit, donc $t^{\circ} \text{ min}$ augmente. Et quand l'anomalie est en couleur, cela signifie que l'anomalie est positive et donc que $t^{\circ} \text{ max}$ augmente.

Horizon proche (2021 – 2050)

Pour les 2 scénarios, les variations de températures seraient plus faibles dans les hautes altitudes et à contrario plus importantes dans les basses altitudes.

Selon le scénario 4.5, la variation la plus faible se situerait à 2700m, en juillet avec une valeur de **-0,14°C**. Alors que la variation la plus importante, de **+0,65°C** se situerait à 1200m en mai. Les variations seraient un peu plus importantes au mois de mai, toutes altitudes confondues. Le mois de septembre serait également confronté à une augmentation des variations thermiques journalières.

Selon le scénario 8.5, les variations les plus faibles seraient plutôt concentrées sur la période estivale aux mois de juin, juillet et août avec une valeur minimale de **-0,20°C** à 2700m en juillet. Tandis que la variation la plus importante se trouverait à 600m, en juillet, d'une valeur **+0,80°C**. Les anomalies les plus importantes seraient entre avril et août.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : -0,14°C à 2700m, en juillet
soit $\approx$ **4,84°C** d'amplitude thermique
Ecart maximal : +0,65°C à 1200m, en mai
soit $\approx$ **8,68°C** d'amplitude thermique

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : -0,20°C à 2700m, en juillet
soit $\approx$ **4,78°C** d'amplitude thermique
Ecart maximal : +0,80°C à 600m, en juillet
soit $\approx$ **11,33°C** d'amplitude thermique

Horizon lointain (2071 – 2100)

Pour les 2 scénarios, la tendance se confirmerait puisqu'il est possible d'observer une augmentation des variations de températures plus importantes dans les basses altitudes, alors que dans les hautes altitudes, l'amplitude thermique journalière serait plus faible.

Pour le scénario 4.5, certaines anomalies dépasseraient les $+1^{\circ}\text{C}$, notamment à 600m, en juillet avec une variation de $+1,15^{\circ}\text{C}$. Alors que l'écart le plus faible se situerait à 2400m, en juillet, avec une valeur de $-0,20^{\circ}\text{C}$. Les anomalies les plus faibles sont comprises entre les mois de juin et novembre.

Pour le scénario 8.5, les anomalies continueraient d'augmenter, dépassant les $+2^{\circ}\text{C}$, voir jusqu'à $+2,42^{\circ}\text{C}$, à 600m, en juillet. Tandis que la plus faible variation se situerait à 2700m, en juillet, avec une valeur de $-0,14^{\circ}\text{C}$. Il y a une diminution ici, des anomalies négatives.

➤ **Conclusion**

L'altitude diminue les écarts de températures dans une même journée, les zones basses verront leurs écarts déjà importants, s'accroître d'autant plus. L'évolution de l'amplitude thermique est marquée par une augmentation plus intense en saison estivale à basse altitude (entre 900m et 2100m), et principalement dans les mêmes altitudes pour l'ensemble des mois. A l'inverse, une diminution de l'amplitude thermique est marquée dans les tranches altitudinales supérieures. Cette dynamique saisonnière et altitudinale existe au niveau des deux horizons temporels.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : $-0,20^{\circ}\text{C}$ à 2400m, en juillet
soit $\approx 4,87^{\circ}\text{C}$ d'amplitude thermique

Ecart maximal : $+1,15^{\circ}\text{C}$ à 600m, en juillet
soit $\approx 11,68^{\circ}\text{C}$ d'amplitude thermique

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : $-0,14^{\circ}\text{C}$ à 2700m, en juillet
soit $\approx 4,84^{\circ}\text{C}$ d'amplitude thermique

Ecart maximal : $+2,42^{\circ}\text{C}$ à 600m, en juillet
soit $\approx 12,95^{\circ}\text{C}$ d'amplitude thermique

e. Jours de gel

Le gel est un terme qui désigne un abaissement de la température de l'air inférieur ou égale à 0°C (Météo France, 2022). L'indicateur portant sur les nombres de jours de gel permet de compléter les données précédentes. Il caractérise les événements extrêmes et l'impact d'un réchauffement sur les températures minimales. Le nombre de jours de gel impacte à la hausse les températures moyennes puisqu'il a un effet direct sur les températures minimales, il peut être considéré comme un bon marqueur de l'évolution climatique dans le cadre de la zone d'étude. Par exemple, il y a un lien fort entre les jours de gel et la phénologie de la faune et de la flore (Yoccoz, Delestrade, et Loison, 2010).

➤ Climat présent

Tableau 15 : Période de référence du nombre de jours de gel (1976 - 2005)

Nombre de jours de gel	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	30	27	29	26	21	9	1	0	6	15	23	28
2400 m	29	26	27	23	16	5	0	0	3	12	19	27
2100 m	27	25	24	19	10	2	0	0	1	7	16	24
1800 m	23	22	20	15	5	0	0	0	0	5	12	20
1500 m	21	20	15	10	2	0	0	0	0	3	10	17
1200 m	18	18	11	6	0	0	0	0	0	2	8	15
900 m	15	15	7	3	0	0	0	0	0	1	6	12
600 m	13	14	5	1	0	0	0	0	0	1	5	11

Le Tableau 15 indique les nombres de jour de gel du climat de référence, ce dernier est caractérisé par un nombre important de jours de gelée durant la période hivernale. Durant cette période, on constate une augmentation de plus en plus importante suivant le gradient altitudinal, avec une valeur maximale atteignant 30 jours de gel, à 2700m en janvier. La période estivale est caractérisée par l'absence de jours de gelée dans les tranches altitudinales inférieure.

➤ Prospective

Tableau 16 : Anomalies des nombres de jours de gel (2021 - 2050)

RCP 4.5												Anomalies des nombres de jours de gel (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
-1	0	-1	-1	-3	-3	0	0	-1	-3	-1	-1	2700 m	-1	-1	-1	-3	-4	-4	-1	0	-2	-4	-2	-1
-1	-1	-2	-2	-3	-2	0	0	-1	-3	-2	-2	2400 m	-1	-1	-2	-3	-5	-3	0	0	-2	-3	-2	-2
-2	-2	-3	-3	-2	-1	0	0	0	-3	-2	-3	2100 m	-2	-1	-2	-3	-3	-1	0	0	-1	-3	-3	-2
-2	-2	-2	-2	-1	0	0	0	0	-1	-1	-4	1800 m	-3	-2	-3	-3	-2	0	0	0	0	-2	-3	-2
-3	-2	-1	-2	0	0	0	0	0	-1	-1	-3	1500 m	-3	-2	-2	-3	0	0	0	0	0	-1	-3	-2
-3	-2	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-4	1200 m	-3	-3	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-2	-2
-3	-2	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	-3	900 m	-3	-3	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-2	-3
-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	600 m	-2	-3	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-3

Tableau 17 : Anomalies des nombres de jours de gel (2071 - 2100)

RCP 4.5												Anomalies des nombres de jours de gel (2071 - 2100)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
-2	-1	-2	-4	-5	-5	-1	0	-3	-5	-4	-3	2700 m	-5	-4	-5	-10	-13	-7	-1	0	-5	-9	-9	-8
-3	-2	-3	-5	-6	-4	0	0	-2	-5	-4	-4	2400 m	-7	-6	-6	-12	-12	-5	0	0	-3	-8	-10	-10
-5	-3	-3	-6	-5	-1	0	0	-1	-4	-5	-4	2100 m	-9	-7	-8	-12	-9	-2	0	0	-1	-5	-9	-11
-5	-4	-3	-6	-3	0	0	0	0	-2	-4	-5	1800 m	-10	-7	-9	-11	-5	0	0	0	0	-3	-8	-11
-5	-4	-4	-5	-1	0	0	0	0	-2	-4	-4	1500 m	-10	-8	-8	-8	-1	0	0	0	0	-2	-6	-10
-5	-4	-3	-3	0	0	0	0	0	-2	-3	-3	1200 m	-10	-8	-7	-4	0	0	0	0	0	-2	-6	-10
-5	-4	-2	-2	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	900 m	-8	-8	-5	-3	0	0	0	0	0	-1	-5	-9
-5	-4	-2	-1	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	600 m	-7	-8	-4	-1	0	0	0	0	0	-1	-4	-8

➤ Anomalies du nombre de jours de gel

Ces deux tableaux (Tableau 16 et Tableau 17) relèvent que des anomalies négatives, c'est-à-dire, une diminution des nombres de jours de gel ou une absence d'anomalie lorsque la valeur est égale à 0.

Horizon proche (2021 – 2050)

Selon le scénario 4.5, les écarts seraient compris entre 0 et -4 jours de gel. Cette dernière valeur correspond au mois de décembre à 1200m et 1800, ce qui correspondrait à une diminution de $\frac{1}{5}$ des jours de gel par rapport au climat de référence, à 1800m.

En revanche, dans le cadre du scénario 8.5, les anomalies seraient de plus en plus importantes, jusqu'à -5 jours de gel en mai à 2400m, ce qui correspond à une diminution de $\frac{1}{4}$ des jours de gel par rapport au climat de référence pour le mois mai à cette altitude précise. Les anomalies les plus importantes (environ -4 jours de gelée) se concentreraient sur les hautes altitudes : de 2400m à 300m, aux mois de mai, juin et octobre.

Scénario 4.5 :

Ecart maximal : - 4 jours de gel à 1200m et 1800m, en décembre soit ≈ 11 jours de gel et 16 jours de gel

Scénario 8.5 :

Ecart maximal : - 5 jours de gel à 2400m, en mai soit ≈ 12 jours de gel

Horizon lointain (2071 – 2100)

Selon le scénario 4.5, les tendances se poursuivraient, les anomalies augmenteraient jusqu'à **-6 jours de gel** et seraient de plus en plus importantes sur la période printanière (avril et mai) ainsi que sur la période automnale (octobre et novembre).

Ce constat s'affirmerait lors du scénario 8.5, il y aurait une maximale de **-13 journées de gel** en mai, à 2700m, cette diminution représente 61% de jours de gel en moins par rapport au climat actuel.

Scénario 4.5 :

Ecart maximal : - 6 jours de gel compris entre 1800m et 2400m compris en avril et en mai soit $\approx$ **16 jours de gel et 19 jours de gel**

Scénario 8.5 :

Ecart maximal : - 13 jours de gel à 2700m, en mai soit $\approx$ **8 jours de gel**

➤ **Conclusion**

- Les jours de gel sont en diminution et on pourrait perdre jusqu'à la moitié des jours de gel actuel annuels
- Indicateur qui traduit réellement l'impact de l'augmentation des températures minimales
- Pour les basses altitudes, la perte du nombre de jours de gel pourrait correspondre au nombre de jour de gel actuel, ce qui ferait des jours de gel un événement rare.

f. Nombres de jours de vague de chaleur

Les vagues de chaleur sont définies par des températures maximales supérieures de +5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs. « On détermine les jours pour lesquels la température maximale quotidienne dépasse de plus de 5 °C une valeur climatologique de référence, mais en ne sommant que les jours appartenant à une série de plus de cinq jours chauds consécutifs. La valeur de référence de chaque jour de l'année est la moyenne glissante sur cinq jours du cycle annuel moyen de la température maximale quotidienne simulée pour la période 1976-2005 » (Soubeyroux et al., 2020). Ainsi, les nombres de jours indiqués sont ceux qui s'additionnent à 5 jours de chaleur. Pour comparaison, lors de vagues de chaleur la température redescend la nuit à la différence des canicules.

Ces successions de journées anormalement chaudes présentent un intérêt particulier pour les zones sensibles puisque ce phénomène peut avoir d'importants impacts sur l'environnement, la biodiversité et même les habitants. Cet indicateur participe à la hausse des températures moyennes journalières et est un bon marqueur de l'évolution climatique. C'est aussi un bon indicateur marquant pour le public, puisqu'il est perceptible. Ces vagues de chaleur peuvent également avoir lieu durant la période hivernale, on parle alors de vagues de douceur.

Il s'agit d'une approche récurrente, ce qui peut provoquer des impacts plus importants que des événements ponctuels, au niveau de la couverture neigeuse, des zones humides ou encore de la fréquentation touristique de la réserve.

➤ Climat présent

Tableau 18 : Période de référence du nombre de jours de vague de chaleur (1976 – 2005)

Nombre de jours de vague de chaleur	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2400 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1800 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1500 m	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1200 m	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
900 m	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
600 m	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Le Tableau 18 nous indique le climat actuel qui ne présente qu'un maximum d'un jour de chaleur consécutif à une vague de 5 jours. Le phénomène n'est observé qu'au mois d'avril pour les altitudes comprises entre 600 et 1500m et un jour en mai à 900m.

➤ Prospective

Tableau 19 : Anomalies des nombres de jours de vague de chaleur (2021 - 2050)

RCP 4.5												Anomalies des nombres de jours de vague de chaleur (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1	1	2	1	1	1	0	1	1	0	1	1	2700 m	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
1	1	2	1	1	1	0	1	0	0	1	0	2400 m	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2100 m	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
1	1	2	1	2	1	1	1	1	0	1	0	1800 m	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
1	1	2	1	2	1	1	1	0	0	1	0	1500 m	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1
0	1	2	1	2	1	1	1	1	0	1	0	1200 m	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1
1	1	2	1	1	1	1	1	0	0	1	0	900 m	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	600 m	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau 20 : Anomalies des nombres de jours de vague de chaleur (2071 - 2100)

RCP 4.5												Anomalies des nombres de jours de vague de chaleur (2071 - 2100)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
3	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	3	2700 m	8	6	6	7	6	5	5	6	6	4	6	10
3	2	1	2	2	2	2	2	3	1	3	3	2400 m	8	6	5	8	6	5	6	6	6	4	6	9
3	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2100 m	8	6	6	7	7	5	7	6	6	5	6	9
3	2	2	3	3	2	3	2	3	1	2	2	1800 m	7	6	6	8	8	6	7	7	6	5	6	8
3	2	2	3	2	2	3	2	3	1	2	2	1500 m	7	6	6	10	7	6	7	7	7	5	6	9
3	2	2	3	2	2	3	2	3	1	2	3	1200 m	7	6	6	10	6	5	7	6	6	6	6	8
3	2	2	3	2	2	3	2	3	1	2	3	900 m	7	5	6	9	6	6	7	6	7	6	5	9
3	2	2	3	2	1	3	2	3	2	2	3	600 m	7	5	5	9	6	5	7	7	7	6	5	8

➤ Anomalies du nombre de jours de vague de chaleur

Cet indicateur présente des anomalies exclusivement positives ou nulles, cela implique donc une augmentation générale du nombre de jours de vague de chaleur à toutes les saisons et à tous les étages altitudinaux.

Horizon proche (2021 – 2050)

Pour les deux scénarios, les anomalies du nombre de jours de vague de chaleur varient entre **0 et 2 jours**. Au niveau du scénario RCP4.5, une augmentation plus prononcée est observée en mars sur toutes les altitudes et mai entre 1200m et 1800m. Tandis que pour le scénario 8.5, cela concerne majoritairement la période printanière, c'est-à-dire mars, avril puis juin ainsi qu'en juillet entre 1200m et 1500m. Ce scénario ne compte pas d'anomalies nulles.

Pour ces deux scénarios, il est compliqué d'extraire des tendances.

Horizon lointain (2071 – 2100)

Au niveau du scénario RCP4.5, les anomalies varient entre **+1 et +3 jours**. Et pour le RCP8.5, les anomalies varient entre **+4 et +10 jours**.

Selon le scénario 4.5, le nombre de jours de vague de chaleur serait en légère augmentation mais de façon plus dispersée sur l'année et également sur les altitudes.

Selon le scénario 8.5, le mois de décembre semblerait bien impacté, toutes altitudes confondues. Un pic serait atteint en avril à 1200m et 1500m.

2. Les indicateurs de précipitations

a. Cumul précipitations (mm)

Le cumul des précipitations représente la somme des précipitations liquides et solides (Soubeyrou et al., 2020). Cet indicateur correspond à la hauteur d'eau cumulée sur une période, ici par mois. Il s'exprime en millimètres.

➤ Climat présent

Tableau 21 : Période de référence du cumul précipitations en mm (1976 - 2005)

Cumul précipitations (mm)	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	211,6	166,6	197,9	189,8	161,4	199,8	107,9	113,1	104,8	174,0	230,7	175,8
2400 m	201,1	160,7	190,6	179,8	150,5	184,2	99,4	106,7	101,1	167,0	217,7	164,8
2100 m	186,2	147,9	178,5	168,8	145,2	177,1	93,5	98,6	105,9	150,7	187,9	156,1
1800 m	180,9	144,8	177,6	164,1	129,6	163,9	90,5	93,9	103,4	142,5	184,7	149,8
1500 m	174,0	142,7	168,9	155,6	125,0	160,3	85,8	89,6	102,7	137,9	170,1	142,2
1200 m	163,3	136,2	160,9	147,3	124,8	156,1	83,3	86,7	100,5	136,7	164,4	136,9
900 m	154,1	128,6	151,1	138,2	122,9	148,1	79,0	82,6	97,0	133,0	156,7	135,1
600 m	142,5	114,8	133,4	126,7	117,0	134,9	71,9	75,2	86,9	121,2	142,9	126,3

Le Tableau 21 nous indique le cumul mensuel des précipitations par altitude du climat de référence, elles sont localisées plutôt dans les basses tranches altitudinales. Plus les données sont en rouge, plus le cumul de précipitation est faible alors qu'en bleu, sont exprimées les valeurs de précipitations les plus importantes. La valeur la plus haute est de 230,7 mm au mois de novembre à 2700m alors que la valeur la plus faible est de 71,9mm, en juillet à 600m. Les mois de juillet, août et septembre sont nettement marqués par de faibles précipitations quelle que soit l'altitude. On note tout de même que les précipitations sont plus importantes en altitude.

➤ Prospective

Tableau 22 : Anomalies du cumul de précipitations en mm (2021 - 2050)

RCP 4.5												Cumul précipitations en mm (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
0,3	16,6	3,6	-6,2	-2,1	-7,8	-4,7	-9,8	-21,9	-21,0	3,6	-9,9	2700 m	-24,3	14,1	2,5	-14,5	-24,5	-12,9	-6,8	-8,1	-24,7	-20,1	-4,0	12,1
-4,7	13,1	3,8	-6,9	2,1	-4,3	-5,5	-8,6	-20,4	-27,6	-0,9	-9,8	2400 m	-24,9	13,1	0,6	-20,4	-20,8	-8,5	-3,4	-5,9	-20,3	-20,1	-4,1	10,0
-2,0	15,2	2,4	-5,9	-3,0	0,4	-6,0	-7,9	-22,0	-18,2	5,1	-5,0	2100 m	-22,4	10,0	7,2	-18,7	-18,4	-10,5	-5,5	-5,5	-17,0	-9,5	3,3	5,9
-8,3	13,5	0,3	-9,7	-3,8	1,5	-5,3	-7,1	-20,5	-18,3	9,9	-11,1	1800 m	-20,0	3,1	5,9	-19,6	-16,1	-11,2	-3,5	-5,6	-14,8	-6,8	-0,9	2,6
0,0	12,0	1,3	-7,6	-0,8	2,0	-4,8	-7,2	-21,3	-14,4	7,8	-9,9	1500 m	-14,8	2,2	3,9	-19,1	-14,2	-10,0	-4,5	-5,0	-16,1	-4,7	-0,2	6,6
-0,4	11,7	-1,0	-2,9	1,8	1,5	-5,0	-6,6	-20,6	-11,6	9,1	-6,4	1200 m	-19,8	6,8	2,4	-10,1	-12,4	-10,0	-4,2	-5,3	-16,0	-4,7	-1,4	8,6
-0,7	14,3	-2,3	-3,6	3,8	1,9	-4,2	-6,6	-19,0	-10,2	12,1	-5,7	900 m	-16,3	8,8	-2,7	-5,0	-11,8	-9,7	-3,9	-5,1	-16,1	-3,1	0,3	11,9
2,4	15,5	1,3	-2,1	3,4	1,3	-4,2	-5,9	-17,0	-9,5	11,2	-4,9	600 m	-14,9	11,6	1,0	-1,5	-11,4	-9,2	-3,4	-4,3	-14,4	-2,9	0,5	11,1

Tableau 23 : Anomalies du cumul de précipitations en mm (2071 - 2100)

RCP 4.5												Cumul de précipitations en mm (2071 - 2100)		RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec			Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
-37,9	6,4	-5,5	-14,2	-22,8	-5,4	-16,8	-14,4	-36,6	-34,1	-2,6	0,8	2700 m	-26,0	18,1	-31,9	-30,9	-44,0	-53,1	-46,0	-41,0	-49,5	-63,9	-31,7	-33,8	
-34,3	2,0	-4,3	-14,8	-21,0	-0,3	-14,7	-14,3	-30,5	-32,0	3,3	-4,0	2400 m	-32,3	9,6	-30,4	-31,4	-43,2	-47,8	-40,9	-37,8	-43,6	-53,0	-36,0	-36,7	
-28,4	5,3	-1,2	-22,7	-23,7	1,3	-14,1	-14,2	-30,4	-23,0	11,3	-4,8	2100 m	-29,6	7,6	-29,9	-31,3	-40,0	-51,1	-39,5	-36,0	-41,4	-26,0	-20,9	-33,9	
-32,9	4,7	-5,3	-24,6	-18,2	3,4	-13,6	-12,5	-27,5	-20,8	13,6	-9,5	1800 m	-27,3	7,1	-30,2	-34,2	-32,4	-41,0	-37,0	-34,4	-38,8	-22,4	-18,6	-40,2	
-31,4	4,7	-10,9	-17,6	-15,0	3,7	-12,4	-12,8	-28,2	-17,1	13,0	-8,9	1500 m	-27,7	6,3	-25,7	-34,9	-26,9	-43,1	-36,7	-33,0	-39,3	-19,1	-10,6	-33,9	
-29,7	1,3	-6,7	-15,6	-9,4	3,8	-12,0	-11,9	-27,6	-16,4	16,0	-5,2	1200 m	-22,1	7,8	-22,9	-26,2	-23,3	-42,3	-35,3	-32,0	-37,3	-16,3	-8,1	-25,5	
-24,3	4,8	-0,7	-12,8	-8,7	3,8	-11,3	-11,9	-27,0	-15,1	16,4	-1,0	900 m	-15,2	13,8	-19,5	-25,1	-22,9	-39,6	-33,6	-31,0	-36,2	-16,0	-3,0	-16,8	
-22,1	7,4	-0,2	-8,8	-8,1	3,3	-10,1	-10,8	-24,2	-14,0	13,0	4,0	600 m	-8,4	23,7	-13,4	-17,4	-21,2	-35,4	-30,9	-27,9	-33,0	-15,2	-3,9	-8,7	

➤ Anomalies du cumul des précipitations

Cet indicateur est intéressant pour suivre l'évolution du cumul des précipitations et identifier s'il y a des tendances déficitaires ou excessives.

Horizon proche (2021 – 2050)

Selon le scénario 4.5, faibles anomalies négatives généralement car plutôt dans les couleurs claires (aux alentours de 0 mm), la plus faible valeur est **-27,6mm** en octobre à 2400m. Les mois de septembre et octobre seraient majoritairement déficitaires, il s'agirait des mois qui auraient les plus fortes anomalies négatives, aux alentours de -20 mm. Le mois de février serait le mois où les précipitations seraient en excès, avec une valeur atteignant **+16,6 mm**, à 2700m.

Selon le scénario 8.5, par rapport au scénario 4.5, les anomalies positives de février diminueraient en atteignant tout de même un maximum de **+14,1 mm** en, à 2700m. On constate également la présence d'anomalies positives régulièrement sur les mois de décembre et de mars. Ce serait en septembre également qu'on trouverait l'écart négatif le plus important de **-24,7 mm** à 2700m.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : -27,6mm à 2400m, en octobre soit **≈ 139,4 mm**

Ecart maximal : +16,6 mm à 2700m, en février soit **≈ 183,2mm**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : -24,7 mm à 2700m, en septembre soit **≈ 80,1 mm**

Ecart maximal : +14,1 mm à 2700m, en février soit **≈ 180,7 mm**

Horizon lointain (2071 – 2100)

Selon le scénario 4.5, les anomalies positives auraient tendance à diminuer avec une valeur maximale de **+16,4 mm** à 900m en novembre. Pour comparaison, le mois de février compterait de plus faibles valeurs positives par rapport à l'horizon proche. En revanche, les anomalies négatives sont de plus en plus importantes. Les mois les plus impactés seraient janvier, septembre et octobre. La valeur minimale serait atteinte en janvier avec **-37,9 mm** à 2700m, ce qui représenterait une diminution de 37,3% des précipitations par rapport à la période de référence. La période estivale ne serait pas en reste également puisqu'elle cumulerait des écarts négatifs hormis le mois de juin qui aurait quelques anomalies positives jusqu'à 2100m.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : -37,9 mm à 2700m, en janvier soit **≈ 173,7 mm**

Ecart maximal : +16,4 mm à 900m, en novembre soit **≈ 173,1 mm**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : -63,9 mm à 2700m, en octobre soit **≈ 110,1 mm**

Ecart maximal : +23,7 mm à 600m, en février soit **≈ 138,5 mm**

Le scénario 8.5 serait le scénario qui serait le plus déficitaire puisque seul le mois de février aurait des anomalies positives, jusqu'à **+23,7 mm** à 600m, cette dernière serait la plus importante horizons et scénarios confondus. Ce qui représenterait une augmentation de 15,5%. Le reste de l'année serait largement déficitaire atteignant jusqu'à une perte de **-63,9 mm** à 2700m en octobre, soit une diminution de 36,7% de précipitations par rapport au climat de référence, à la même période.

➤ **Conclusion**

Pour l'ensemble des scénarios, la tendance globale est la diminution du cumul de précipitations. Néanmoins, les précipitations présentent une grande variabilité inter mensuelle, avec par exemple, des anomalies positives qui pourraient être observées durant le mois de février, horizon et scénario confondus. Cependant, de manière générale, les anomalies positives auraient tendance à décroître en fréquence et en intensité. Septembre et octobre seraient les mois les plus déficitaires quel que soit l'horizon et le scénario.

b. Période de sécheresse en jours

L'indicateur du nombre de jours de sécheresse permet de caractériser l'intensité des sécheresses du point de vue météorologique, il s'agit du le nombre maximum de jours secs consécutifs. Un jour sec est un jour où les précipitations quotidiennes lui correspond n'ont pas excédé 1 mm (Soubeyroux et al., 2020). Il n'indique pas la fréquence mais la durée maximale d'une période de sécheresse par mois et par altitude.

➤ Climat présent

Tableau 24 : Période de référence de l'indicateur de période de sécheresse en jours (1976 – 2005)

Période de sécheresse (jours)	Référence (1976-2005)											
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2700 m	7	6	5	5	6	5	7	7	7	7	6	7
2400 m	7	6	5	5	6	5	7	8	7	7	6	8
2100 m	7	6	5	5	6	5	8	8	8	7	6	7
1800 m	7	6	6	5	6	5	8	8	8	7	7	7
1500 m	7	6	6	5	6	6	8	8	8	7	7	7
1200 m	7	7	6	5	5	6	8	8	8	7	7	8
900 m	8	7	6	5	6	6	8	8	8	7	7	8
600 m	8	7	6	5	6	6	8	8	8	7	7	8

Le Tableau 24 nous indique les jours de sécheresse par altitude du climat de référence, elles sont localisées plutôt dans les basses tranches altitudinales. Plus les données sont en rouge, plus le nombre de jours de sécheresse est élevée. Les valeurs sont comprises entre 5 et 8 jours consécutifs sans précipitations, à toutes altitudes confondues. La valeur la plus haute est de 8 jours consécutifs, bien définis entre la fin de la période estivale et le début de l'automne, c'est-à-dire en juillet, août et septembre mais également en janvier aux plus basses altitudes (600m et 900m) et en décembre.

➤ Prospective

Tableau 25 : Anomalies des périodes de sécheresse en jours (2021 - 2050)

RCP 4.5												Période de sécheresse en jours (2021 - 2050)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2700 m	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2400 m	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	2100 m	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1800 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1500 m	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1200 m	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	900 m	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	600 m	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 26 : Anomalies des périodes de sécheresse en jours (2071 - 2100)

RCP 4.5												Période de sécheresse en jours (2071 - 2100)	RCP 8.5											
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	2700 m	0	0	1	1	2	2	3	3	2	1	0	2
0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	2400 m	0	0	1	1	2	2	3	2	1	0	0	2
0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	2100 m	0	0	1	1	2	2	3	3	2	1	0	1
0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	1800 m	0	0	1	1	1	2	3	3	1	0	0	1
0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	1500 m	0	0	0	1	1	2	2	3	2	1	0	1
0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1200 m	0	0	0	1	1	2	3	3	2	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	900 m	0	0	1	1	1	3	3	3	2	1	0	0
0	-1	0	0	1	0	1	2	2	0	0	0	600 m	0	0	1	1	2	2	3	2	2	1	0	0

➤ **Anomalies des périodes de sécheresse**

Horizon proche (2021 – 2050)

Selon le scénario 4.5, les valeurs sont comprises entre **-1 et +1 jours** avec des précipitations inférieures à 1mm. En février à 600m, il y aurait une perte de 1 journée de sécheresse, passant alors de 7 jours à 6 jours de sécheresse.

Selon le scénario 8.5, les anomalies seraient un peu plus dispersées entre les mois d'avril, de juillet et de septembre. Ce serait en avril où il y aurait le plus d'anomalies positives avec + 1 jours de sécheresse, ce qui passerait à 6 jours.

Horizon lointain (2071 – 2100)

Selon le scénario 4.5, les anomalies seraient comprises entre **-1 et +2 jours de sécheresse**. On retrouverait l'anomalie négative (-1 jours de sécheresse) en février à 600m. Les anomalies positives seraient ici plutôt concentrées entre mai et octobre. Le mois d'août concentrerait les valeurs les plus importants, soit +2 jours de sécheresse ainsi que altitudes inférieures à 1200m en septembre.

Selon le scénario 8.5, il n'y aurait que des anomalies positives. Les anomalies de jours de sécheresse augmenteraient sur quasiment tous les mois, sauf janvier et février. Les anomalies sont majoritairement réparties sur la saison estivale mais elles débuteraient en mars et finiraient en décembre. L'écart le plus important serait de **+3 jours de sécheresse** en juillet et en août, ce qui feraient environ 12 jours consécutifs sans précipitations, ce qui représente environ 40% du mois.

➤ **Conclusion**

Hormis le scénario 4.5 qui comprend un écart négatif donc une perte d'un jour de sécheresse, il n'y aurait que des anomalies positives. La saison estivale serait fortement impactée dans tous les scénarios et horizons. En revanche, cela débiterait plus tôt et finirait plus tard, à l'horizon 2100, dans le scénario 8.5, empiétant sur la saison automnale. Les mois de juillet et août seraient les plus impactés. Ce dernier scénario est visuellement très impactant puisque les jours de précipitations inférieures à 1 mm augmenteraient sur toute l'année.

3. Les indicateurs d'enneigement

a. Epaisseur de neige moyenne (cm)

L'épaisseur moyenne de neige, en centimètre (cm), est un indicateur représentatif du climat moyen. L'étude de l'enneigement est essentielle pour les milieux montagnards, étroitement lié à la température, il joue un rôle majeur au niveau des écosystèmes de montagnes, de la ressource en eau, des risques naturels et des activités humaines tel que le tourisme.

➤ Climat présent

Tableau 27 : Période de référence de l'épaisseur de neige moyenne (1976 - 2005)

Epaisseur de neige moyenne (cm)	Référence (1976-2005)					
	Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec
2700 m	167	208	241	253	54,7	112
2400 m	141	182	208	207	38,9	88,6
2100 m	94,2	126	140	122	19,7	49,4
1800 m	62	84,2	87,3	60,7	10,4	29,7
1500 m	33,4	47,3	41,3	17,5	4,19	15,6
1200 m	18,4	24	16,1	3,66	1,37	8,25
900 m	6,91	8,12	3,39	0,37	0,33	3,5
600 m	1,66	1,86	0,59	0,02	0,09	0,97

Le Tableau 27 nous indique l'épaisseur de neige moyenne (en centimètres) par altitude du climat de référence, plus les données sont en bleues, plus l'épaisseur de neige est élevée. La couverture neigeuse est plus importante dans les hautes tranches altitudinales. Les valeurs sont comprises entre 0 et 253 cm de neige. Cette dernière valeur correspond au mois d'avril à 2700m d'altitude. A partir de mai, en moyenne l'épaisseur de neige est équivalente à 0cm toutes altitudes confondues et ce jusqu'au mois d'octobre compris.

➤ Prospective

Tableau 28 : Anomalies de l'épaisseur moyenne de neige (2021 - 2050)

RCP 4.5						Anomalies de l'épaisseur de neige moyenne (2021 - 2050)	RCP 8.5					
Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec
-23,8	-22,5	-34,4	-44,0	-9,2	-18,6	2700 m	-33,2	-38,5	-37,8	-55,7	-18,1	-23,9
-27,6	-30,4	-36,4	-50,2	-9,9	-17,7	2400 m	-33,7	-38,7	-40,2	-60,6	-13,6	-24,1
-24,7	-36,6	-38,7	-45,1	-6,4	-15,1	2100 m	-27,8	-38,0	-40,9	-45,5	-7,7	-14,7
-18,2	-26,0	-29,9	-25,5	-3,7	-12,4	1800 m	-21,5	-31,2	-32,0	-27,2	-5,1	-10,5
-9,6	-19,0	-15,7	-7,4	-1,7	-6,5	1500 m	-11,0	-20,6	-14,8	-8,8	-1,8	-5,1
-5,0	-10,5	-6,5	-1,3	-0,9	-3,7	1200 m	-7,7	-11,5	-6,7	-1,6	-1,0	-2,9
-1,3	-4,1	-0,2	0,1	-0,2	-1,4	900 m	-2,2	-4,1	-0,5	-0,2	-0,2	-0,7
-0,1	-1,0	0,0	0,0	-0,1	-0,5	600 m	-0,4	-0,7	-0,1	0,0	-0,1	-0,1

Tableau 29 : Anomalies de l'épaisseur moyenne de neige (2071 - 2100)

RCP 4.5						Anomalies de l'épaisseur de neige moyenne (2071 - 2100)	RCP 8.5					
Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec
-47,7	-56,2	-56,5	-82,1	-21,9	-32,0	2700 m	-108,5	-116,6	-127,4	-161,6	-38,6	-76,2
-47,0	-64,7	-65,0	-82,7	-17,5	-32,3	2400 m	-98,2	-108,2	-121,1	-149,0	-30,3	-67,8
-39,1	-56,4	-58,9	-70,8	-9,1	-22,9	2100 m	-70,0	-86,2	-100,5	-110,0	-14,4	-42,5
-31,9	-45,2	-48,3	-46,6	-4,9	-16,9	1800 m	-48,2	-63,0	-72,9	-58,0	-8,7	-27,2
-18,8	-27,7	-24,4	-14,4	-2,6	-8,6	1500 m	-27,1	-36,9	-35,1	-17,5	-4,0	-14,7
-11,7	-15,8	-9,6	-2,8	-0,9	-5,0	1200 m	-15,8	-21,2	-13,3	-3,6	-1,4	-7,4
-4,4	-5,8	-1,2	-0,3	-0,2	-2,0	900 m	-5,6	-7,6	-2,7	-0,4	-0,3	-3,1
-0,9	-1,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,5	600 m	-1,3	-1,7	-0,5	0,0	-0,1	-1,0

➤ Anomalies de l'épaisseur moyenne de neige

Cet indicateur présente des anomalies négatives et une anomalie positive, cela implique donc une diminution générale de l'épaisseur de neige à toutes les saisons et à tous les étages altitudinaux. De mai à octobre, les données ne sont pas disponibles car considérées comme non-significatives.

Horizon proche (2021 – 2050)

Selon le scénario 4.5, on constate que des anomalies négatives, c'est-à-dire, une perte du manteau neigeux en moyenne. Excepté, en avril à 900m, où l'on retrouve une anomalie positive qui représenterait une augmentation du niveau neigeux de **+0,1 cm**. Les pertes les plus importantes seraient situées en avril entre 2100m et 3000m, avec un maximum à **-50,2 cm** à 2400m.

Selon le scénario 8.5, les anomalies seraient de plus en plus importantes avec un pic **-60,6 cm** en avril à 2400m. La valeur la plus faible serait de **-0,1 cm** à 600m en mars, novembre et décembre.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : +0,1 cm à 900m, en avril soit **≈ 0,47 cm**

Ecart maximal : - 50,2 cm à 2400m, en avril soit **≈ 156,5 cm**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : -0,1 cm à 600m, en mars, novembre et décembre soit **≈ 0 cm**

Ecart maximal : -60,6 cm à 2400m, en avril soit **≈ 146,4 cm**

Horizon lointain (2071 – 2100)

Selon le scénario 4.5, l'occurrence se préciserait à l'horizon 2100 et il y aurait une perte de 40% du manteau neigeux, en avril à 2400m avec une valeur de **-82,7 cm**. Alors qu'à 600m, en novembre, il y aurait la plus faible variation de -0,1 cm.

Selon le scénario 8.5, la tendance se confirmerait puisque la plus haute valeur atteindrait **-161,6 cm** à 2700m en avril, ce qui représenterait une perte de **63%** de la couverture neigeuse. De manière générale, les anomalies représentent une perte de 50% et plus de l'épaisseur de neige par rapport au climat de référence. (en mars à 2100m → perte de 71% !) En effet, la différence entre les deux scénarios est très nette, les anomalies ont doublé.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : -0,1 cm à 600m, en novembre soit $\approx$ **0 cm**

Ecart maximal : - 82,7 cm à 2400m, en avril soit $\approx$ **124,3 cm**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : -0,1 cm à 600m novembre soit $\approx$ **0 cm**

Ecart maximal : -161,6 cm à 2700m, en avril soit $\approx$ **91,4 cm**

➤ **Conclusion**

- Anomalies majoritairement présentes sur les hautes altitudes.
- Le mois d'avril est le mois qui concentreraient les plus fortes diminutions du manteau neigeux.

b. Nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm

Il s'agit du nombre de jours où le manteau neigeux est supérieur à 50 cm. Le seuil de 50 cm d'épaisseur a été choisi, car il permet une « certaine stabilité de ce manteau neigeux sur le long terme, ce qui impacte donc beaucoup plus les cycles de vies en montagne, qu'une couche de neige temporaire." **Natur'Adapt**

➤ Climat présent

Tableau 30 : Période de référence du nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm (1976 – 2005)

Nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm (jour(s))	Référence (1976-2005)					
	Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec
2700 m	30,7	28,3	31	30	13,5	26,6
2400 m	29,5	28,3	31	29,8	9,7	23,8
2100 m	25,3	26,6	29,4	25,7	4	14,1
1800 m	17,6	19,9	23,1	14,7	1,8	6,8
1500 m	7,53	10,7	11,2	4,37	0,3	2,37
1200 m	3,03	4,43	3,2	0,6	0,03	0,8
900 m	0,23	0,77	0,17	0	0	0
600 m	0	0	0	0	0	0

Le Tableau 30 nous indique le nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm par altitude du climat de référence, plus le bleu est foncé, plus le nombre de jours est élevé. La couverture neigeuse supérieure à 50 cm est plus importante dans les hautes tranches altitudinales. Les valeurs sont comprises entre 0 et 31 jours de neige supérieure à 50 cm. Cette dernière valeur correspond au mois de mars de 2400m à 2700m d'altitude. A partir de mai, en moyenne l'épaisseur de neige est équivalente à 0cm toutes altitudes confondues et ce jusqu'au mois d'octobre compris.

➤ Prospective

Tableau 31 : Anomalies de l'épaisseur de neige > 50 cm (2021 - 2050)

RCP 4.5						Anomalies du nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm en jour(s) (2021 - 2050)	RCP 8.5					
Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec
-1,1	-0,4	-0,1	-0,7	-1,7	-4,3	2700 m	-2,2	-1,0	-1,0	-1,3	-4,6	-5,4
-1,5	-1,6	-1,0	-2,4	-1,7	-4,8	2400 m	-3,2	-1,8	-1,5	-3,1	-4,2	-5,9
-6,8	-4,8	-5,8	-7,8	-1,3	-5,1	2100 m	-5,5	-6,6	-7,2	-8,8	-1,7	-4,9
-6,3	-6,1	-8,1	-6,5	-1,1	-3,7	1800 m	-6,5	-7,8	-8,5	-6,7	-0,9	-2,7
-3,0	-4,7	-5,2	-1,8	-0,3	-1,3	1500 m	-3,5	-5,5	-4,6	-2,3	-0,1	-1,2
-0,7	-2,8	-1,3	-0,3	0,0	-0,3	1200 m	-1,3	-2,1	-1,6	-0,4	0,0	-0,3
-0,1	-0,1	0,0	-	-	-	900 m	-0,1	-0,4	0,0	-	-	-
-	-	-	-	-	-	600 m	-	-	-	-	-	-

Tableau 32 : Anomalies de l'épaisseur de neige > 50 cm (2071 - 2100)

RCP 4.5						Anomalies du nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm en jour(s) (2071 - 2100)	RCP 8.5					
Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec		Jan	Fév	Mars	Avril	Nov	Dec
-4,7	-2,7	-2,0	-3,1	-6,4	-7,6	2700 m	-15,9	-10,1	-9,7	-12,9	-10,2	-19,4
-7,5	-4,2	-3,5	-5,3	-5,3	-11,0	2400 m	-18,7	-11,9	-13,4	-17,6	-8,1	-18,7
-10,9	-8,7	-9,5	-12,7	-1,9	-7,8	2100 m	-19,8	-17,6	-19,5	-22,9	-3,1	-13,4
-10,4	-10,8	-12,1	-12,4	-1,1	-4,9	1800 m	-15,1	-18,0	-21,3	-14,3	-1,5	-6,6
-5,6	-8,2	-7,5	-3,2	-0,3	-1,9	1500 m	-7,3	-9,9	-10,2	-4,1	-0,3	-2,4
-2,4	-3,4	-1,5	-0,6	0,0	-0,5	1200 m	-2,8	-4,3	-2,6	-0,6	0,0	-0,8
-0,1	-0,6	-0,1	-	-	-	900 m	-0,2	-0,6	-0,1	-	-	-
-	-	-	-	-	-	600 m	-	-	-	-	-	-

➤ **Anomalies du nombre de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm**

Sur les résultats de cet indicateur, nous pouvons constater uniquement des anomalies négatives, ce qui traduit une perte de jours où la couverture neigeuse est supérieure à 50 cm.

Horizon proche (2021 – 2050)

Selon le scénario 4.5, les principales anomalies sont concentrées sur la période hivernale, jusqu'à avril. La plus forte valeur serait observée à 1800m en mars, avec **-8,1 jours de neige supérieure à 50 cm**.

Selon le scénario 8.5, les anomalies continueraient d'augmenter jusqu'à atteindre **-8,8 jours de dépassement d'un seuil de 50 cm**, en avril à 2100m.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : -0,1 jours à 900m, en janvier et février soit **≈ 0,13 jours et 0,67 jours**

Ecart maximal : - 8,1 jours à 1800m, en mars soit **≈ 15 jours**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : -0,1 jours à 900m en janvier et à 1500m en novembre soit **≈ 0,13 jours et 0,2 jours**

Ecart maximal : -8,8 jours à 2100m, en avril soit **≈ 16,9 jours**

Horizon lointain (2071 – 2100)

Selon le scénario 4.5, les valeurs augmenteraient et s'étaleraient de décembre à avril entre 1800m et 2400m, avec un maximum atteignant **-12,7 jours de dépassement**, à 2100m en avril.

Selon le scénario 8.5, la valeur maximale serait atteinte en avril à 2100m avec une valeur de **-22,9 jours de dépassement**, ce qui représenterait une diminution de **89,1%**. Par exemple à 2100m, il y aurait une perte annuelle de 77% de jours dépassement du seuil de 50 cm, passant de 125 jours annuels à 28.8 jours.

Scénario 4.5 :

Ecart minimal : -0,1 jours à 900m, en janvier et mars soit **≈ 0,13 jours et 0,07 jours**

Ecart maximal : - 12,7 jours à 2100m, en avril soit **≈ 13 jours de dépassement**

Scénario 8.5 :

Ecart minimal : -0,1 jours à 900m en janvier et à 1500m en novembre soit **≈ 0,13 jours et 0,2 jours de dépassement**

Ecart maximal : -22,9 jours à 2100m, en avril soit **≈ 2,8 jours de dépassement**

➤ **Conclusion**

Les anomalies sont plutôt concentrées sur les altitudes intermédiaires 1800m et 2400m. Plus le scénario est mauvais, plus les anomalies remonteraient en altitude.

IV. RECIT DES GRANDES TENDANCES DU CLIMAT FUTUR

1. Synthèse des indicateurs

a. Températures

On constate un réchauffement global et de plus en plus important à l'horizon 2100 et dans le cadre du scénario 8.5, ce constat est partagé pour tous les indicateurs du paramètre températures.

Les délimitations entre les saisons deviendraient plus floues et il pourrait y avoir un allongement de la période estivale puisque que les écarts sont plus importants à cette saison. Cependant, la période hivernale subirait tout de même un réchauffement plus ou moins important et conséquent selon les scénarios.

Les températures minimales journalières indiqueraient une augmentation dans les hautes altitudes. Cet indicateur peut être lié avec le nombre de jours de gel. Ces derniers diminueraient de façon drastique, puisque l'on pourrait perdre jusqu'à la moitié des jours de gel actuel en 2100, RCP 8.5. Les jours de gel traduisent l'augmentation des températures minimales journalières et c'est pour cela que les hautes altitudes seraient plus impactées.

Les écarts des températures maximales journalières seraient plus importants dans les basses altitudes. Il pourrait y avoir jusqu'à $+5.65^{\circ}\text{C}$, à 2100m en avril, à l'horizon 2100. Les températures maximales seraient atteintes de plus en plus précocement : En 2050, pour le RCP 4.5, le réchauffement se localiserait plutôt en juin alors que pour le scénario 8.5, ce réchauffement serait en mai. Ce changement est plus marqué à l'horizon 2100 puisque le réchauffement se produirait cette fois, en avril, quel que soit le scénario. En revanche, il serait bien plus conséquent avec le scénario 8.5. Ce réchauffement au mois d'avril, dans les basses altitudes serait également visible avec l'augmentation des jours de vague de chaleur, jusqu'à 10 jours supplémentaires.

Pour l'amplitude thermique, on observe des anomalies négatives dans les hautes altitudes, ce qui est cohérent avec l'augmentation des températures minimales journalières, constatées plus haut. De même pour les basses altitudes : l'augmentation des températures maximales journalières démontre des anomalies d'amplitude thermique positives.

Ces résultats locaux font écho à l'échelle nationale avec une augmentation de la médiane à $+3,9^{\circ}\text{C}$ en RCP8.5 à l'horizon 2100. Le réchauffement étant plus marqué en été et à l'Est du Pays (Soubeyroux et al., 2020).

b. Précipitations

Les indicateurs de précipitations conservent une grande part d'incertitudes et les tendances peuvent être amenées à changer.

Le cumul de précipitations présente une grande variabilité inter mensuelle. Des anomalies positives pourraient être observées durant le mois de février, horizon et scénario confondus. On peut supposer qu'il s'agira de précipitations à tendance liquides comme il a été constaté un réchauffement, dans le paramètre température, puisque cet indicateur, regroupe les précipitations liquides et solides. Cependant, de manière générale, les anomalies positives auraient tendance à décroître, jusqu'à quasiment disparaître pour laisser place aux anomalies négatives. La RNR et sa périphérie pourrait faire face un déficit important en précipitations en 2100.²

Les jours de sécheresse (= précipitation < 1mm) seraient en augmentation. Cependant, on pourrait relever une baisse de 1 jours de sécheresse en février à 600m, ce qui peut être corrélé aux anomalies positives du cumul de précipitation en 4.5 en 2050 et 2100. En 2100, le nombre de jours de sécheresse serait en forte augmentation de mars à décembre, ce qui correspond aux anomalies négatives des précipitations. De plus, juillet et août seraient plus fortement impactés.

Ces résultats s'ancrent dans la dynamique nationale du changement climatique. Si sur l'ensemble du territoire le cumul moyen est en légère hausse pour tous les scénarios (entre +2 % et +6 %), la répartition suit un axe Nord/Sud. Le Nord de la France sera excédentaire alors que le Sud sera déficitaire. L'hiver sera excédentaire en précipitations et l'été en déficit (Soubeyroux *et al.*, 2020).

c. Enneigement

La lecture des anomalies concernant l'enneigement est linéaire. Les plus fortes anomalies seraient majoritairement concentrées sur les hautes altitudes. Tandis que l'impact sur les basses altitudes serait moindre. Le mois d'avril est le mois qui concentrerait les plus fortes diminutions de l'épaisseur de neige moyenne. Par exemple, en 2100, les altitudes 2700m et 2100 perdraient respectivement, **63%** et **71%** de l'épaisseur de neige actuelle.

Dans le même ordre de grandeur, en 2100, l'altitude 2100m perdrait **89%** de jours où l'épaisseur de neige est supérieure à 50cm. Le seuil de 50 cm d'épaisseur a été choisi, car il permet une « certaine stabilité de ce manteau neigeux sur le long terme, ce qui impacte donc beaucoup plus les cycles de vies en montagne, qu'une couche de neige temporaire." Ces anomalies seraient plutôt concentrées sur les altitudes intermédiaires, entre 1800m et 2400m. Plus le scénario évolue, plus les anomalies augmenteraient également en altitude.

2. Demain, le massif pyrénéen d'Occitanie

À l'échelle du projet, comprenant les 5 RNR le long du massif pyrénéen d'Occitanie, il est possible de visualiser les singularités et les dynamiques communes des RNR. Par souci de visualisation des grandes tendances, les exemples d'anomalies non spécifiés, correspondent au RCP 8.5 (scénario le plus pessimiste et le plus probable), à l'horizon 2100.

a. Mosaïque des sous-massifs

Tableau 33 : Synthèse des évolutions communes et singulières à venir sur les différents RNR

Massif des Pyrénées d'Occitanie				
Ouest ← → Est				
Indicateurs	Sous Massif de la Haute Bigorre RNR du Pibeste et d'Aulon	Sous Massif de Aure-Louron RNR de Montious	Sous Massif d'Orlu-St Barthélémy RNR de St Barthélémy	Sous Massif de la Cerdagne RNR de Nyer
Température moyenne	Températures plus élevées en basse altitude et notamment en période estivale (juillet et août) et des températures plus fraîches dans les hautes altitudes, voire négatives, en période hivernale. ↑ Globale à tous les scénarios/tous les horizons Délimitations ente saison moins nette et allongement de la période estivale. Jusqu'à + 5°C en mai à 1800m et avril à 1500m Les variations altitudinales sont très faibles			
Température Min	Températures plus élevées en basse altitude et notamment en période estivale (juillet et août) et des températures plus fraîches dans les hautes altitudes négatives en période hivernale. ↑ des tp min tous les scénarios/tous les horizons Délimitations ente saisons moins nettes. Augmentation des tp min jusqu'à +4,73 °C juin à 2400m Les hautes altitudes seront plus impactées.			
Température Max	Températures plus élevées en basse altitude et notamment en période estivale (juillet et août) et des températures plus fraîches dans les hautes altitudes négatives en période hivernale. ↑ des tp max tous les scénarios/tous les horizons Le mois de mars est le plus faiblement impacté. Jusqu'à +5,65 °C à 600 m le réchauffement est de plus en plus tôt avec des écarts nets à partir d'avril			
Amplitude thermique journalière	Les plus grandes amplitudes sont en basse altitude et en été. (10°C en septembre à 600m) ↗ Globale, notamment à l'horizon lointain. Or les hautes altitudes pourront connaître une réduction d'amplitude ↘ Augmentation de l'amplitude jusqu'à + 2,42°C en juillet à 600m. Avril/mai/ septembre connaîtra les plus larges changements d'amplitude.			
Nbr de jour de gel	Plus grand nombre de jours de gel en haute altitude et en hiver (jusqu'à 28/30 en janvier) ↓ drastique du nombre de jours de gel par an jusqu'à le faire disparaître certains mois/alt. Au fur et à mesure de l'approche de l'été, la diminution des nombres de jours de gel monte en altitude et inversement pour l'hiver. Diminution jusqu'à 13 jours de gel par mois			
Nbr de jour de vague de chaleur	Au maximum 1 jour de vague de chaleur ↑ jusqu'à une dizaine de jours de vagues de chaleur en été dans les zones altitudinales intermédiaires 1 jour de vague de chaleur en avril ou mai seulement Augmentation jusqu'à +10 jours de vague de chaleur avec une saison printanière légèrement plus touchée.			

Indicateurs	Sous Massif de la Haute Bigorre RNR du Pibeste et d'Aulon	Sous Massif de Aure-Louron RNR de Montious	Sous Massif d'Orlu-St Barthélémy RNR de St Barthélémy	Sous Massif de la Cerdagne RNR de Nyer
Cumul des précipitations	Précipitations plus fortes en altitude.			
	Des précipitations dans l'ensemble, bien que certains mois bénéficieront de plus de précipitations. Forte variabilité inter-mensuelle des tendances. La perte de précipitations sera légèrement plus importante en altitude.			
Nbr de jours de sécheresse	Période estivale franche (juillet, août, septembre) avec moins de pluie. Février rare mois aux tendances excédentaires.	Diminution jusqu'à - 11 jours de gel par mois. Et 70 jours par an pour 150 aujourd'hui à 2100m	Période estivale franche (juillet, août, septembre) avec moins de pluie. Février rare mois aux tendances excédentaires.	Diminution jusqu'à 12 jours de gel par mois. Et 97 jours par ans pour 171 jours aujourd'hui à 2400m.
	des périodes de sécheresse.			
	Période de sécheresse entre 5 et 8 jours, notamment en période estivale (juillet, août, septembre). Jusqu'à + 3 jours en fin d'été début d'automne.	I jour de vague de chaleur en février seulement. Augmentation jusqu'à +8 jours de vague de chaleur	Période de sécheresse entre 5 et 8 jours, notamment en période estivale (juillet, août, septembre). Jusqu'à + 3 jours en fin d'été début d'automne.	I jour de vague de chaleur en février seulement. Augmentation jusqu'à +13 jours de vague de chaleur en juillet.

Indicateurs	Sous Massif de la Haute Bigorre RNR du Pibeste et d'Aulon	Sous Massif de Aure-Louron RNR de Montious	Sous Massif d'Orlu-St Barthélémy RNR de St Barthélémy	Sous Massif de la Cerdagne RNR de Nyer
Epaisseur de neige moyenne	Mars/avril les mois le plus enneigés en haute altitude.			
	drastique de l'épaisseur de neige. Anomalies majoritairement présentes sur les hautes altitudes. Le mois d'avril est le mois qui concentrerait les plus fortes diminutions du manteau neigeux.			
Nbr de jours de dépassement d'un seuil de 50 cm de neige	Globalement l'épaisseur de neige dépasse les 50 cm à 1800m d'alt. A l'horizon proche baisse d'un tiers de l'épaisseur. Pour l'horizon lointain la baisse est de moitié pour le RCP 4.5, et de plus de trois quarts pour le RCP 8.5.	Globalement l'épaisseur de neige dépasse les 50 cm à 1800m d'alt. Perte de près de la moitié voire ¾ du capital à 2100m en avril.	Globalement l'épaisseur de neige dépasse les 50 cm à 1800m d'alt. En avril il n'y aurait plus 222,9cm, mais 56,48cm à 2400m. Soit une diminution de plus de trois quarts.	Globalement l'épaisseur de neige dépasse les 50 cm à 2100m d'alt. L'épaisseur de neige pourrait devenir nulle en dessous de 1800m et pourrait diminuer de plus de la moitié pour les hautes altitudes.
	Jusqu'à -22,9 jours à 2100m en avril. Pour l'horizon lointain diminution du nombre de jours de plus de deux tiers pour le RCP 4.5, et de plus de 85% pour le scénario 8.5.	Jusqu'à -22,14 jours à 2100m en avril. Perte totale du potentiel de jours de dépassement en décembre.	Jusqu'à -22,17 jours à 2100m en avril. Le plus grand nombre de jours où la couverture neigeuse est supérieure à 50cm, deviendra le mois de février.	Les anomalies les plus importantes ressortent aux alentours de 2400m et 2700m, et non à 3000m. Jusqu'à -19,67 jours en avril à 2400m.

Lecture du tableau : Période de Référence - Projection Future – Singularité aux sous Massif

Tendances : ➡ peu de changement ⬇ Diminution nette ↘ Diminution globale même si donnée ponctuelle d'augmentation ⬆ Augmentation nette ↗ Augmentation globale même si donnée ponctuelle de diminution

Rappel : Par soucis de visualisation des tendances, les exemples correspondent au RCP 8.5 (scénario le plus pessimiste et le plus probable) et à l'horizon 2100.

➤ **Un rallongement et une intensification de la période estivale au détriment de la saison hivernale**

Selon les données, il semble que les changements entraîneront une intensification et un allongement de la période estivale sur la période printanière et automnale, associée à une diminution de la période hivernale (plus de chaleur et moins de neige).

L'augmentation de la température moyenne est d'autant plus forte en été sur l'ensemble des RNR et en fin d'hiver sur le massif de Haute Bigorre. Les températures minimales et maximales journalières suivent cette tendance avec des écarts plus forts pour les températures maximales que minimales pour toutes les RNR.

Des mois aux cœurs des saisons concernées par les plus grands écarts :

- Juillet et août connaîtront les augmentations les plus intenses de température ($\approx +5^{\circ}\text{C}$). Ici, la RNR de Nyer sera la plus touchée (avec des écarts pouvant monter à $\approx +6^{\circ}\text{C}$). Juillet et août connaîtront aussi de plus grandes augmentations de jours de sécheresse.
- Le mois de février subira aussi une hausse des températures, mais sera le mois le plus froid de l'année, il semble aussi accumuler plus de précipitations. Connaissant lui aussi une perte de manteau neigeux, le mois de février risque tout de même de devenir le mois où cette épaisseur sera la plus importante, au détriment de mars et avril aujourd'hui sur l'ensemble des RNR.

Des mois de transitions semblent être sujets à de plus forts écarts climatiques :

- Avril est un mois cumulant beaucoup d'écarts climatiques dans les projections. A la période de référence, il marque la transition avec la fin de l'hiver. Il succède à mars, et il est aujourd'hui le mois le plus enneigé. A l'horizon 2100, les diminutions sont les plus intenses sur ce mois-ci avec une perte jusqu'aux trois quarts du manteau neigeux connu aujourd'hui.
- Septembre subit des écarts souvent aussi intenses que juillet et août et sera au cœur des périodes de l'année les plus chaudes.

Selon les projections, on note l'augmentation franche du nombre de jours de vague de chaleur sur toutes les Réserves. Aujourd'hui, les RNR connaissent un nombre de jours de vague de chaleur supplémentaire, supérieur à 5 jours, ponctuellement en hiver ou au printemps. A l'horizon proche en 2050, à tous les mois indistinctement du scénario, les RNR connaîtront un jour supplémentaire. Cette augmentation des jours de vagues de chaleurs atteint une dizaine de jour à l'horizon 2100 RCP 8.5 en hiver et au printemps et une demi-douzaine en été.

Dans cette grande tendance estivale, des indicateurs suivent des logiques temporelles plus variables :

- L'été est la saison des plus grandes amplitudes journalières ($\approx 10^{\circ}\text{C}$ à 600m en septembre), cette tendance sera accentuée par le changement climatique sur l'été, mais aussi d'autres mois en fonction des RNR. La Réserve du St Barthélémy connaîtra une accentuation d'amplitude thermique plus forte en décembre, celle du Pibeste et d'Aulon au printemps.
- Les indicateurs de précipitations ont une plus grande marge d'incertitude que celui des températures et les projections sont moins certaines. Selon les données utilisées, le cumul des précipitations a une grande variabilité inter-mensuelle et il est difficile d'identifier des logiques saisonnières. Pour autant, la réserve de Nyer connaîtra potentiellement plus de précipitations au printemps et à l'automne, et pour le Pibeste et Aulon les précipitations se feront plus rares en été.

Ces mesures viennent conforter les projections globales sur les Pyrénées qui évolueraient différemment sur l'axe Sud/Nord et l'axe Est-Ouest. Le Sud, versant espagnol, devrait voir ses précipitations diminuer. Le Nord, versant français, pourrait connaître une augmentation des précipitations aux contacts de phénomènes de convection plus intense dû à la proximité de l'évaporation de l'eau de mer à l'Ouest par les côtes atlantiques et l'Est par la côte méditerranéenne. Le massif pyrénéen bloquerait la condensation et provoquerait l'équivalent des épisodes cévenols aujourd'hui connus sur le Massif central provoquant des précipitations intenses et irrégulières (Cuypers, 2022).

➤ ***L'intensité des changements climatiques diffère selon les gradients altitudinaux***

Les variations altitudinales des écarts de température moyenne sont très faibles, ils semblent être un peu plus importants dans les altitudes intermédiaires [1500m-1800m] pour l'ensemble des RNR. Nyer a tout de même pour particularité d'être touché plus fortement par une augmentation des températures minimales dans l'année à des altitudes plus hautes (+5,85 °C pour juillet à 2100 m¹).

Les écarts d'amplitude des températures journalières sont intimement liés à l'altitude. En basse altitude, elles sont plus importantes et cette tendance va s'accroître selon les projections futures. En effet, s'il y a un élargissement global des amplitudes, en haute altitude, on notera une réduction de l'amplitude thermique pour l'ensemble des RNR.

Selon le climat de référence, le nombre de jours de gel atteint en haute altitude jusqu'à 28/30 jours en janvier ; soit la totalité du mois, sur l'ensemble des RNR. La diminution du nombre de jours de gel sera, selon les projections, drastique à tous les étages altitudinaux avec une évolution de l'intensité par étage en fonction des mois.

Les pertes de précipitations apparaissent plus fortement en altitude sur l'ensemble des RNR, et particulièrement pour celle du massif du St Barthélémy. Le cumul de précipitations annuel diminuerait de près d'un tiers à l'altitude la plus élevée (2400m) de ce massif.

L'épaisseur moyenne de neige en hiver diminue drastiquement, notamment dans les hautes altitudes. Aujourd'hui, elle atteint les 50 cm d'épaisseur autour de 1800m pour l'ensemble des RNR à l'exception de Nyer autour de 2100m.

Pour l'ensemble des RNR :

- Les hautes altitudes sont marquées par une réduction d'amplitude thermique certains mois ainsi qu'une diminution forte de l'épaisseur de neige.
- Les altitudes intermédiaires sont marquées par une forte augmentation des températures et du nombre de jours de vague de chaleur.
- Les basses altitudes pourraient voir leur nombre de jours de gel disparaître ainsi que la présence du manteau neigeux.

¹ Rappel : les tranches altitudinales évoquées ici indiquent une tranche « autour de l'altitude », exemple 1200m = une altitude autour de 1200m.

➤ **Une limitation des GES, un choix à fort impact sur l'intensité du changement**

Selon les indicateurs mobilisés, il semble que pour l'horizon proche (2050), les 2 scénarios offrent des données similaires, mais pour de l'horizon lointain (2100), les différences entre scénarios sont plus nettes. Le scénario RCP 8.5, vers lequel nous nous dirigeons, entraîne des écarts bien plus intenses que si la société prenait des mesures significatives de limitation d'émission de GES et s'orienterait vers le scénario RCP 4.5. Par exemple, pour les moyennes de températures journalières, ainsi que les minimum et maximum, la différence entre les deux va du simple (RCP4.5) au double (RCP8.5). Cet écart est encore plus important pour les températures maximales à Nyer qui ont triplé entre les deux scénarios, de l'horizon 2050.

b. Le changement climatique et phénomène de risques, un lien de cause à effet relatif dans les Pyrénées

Les risques naturels sont identifiés aux regards de leurs impacts sur l'activité humaine, mais leurs évolutions peuvent être préoccupantes dans la gestion d'une réserve naturelle pour les effets qu'il peut y avoir sur la biodiversité, les actions de gestion ou l'ancrage territorial. Si certains risques sont amenés à s'intensifier à l'échelle mondiale, l'évolution de ces phénomènes est très difficile à projeter sur les Pyrénées, de plus l'activité humaine semble être le principal facteur d'évolution de ces risques. Les éléments synthétiques présentés ci-dessous sont issus du rapport de 2018 sur l'OPCC.

➤ **Crues et inondations potentiellement peu impactées par le changement climatique**

Dans les Pyrénées, les inondations sont majoritairement dues aux précipitations intenses entraînant un phénomène de « flash-floods » et minoritairement dû au dégel d'après les données de (Agence de l'Eau Adour-Garonne, 2014). La majorité des crues constatées sont en automne. Les indicateurs de précipitations étant les plus incertains, il est difficile d'identifier les évolutions futures dans les Pyrénées.

➤ **Accroissement des glissements de terrain et chute de blocs**

Malgré une forte incertitude, deux phénomènes associés aux changements climatiques pourraient augmenter le risque en montagne :

- Une augmentation des températures entraînerait une augmentation des feux de forêt fragilisant le sol.
- Un dérèglement des précipitations et leur plus forte intensité seraient favorables à un accroissement des glissements de terrain.

➤ **Risque d'incendie en augmentation**

Le risque d'incendie en montagne est aujourd'hui principalement dû aux activités humaines et notamment le pastoralisme, les Pyrénées ne représentent pas la plus grande zone à risque.

« L'occurrence et la propagation des grands incendies dépendent de l'existence de sources d'inflammation, du volume et de la continuité du combustible et de son humidité. Historiquement, les Pyrénées n'ont pas été affectées par de grands incendies, du fait notamment des conditions climatiques propres aux milieux montagneux et à l'humidité des combustibles liée à ces conditions. A titre d'exemple, en Catalogne, la limite altitudinale

à partir de laquelle on observe une diminution importante de la probabilité d'un incendie de forêt est évaluée à 700 mètres (Gonzalez et al., 2006). » (OPCC-CTP, 2018)

Pour autant le changement climatique entraîne une augmentation de risque d'incendie :

- En hiver, période de plus grandes fréquences des feux de montagne, la diminution du manteau neigeux entraînera probablement un assèchement de la végétation augmentant l'occurrence et de propagation d'incendie.
- En période estivale, l'augmentation des températures et de la durée des sécheresses pourra entraîner plus de combustible et donc la fréquence de risque d'incendie.

V. CONCLUSION

Les projections du climat futur sur la Réserve Naturelle Régionale d'Aulon confirment les tendances de l'évolution actuelle du climat et indiquent une accentuation de ces tendances. En effet, dans la dizaine d'indicateurs abordés du changement climatique, aucun ne projette une stabilisation du climat, ni à court terme ni à long terme.

La mesure de ce dérèglement partage des tendances communes pour ces 5 RNR :

- L'ensemble des RNR d'Occitanie dans le massif pyrénéen connaîtront une augmentation des températures, notamment en période estivale.
- Les précipitations sont difficilement prévisibles, les Réserves connaîtront des excédents et des déficits plus régulièrement par rapport à aujourd'hui. Pour autant, les cinq RNR devront faire face à une diminution globale des précipitations à l'année et les hautes altitudes seront les plus déficitaires.
- L'épaisseur d'enneigement deviendra rare en basse altitude, et pourra diminuer de deux tiers à trois quarts à l'horizon 2100 scénario RCP. 8.5 en haute altitude.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- Agence de l'Eau Adour-Garonne. 2014. Etude portant sur une analyse post-crue des cours d'eau de la Garonne amont, de la Pique, des Nestes et de l'amont du gave de Pau (31,64, 65) - Rapport diagnostic - VF.
- Anon. 2019. Les variations passées du climat - Natur'Adapt.
- Berruyer, O. 2011. « Climat : Les cycles de Milankovitch ». -Crisesfr [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.les-crises.fr/climat-14-milankovitch/> > (Consulté le 22 juillet 2022).
- Chatelard, Maurice. 1930. « Contribution à l'étude du climat des Pyrénées de l'Ariège et du Salat ». Rev. Géographique Pyrén. Sud-Ouest Sud-Ouest Eur. Vol. 1, n°1, p. 41-57.
- Cuypers, T. 2022. Diagnostic de vulnérabilité au changement climatique des cavités du Mas d'Azil, de Mérigon, de Tourtouse et d'Unjat. LIFE Natur'Adapt – Rapport ANA-CEN Ariège.
- Douguédroit, A., et M-F De Saintignon. 1970. « Méthode d'étude de la décroissance des températures en montagne de latitude moyenne : exemple des Alpes françaises du Sud ». Rev. Géographie Alp. Vol. 58, n°3, p. 453-472.
- Joly, D., T. Brossard, H. Cardot, J. Cavailhes, M. Hilal, et P. Wavresky. 2010. « Les types de climats en France, une construction spatiale ». Cybergeog Eur. J. Geogr. [En ligne]. Disponible sur : < <https://journals.openedition.org/cybergeog/23155#tocto3n1> > (Consulté le 22 juillet 2022).
- Météo France. 2020a. « Le climat en France métropolitaine | Météo-France ». Dans : Météo Fr. [En ligne]. Disponible sur : < <https://meteofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine> > (Consulté le 22 juillet 2022).
- . 2020b. « Le Col de Porte, témoin du changement climatique en montagne | Météo-France ». Disponible sur : < <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/entretiens/le-col-de-porte-temoin-du-changement-climatique-en-montagne> > (Consulté le 26 juillet 2022).
- . 2022. « Météo France - Glossaire ». Disponible sur : < <http://files.meteofrance.com/files/glossaire/FR/glossaire/index31db.html?LETTRE=G> > (Consulté le 25 juillet 2022).
- Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires. 2022. « Biodiversité : présentation et enjeux ». Dans : Ministères Écologie Énerg. Territ. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.ecologie.gouv.fr/biodiversite-presentation-et-informations-cles> > (Consulté le 29 juillet 2022).
- Natur'Adapt. [s d]. Guide méthodologique Natur'Adapt - V2 : Elaboration d'un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité et d'un plan d'adaptation pour intégrer le changement climatique dans la gestion de son aire protégée.
- ONERC. 2015. « Travaux du GIEC ». Dans : Ministères Écologie Énerg. Territ. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.ecologie.gouv.fr/travaux-du-giec> > (Consulté le 26 juillet 2022).
- OPCC-CTP. 2018. Le changement climatique dans les Pyrénées: impacts, vulnérabilités et adaptation. 150 p. ISBN : 978-84-09-06268-3.
- Soubeyroux, J-M, S. Bernus, L. Corre, A. Drouin, B. Dubuisson, P. Etchevers, P. Josse, M. Kerdoncuff, R. Samacoits, et F. Tocquer. 2020. Les nouvelles projections climatiques de référence pour la métropole. Météo France,

Triplet, P. 2022. Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. ISBN : 978-2-9552171-6-0.

Universalis Encyclopædia. [s d]. CLIMATS (notions de base) [En ligne]. Encycl. Universalis. p. 2022. Disponible sur : < <https://www.universalis.fr/encyclopedie/climats-notions-de-base/> > (Consulté le 22 juillet 2022).

Yoccoz, Nigel G., Anne Delestrade, et Anne Loison. 2010. « Impact des changements climatiques sur les écosystèmes alpins : comment les mettre en évidence et les prévoir ? » J. Alp. Res. Rev. Géographie Alp. [En ligne]. n°98-4,. Disponible sur : < <https://journals.openedition.org/rga/1279> > (Consulté le 26 juillet 2022).

Coordinateur du projet



Financier du projet



Partenaires engagés dans le projet



