



Mémoire de stage 2023-2024

Le socio-écosystème de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse face au changement climatique (Isère, Savoie)

Alexandre Ochando

Master 2 - Mention Géographie Aménagement Environnement et Développement

Parcours TRansitions ENvironnementales dans les Territoires (TRENT)

UE 1001 Stage professionnel

Encadrantes de stage : Alice Faget et Suzanne Foret

Enseignant référent : Gérard Briane





Résumé

Réserve naturelle, changement climatique, adaptation, diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité

Les effets du changement climatique commencent à s'observer sur les Hauts de Chartreuse, un territoire de montagne classé en réserve naturelle nationale (RNNHC) situé dans les Pré-Alpes calcaires du Nord. Ces effets se manifestent notamment à travers la baisse du niveau de glace dans les glaciers souterrains et les demandes de stockage d'eau supplémentaire ou de réfection de captages d'eau préexistants sur les alpages. Face à ces constats, la RNNHC se saisit de la méthodologie issue du projet LIFE Natur'Adapt (LNA), destinée aux gestionnaires d'aires protégées qui souhaitent se lancer dans une démarche prospective. Le stage se concentre sur l'étape de l'analyse prospective, qui consiste à réaliser un récit climatique qui dresse les grandes trajectoires du climat passé, présent et futur et une analyse de vulnérabilité et d'opportunité du patrimoine naturel, des activités humaines et des outils et moyens de gestion de la RNNHC. Ce diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité (DVO) est alimenté par des recherches bibliographiques et la mobilisation des acteurs techniques, scientifiques et du tourisme. Dans la continuité des tendances déjà mesurées, les modèles climatiques visualisés projettent une augmentation des températures, une diminution de l'enneigement et une stagnation relative des cumuls de précipitations en Chartreuse (1500 m) à horizon lointain (2071-2100). Ces évolutions climatiques et d'autres sources de pression font émerger des vulnérabilités sur le site. Les usages écosystémiques et humains de l'eau sont menacés par le tarissement de certaines sources en été. La forte variabilité des conditions météorologiques d'une année à l'autre sort du domaine de flexibilité des éleveurs et les forêts sont exposées de façon accentuée aux sécheresses et à l'attaque de parasites. De façon moins importante, des opportunités peuvent émerger en lien avec le changement climatique. L'allongement de la période clémente dans l'année est favorable aux suivis scientifiques, aux activités de plein air et à la remontée de certaines espèces en altitude. Cependant, les opportunités pour certains éléments du socio-écosystème peuvent devenir des sources de vulnérabilité pour d'autres. L'accès facilité au site en hiver et la concentration de la fréquentation humaine vers les périodes d'intersaison sont susceptibles d'accentuer le dérangement des espèces. Eux-mêmes sensibles aux évolutions climatiques, les outils et moyens de gestion de la RNNHC devraient connaître des modifications. Celles-ci se manifesteraient par un accroissement de la pression de surveillance lors des périodes d'intersaison et à travers la création de nouveaux outils pédagogiques. La perspective de la mission du stage est le partage du DVO sous différentes formes auprès de l'équipe de l'aire protégée, des acteurs mobilisés et du public.



Abstract

Nature Reserve, climate change, adaptation, diagnosis of vulnerability and opportunity

The effects of climate change are beginning to be felt in the Hauts de Chartreuse, a protected area located in the collinean, montane, and subalpine levels of the northern limestone Pre-Alps. These effects can be seen in the falling ice levels in the underground glaciers and in the demands for additional water storage or the refurbishment of existing water catchments on the mountain pastures. In the light of these observations, the Hauts de Chartreuse National Nature Reserve (RNNHC) wishes to embark on a forward-looking approach that will give it a more global view of the effects of climate change and ways of adapting to them. To this end, the RNNHC is using the methodology developed by the LIFE Natur'Adapt (LNA) project, aimed at managers of protected areas. The internship focuses on the prospective analysis stage, which is based on two productions : a climate narrative outlining the main characteristics and trajectories of the climate in the past, present, and future, and a vulnerability and opportunity analysis of the natural aspects, human activities, and management tools of the RNNHC. This diagnosis of vulnerability and opportunity (DVO) is based on bibliographical research and the mobilization of technical, scientific, and tourism players. In line with the trends already measured, climate models reveal a projected increase in temperatures, a decrease in snow cover, and a relative stagnation in cumulative rainfall in the Chartreuse (1500 m), in the distant future (2071-2100). These climatic changes and other sources of pressure are creating vulnerabilities on the site. Ecosystemic and human uses of water are threatened by the drying up of certain springs in summer. The high degree of variability in weather conditions from one year to the next is beyond the flexibility of livestock farmers, and the forests are more exposed to drought and attacks by parasites. To a lesser extent, opportunities may emerge in connection with climate change. The lengthening of the mild period of the year is favorable to scientific monitoring, outdoor activities, and the return of certain species to higher altitudes. However, opportunities for certain elements of the socio-ecosystem can become sources of vulnerability for others. Easier access to the site in winter and the concentration of human activity between seasons are likely to increase disturbance to species. The RNNHC's management tools and resources, which are themselves sensitive to climate change, are likely to undergo changes. These would take the form of increased monitoring pressure during the off-season, the creation of new educational tools. The main aim of the internship is to share the DVO in various forms with the RNNHC team, the stakeholders involved, and the public.

Remerciements

Je tiens à remercier :

- Alice Faget et Suzanne Foret pour leur encadrement, leur écoute et leur confiance tout au long de ces 5 mois et demi de stage.
- Les gardes de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : Simon Lebret, Jérôme Bailly et Patrick Gardet pour leurs éclairages et leurs précieux apports dans la mission du stage.
- L'équipe du Parc naturel régional de Chartreuse pour leur accueil et les bons moments passés ensemble.
- Gérard Briane, enseignant référent pour ce stage, pour sa disponibilité, son suivi tout au long de la période de stage, et les connaissances transmises à l'université et sur le terrain, depuis ma première année de licence.
- Ma famille et mes amis proches pour le soutien quotidien.

Liste des sigles et abréviations

ANCT : Agence nationale de la cohésion des territoires

AURA : Auvergne-Rhône-Alpes

CBNA : Conservatoire botanique national alpin

CDC : Caisse des dépôts et consignations

CEN : Conservatoire d'espaces naturels

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques

CREA : Centre de recherche sur les écosystèmes d'altitude

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DFCI : Défense des Forêts contre l'incendie

DVO : Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité*

DRIAS : Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements

EDYTEM : Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (UMR 5204)

FFCAM : Fédération des Clubs Alpains et de Montagne

FFME : Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade

FFR : Fédération Française de Randonnée

FPNR : Fédération des Parcs naturels régionaux

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques

LNA : LIFE Natur'Adapt

LPO : Ligue de Protection des Oiseaux

OFB : Office français de la biodiversité

ONF : Office national des forêts

ORCAE : Observatoire Régional Climat Air Énergie.

PCAET : Plan climat-air-énergie territorial

PLUi : Plan Local d'Urbanisme intercommunal

PN : Parc national

PNRC : Parc naturel régional de Chartreuse

RBI : Réserve biologique intégrale

RBD : Réserve biologique dirigée

RNF : Réserves naturelles de France

RNNHC : Réserve naturelle nationale des Hauts de Chartreuse

RNN : Réserve naturelle nationale

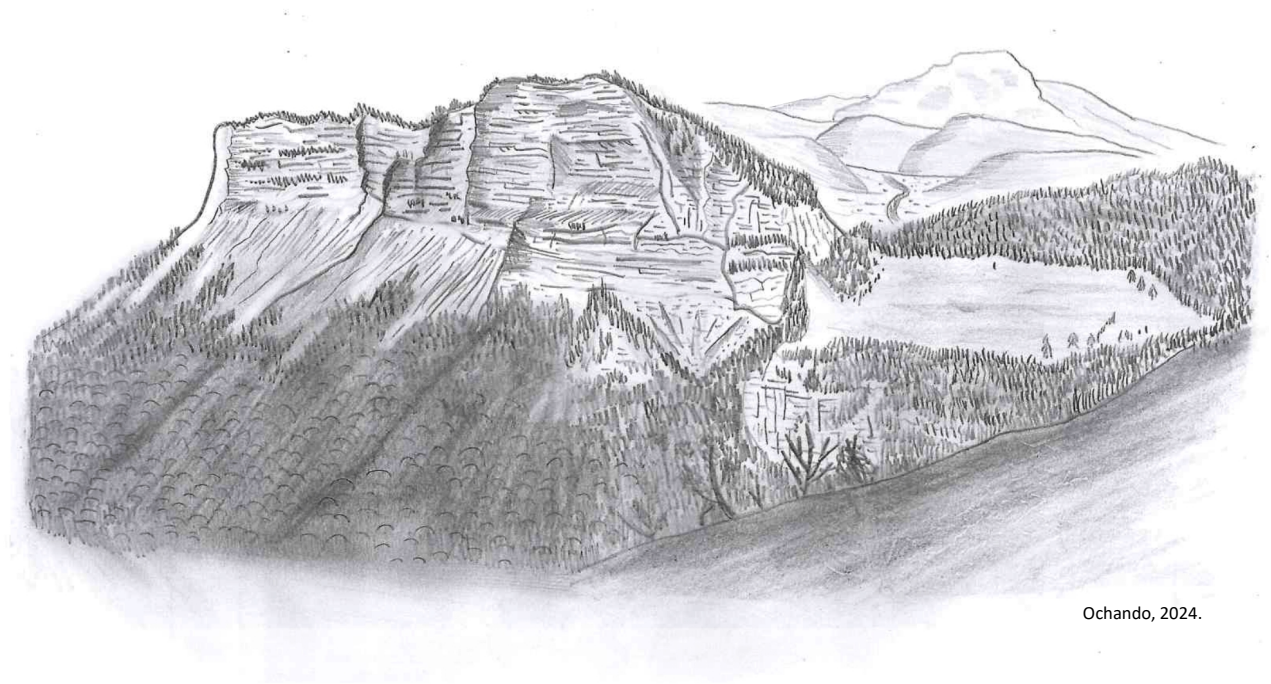
SCOT : Schéma de cohérence territoriale

SRADDET : Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

*En gras : sigles et abréviations les plus utilisés.

Sommaire

Résumé.....	3
Introduction.....	9
1. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : la nécessité d'étudier les effets du changement climatique et de réfléchir à l'adaptation.....	11
1.1. Un territoire de moyenne montagne soumis au changement climatique.....	11
1.2. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : gouvernance, objectifs et missions.....	18
1.3. Le suivi du patrimoine naturel et le lancement d'une démarche d'adaptation face au changement climatique.....	21
2. Les impacts du changement climatique en contexte montagnard : vers l'adaptation des aires protégées.....	24
2.1. Les changements climatiques : mécanismes et impacts sur les socio-écosystèmes montagnards.....	24
2.2. La démarche LIFE Natur'Adapt pour répondre au défi de l'adaptation des aires protégées.....	30
2.3. Quelles stratégies de gestion pour l'adaptation de la biodiversité ?.....	32
3. Produire le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité : un cadre méthodologique à adapter au territoire d'étude.....	34
3.1. Découpage chronologique et principales missions.....	34
3.2. Dresser un récit climatique : méthodologie, sources et services climatiques.....	36
3.3. Définition et méthode d'analyse des objets représentatifs de la Réserve.....	38
4. Les effets du changement climatique sur le socio-écosystème des Hauts de Chartreuse.....	43
4.1. Les évolutions contemporaines du climat et les projections à proche, moyen et long terme.....	43
4.2. Récit prospectif : les activités socio-économiques et le patrimoine naturel de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse face au changement climatique.....	50
4.3. Les outils et moyens de gestion de la Réserve : des enjeux clés pour penser l'adaptation...	66
5. Apports, limites et perspectives de la démarche.....	70
5.1. Les apports et les limites de la méthodologie LIFE Natur'Adapt.....	70
5.2. La mobilisation des acteurs locaux : acquis, difficultés et perspectives.....	73
5.3. Perspectives : vers la finalisation du DVO et l'animation de la démarche.....	74
Conclusion.....	76
Bibliographie.....	78
Annexes.....	86



Ochando, 2024.

Introduction

D'origine anthropique, le changement climatique moderne se caractérise par une hausse de la température moyenne à l'échelle mondiale du fait des rejets de gaz à effets de serre par l'usage de combustibles fossiles (GIEC, 2023). L'effet de serre additionnel modifie les équilibres du système naturel : le climat, le vivant et le cycle de l'eau. Il favorise des aléas tels que les sécheresses, les incendies ou encore les mouvements de terrain, et conduit à des menaces sociales (Commission européenne, 2024). Ces changements climatiques s'inscrivent à de multiples échelles spatiales et temporelles et font émerger des vulnérabilités et des opportunités pour les composantes des socio-écosystèmes. Ces derniers mêlent les systèmes sociaux (économie, aménagement, pratiques productives) et naturels (climat, géologie, pédologie) dans le temps et dans l'espace (Lagadeuc et Chenorkian, 2009). Gestionnaires de territoires sentinelles de ces évolutions, les structures d'aires protégées mènent des actions qui visent à mieux connaître les impacts du changement climatique sur les espaces concernés, en vue d'évaluer leur vulnérabilité et de réfléchir à leur adaptation. Coordonnée par l'association des Réserves naturelles de France (RNF), la démarche LIFE Natur'Adapt (LNA) s'inscrit dans ce contexte. Elle repose sur la réalisation d'un récit climatique, d'un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité (DVO) et la proposition d'un plan d'adaptation à l'échelle de l'aire protégée. Inscrit dans le cadre d'un stage de 5 mois et demi, le présent mémoire aborde la mission d'élaboration du DVO de la Réserve naturelle nationale des Hauts de Chartreuse (RNNHC) face au changement climatique.

L'objectif du stage est de lancer la RNNHC dans une démarche lui permettant de se projeter et d'amorcer des discussions avec les acteurs socio-économiques et le public du site. Ce cheminement entraîne une montée en compétence de la structure gestionnaire de l'aire protégée sur le changement climatique et conduit à des réflexions sur la gestion du site, l'état actuel des connaissances et la prise en compte des incertitudes sur les effets du changement climatique.

Créée en 1997 et gérée par le Parc naturel régional de Chartreuse (PNRC) depuis 2001, la RNNHC est une aire protégée au sens réglementaire qui concerne un synclinal perché et ses zones de flancs compris dans les étages collinéen, montagnard et subalpin des Pré-Alpes calcaires du nord. L'équipe de la Réserve naturelle y mène des missions de surveillance, de sensibilisation, de pédagogie, de conciliation des usages et de suivis scientifiques. Depuis moins d'une dizaine d'années, l'aire protégée lance et accompagne des études et des démarches en lien avec le changement climatique telles que des suivis de variations de glace et de la phénologie d'essences d'arbres, la réalisation d'une étude diachronique des milieux et des paysages et la conduite d'une fresque de la montagne.

La principale mission du stage s'insère dans cette continuité et consiste en la réalisation d'un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité basé sur la méthodologie provenant du projet LIFE

Natur'Adapt (Coudurier *et al.*, 2023). Cette mission comprend la production d'un récit climatique et d'une analyse d'« objets » représentatifs des activités socio-économiques, du patrimoine naturel, et des outils et moyens de gestion de la RNNHC. Cela induit la conduite d'une veille bibliographique sur une diversité de sujets et d'une mobilisation des acteurs socio-économiques, scientifiques et techniques qui exercent leurs activités sur le site. La mission du stage a pour fil rouge le questionnement suivant :

Face au changement climatique, quelles sont les vulnérabilités et les opportunités des composantes socio-écosystémiques de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse ?

Dans un premier temps, il s'agira de présenter la structure d'accueil, sa gouvernance et ses missions, avant de caractériser le territoire en lien avec le changement climatique et d'explicitier la mission du stage. Dans un deuxième temps, il sera question de dresser un état de l'art sur les effets du changement climatique en montagne, en se concentrant sur le contexte des Pré-Alpes du Nord dans lequel s'inscrivent les Hauts de Chartreuse. Cela, avant de mentionner l'historique, les objectifs du projet LNA à l'origine de la méthodologie mobilisée et les retours d'expérience des réserves naturelles situées en territoire de montagne. L'organisation temporelle de la mission et la justification des choix méthodologiques fondée sur le guide Natur'Adapt et les spécificités du site feront l'objet d'une troisième partie. Cette dernière précédera une partie dédiée à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus par le biais du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

1. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : la nécessité d'étudier les effets du changement climatique et de réfléchir à l'adaptation

1.1. Un territoire de moyenne montagne soumis au changement climatique

1.1.1. Situation de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse

La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse s'étend sur une superficie de 4 420 hectares et concerne 5 communes de l'Isère et 4 de la Savoie. L'altitude minimale est de 900 m, sous le col du Granier, au nord de la Réserve. Le point culminant est la Dent de Crolles (2062 m), située au sud. Située en Région Auvergne-Rhône-Alpes à cheval entre l'Isère et la Savoie, la Réserve est incluse dans le Parc naturel régional de Chartreuse (figure 1), composé de 72 communes adhérentes représentant environ 60 000 habitants. Le PNRC est bordé par trois villes-portes : Grenoble, au sud (158 000 habitants), Chambéry, au nord (59 000 habitants) et Voiron, à l'ouest (20 000 habitants) (INSEE, 2020). Ces villes, leurs agglomérations ainsi que la Métropole de Lyon, exercent une influence urbaine sur le massif de la Chartreuse, notamment touristique.

Ochando, 2024.

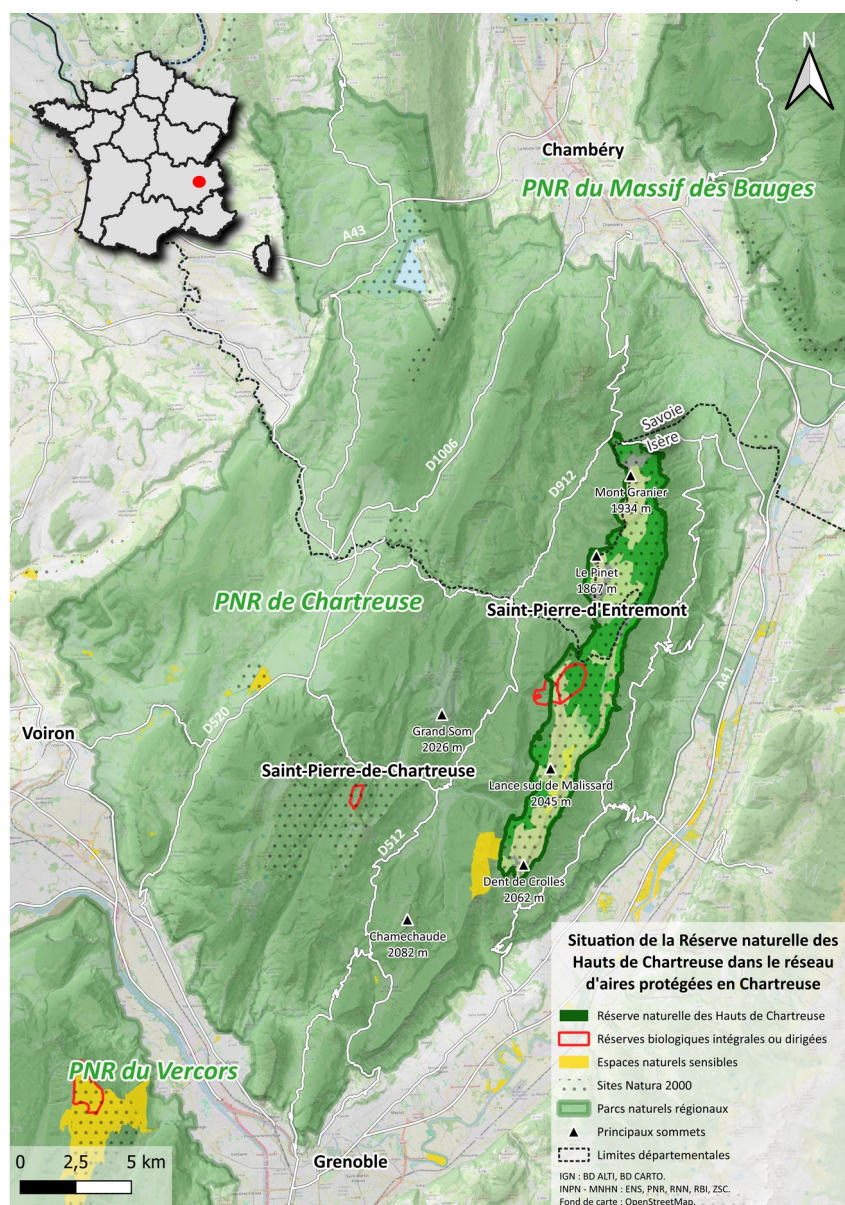


Figure 1: Situation de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse dans le réseau d'aires protégées en Chartreuse.

Sauf mention contraire, tous les schémas, cartes et photographies de ce mémoire sont de l'auteur.

Orienté Nord-Sud, le synclinal perché des Hauts de Chartreuse est caractérisé par une mosaïque de milieux fermés, semi-ouverts et ouverts (figure 2). Cet assemblage de milieux est le fruit d'une interaction complexe entre des facteurs naturels (géologie, processus de succession végétale spontanée) et anthropiques (pastoralisme, exploitation forestière) depuis plusieurs milliers d'années. Inclus parmi ces facteurs, le climat actuel évolue sous l'effet des activités anthropiques émettrices de gaz à effets de serre. Il convient de contextualiser le climat et ses évolutions contemporaines dans le massif de la Chartreuse avant d'aborder plus précisément les caractéristiques du socio-écosystème des Hauts de Chartreuse, lui-même sensible à ces modifications.

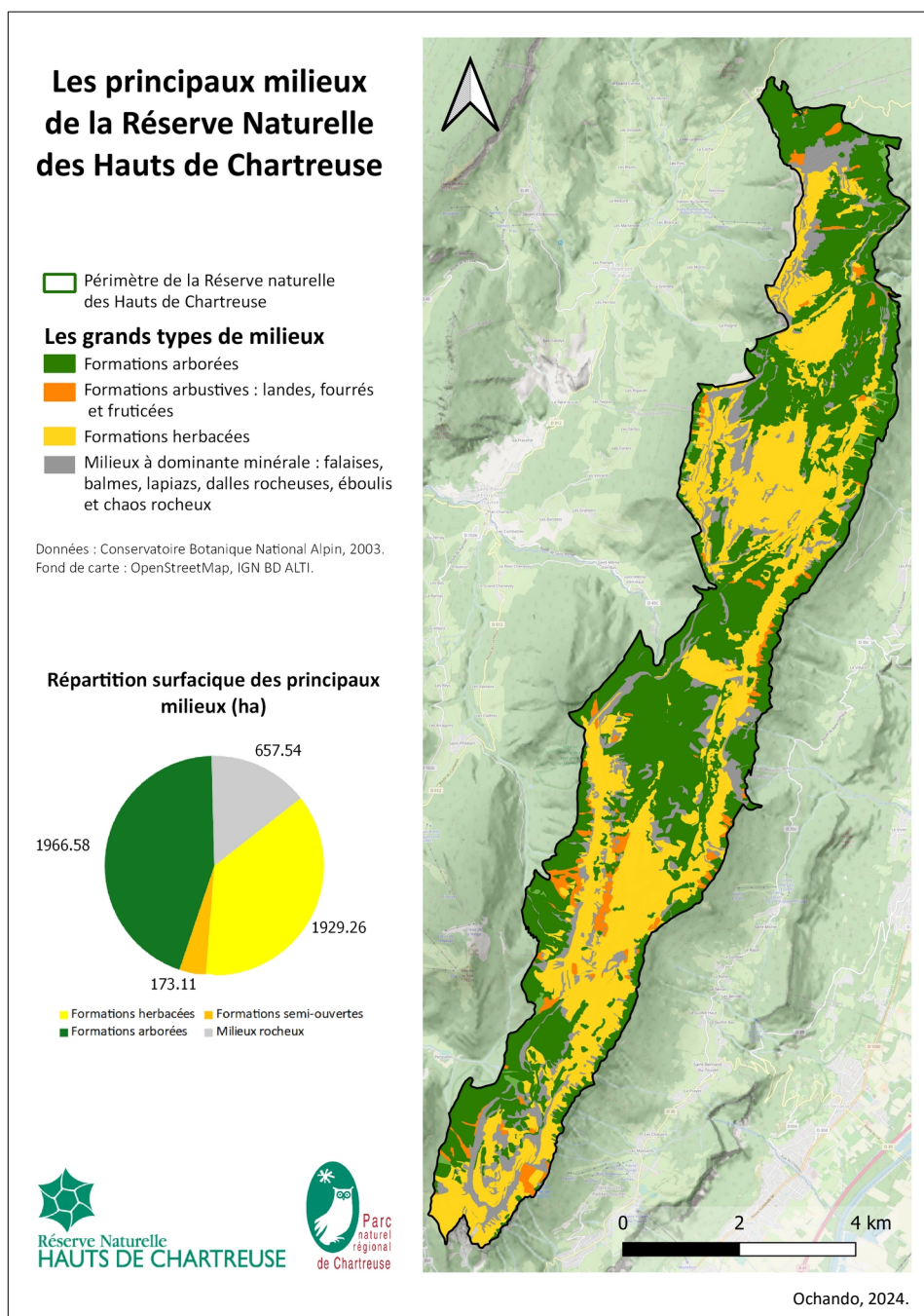


Figure 2: Les principaux milieux de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.
Données : Conservatoire Botanique National Alpin (CBNA), 2003.

1.1.2. Caractéristiques et évolutions du climat local à l'échelle de la Chartreuse

Situé dans les Pré-Alpes calcaires du Nord, le massif de la Chartreuse constitue la première barrière à l'Ouest de la chaîne alpine. La Chartreuse est principalement arrosée par les perturbations formées sur l'océan Atlantique. Les précipitations sont exacerbées par l'effet barrière du relief, qui, par condensation, configurent un climat montagnard frais et très humide tout au long de l'année. La température moyenne annuelle est de 8,7 °C et le cumul annuel moyen des précipitations est de 1787,2 mm pour la période 2005-2020, à 950 m (station Saint-Pierre-Les Égaux) (figure 3). Les températures diminuent et les précipitations augmentent à mesure que l'on monte en altitude. D'environ 1300 mm en moyenne par an entre 200 et 400 m à environ 2300 mm à plus de 2000 m d'altitude (Dumas, 2011).

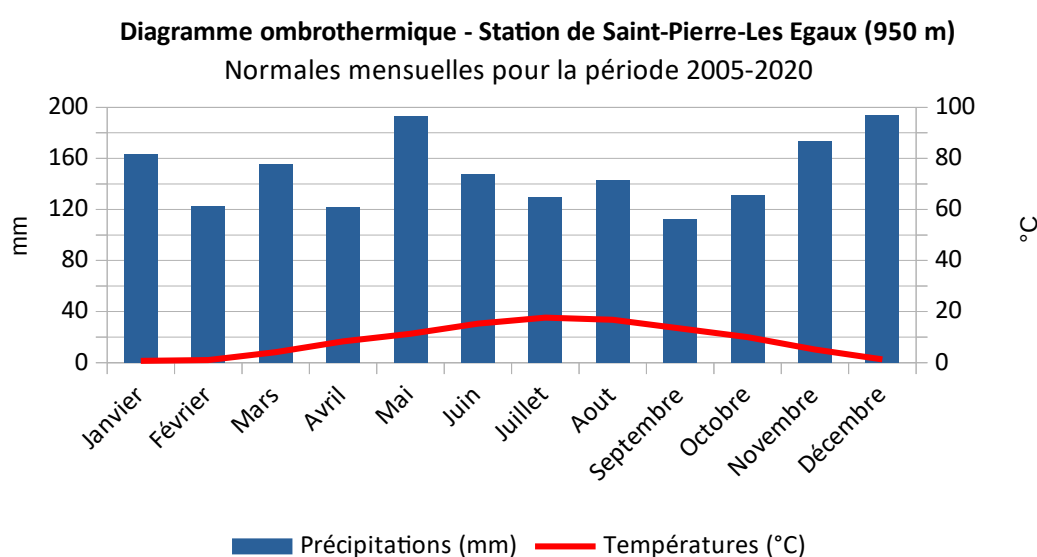


Figure 3: Diagramme ombrothermique - station Saint-Pierre-Les Égaux - 950 m (2005-2020).

Afin d'avoir du recul sur le changement climatique depuis la Révolution industrielle, l'Organisation météorologique mondiale recommande de se référer à la période 1961-1990 (Courdurier *et al.*, 2023). Les données mesurées issues de la station météorologique de la Grande Chartreuse (954 m) permettent de mettre en évidence les modifications contemporaines du climat local. L'écart à la référence (1961-1990) des températures moyennes témoigne d'un réchauffement net à partir de la fin des années 1980. À partir de cette décennie, les écarts de températures sont toujours positifs et dépassent aujourd'hui les 1,5 °C par rapport à la période 1961-1990.

Les températures moyennes en période hivernale augmentent de 0,29 °C par décennie entre les hivers 1960-1961 et 2012-2013 au col de Porte (1325 m). Cette augmentation des températures et, par conséquent, la remontée de la limite pluie-neige entraîne une diminution de l'enneigement. La hauteur de neige moyenne diminue de 12 cm par décennie, soit une perte de 40 % du manteau neigeux entre 1960 et 2013 (Site nivo-météorologique du col de Porte).

1.1.3. Le socio-écosystème des Hauts de Chartreuse : patrimoine naturel et activités socio-économiques

La description des principales composantes du socio-écosystème du site est nécessaire à la compréhension des choix méthodologiques et des résultats de la mission du stage. Certains éléments mentionnés ci-dessous font l'objet de l'analyse de vulnérabilité et d'opportunité.

La mosaïque des milieux et des paysages (figure 4)

L'étage montagnard (de 900 à environ 1600 m) est principalement composé de milieux forestiers. La hêtraie-sapinière est le milieu forestier le plus présent dans l'étage montagnard. Cet habitat est dominé par le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le sapin pectiné (*Abies alba*), et occupe l'ensemble des flancs du synclinal perché. Le site est composé de hêtraies-sapinières aux propriétés écologiques et de cortèges d'espèces variés, notamment acidophiles, neutrophiles, hygrophiles et mésoxérophiles (CBNA, 2003). Certains habitats plus ponctuels en termes de superficie sont associés à des contextes géomorphologiques et bioclimatiques particuliers, à l'image des érablaies des ravins et des stations abyssales de pins à crochets, dont la présence est associée au contexte pédologique favorable offert par les éboulis froids.

L'étage montagnard est séparé de l'étage subalpin par des parois calcaires et les failles décrochantes qui constituent les principales voies d'accès du site. L'étage subalpin (d'environ 1600 m à 2062 m) présente une alternance entre des milieux ouverts, semi-ouverts et fermés. Les forêts subalpines sont dominées par l'épicéa (*Picea abies*) et, plus haut en altitude, par le pin à crochets (*Pinus uncinata*). Ces forêts ne sont plus exploitées depuis les années 1950 et commencent à atteindre un certain degré de naturalité (Bailly, Foret, Gardet et Muraz, 2017).

Le patrimoine géologique et géomorphologique

Le pli synclinal des Hauts de Chartreuse est constitué de différentes couches sédimentaires. Les premières sont principalement calcaires, composant les parois visibles et emblématiques du paysage du site. Les secondes sont marno-calcaires et composent les pentes et les talus des flancs. Les couches sédimentaires ont été soulevées et déformées par le plissement alpin modéré (entre -30 et -5 millions d'années). Ces mouvements conduisent à la formation du pli synclinal, à l'inversion du relief et à la constitution de failles décrochantes, dont les principales séparent le synclinal perché en quatre compartiments.

Des formes d'érosion multiples, d'origine chimique ou mécanique, marquent les paysages des Hauts de Chartreuse. Les formes d'érosion concernent les parois calcaires, qui présentent des vires et des abris sous roche, les éboulis et chaos de blocs d'origine mécanique, les formes karstiques

formées par dissolution chimique du calcaire et les modelés d'érosion glaciaire discrets à l'échelle du site (Bailly, Foret, Gardet et Muraz, 2017).

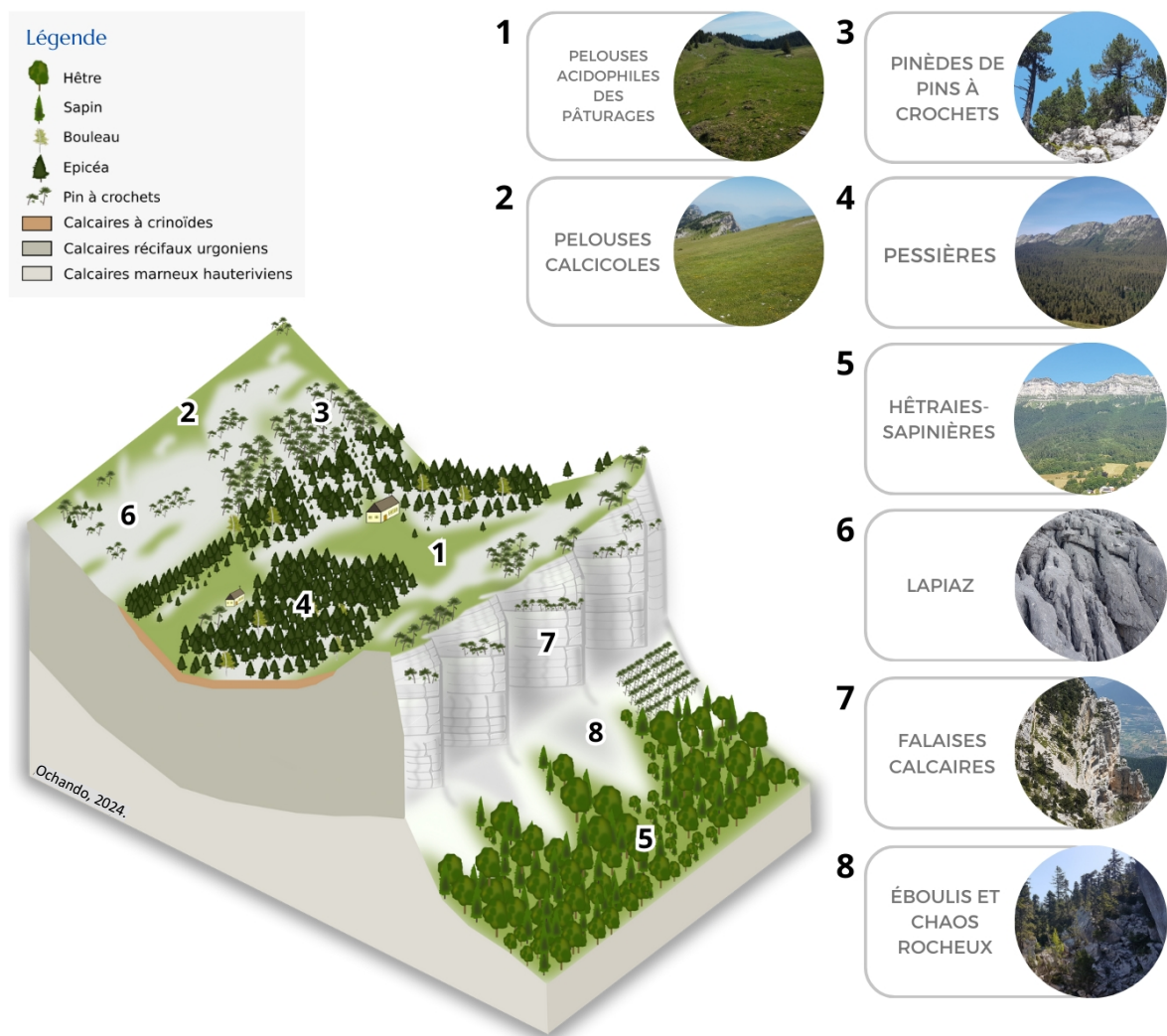


Figure 4: Les principaux habitats de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

Les activités socio-économiques sur les Hauts de Chartreuse

Le pastoralisme, la sylviculture pratiquée sur les flancs et les activités cynégétiques (interdites par décret sur 30 % du site) constituent les trois principales activités et maîtrises d'usages présentes sur les Hauts de Chartreuse. À ces activités s'ajoutent les pratiques touristiques et sportives (randonnée, escalade, raquette à neige, trail, vol libre, spéléologie, etc.) favorisées par la proximité des grandes agglomérations, à l'image de Grenoble, Chambéry et Lyon (PNRC ; Bailly, Foret, Gardet et Muraz, 2017).

Six alpages accueillent en moyenne 700 à 800 bovins et 3000 ovins destinés majoritairement à la production de viande. Cinq groupements pastoraux, regroupant 28 éleveurs ou exploitants, et un éleveur individuel se répartissent sur ces alpages communaux, privés ou domaniaux. Chaque alpage dispose d'une ou plusieurs sources. En lien avec le changement climatique, la récurrence du tarissement précoce des sources et la raréfaction des eaux de surface en période estivale ont rendu nécessaire l'aménagement de réservoirs de stockage, présents sur tous les alpages et permettant jusqu'à présent de faire face aux périodes délicates (Bailly, Foret, Gardet et Muraz, 2017).

La production forestière est actuellement concentrée sur les flancs du site. Domaniales ou communales pour l'essentiel, ces forêts, gérées par l'ONF via des plans d'aménagement forestier, sont exploitées en futaie irrégulière. Cela signifie qu'il n'y a pas de coupe à blanc et que la régénération naturelle et le mélange d'arbres d'âges variés sont pratiqués. Le décret de la RNNHC (1997) demande à ce que des espèces allogènes ne soient pas introduites en Réserve. L'avis du comité consultatif est obligatoire si une demande d'introduction d'espèces allogènes est formulée. Face aux effets de la sécheresse sur l'état sanitaire des forêts observés dans les étages collinéen et montagnard en Chartreuse, et plus largement à l'échelle nationale, la nécessité de favoriser la diversité génétique et spécifique des peuplements s'impose dans les objectifs de gestion des forêts publiques et privées (ONF, 2023 ; CRPF, 2024).

Les dynamiques d'évolution des milieux comme expression du fonctionnement du socio-écosystème

La fermeture des milieux, caractérisée par la progression de la forêt, suscite quelques inquiétudes chez certains acteurs du site : rythme rapide, risque incendie, fermeture de points de vue, perte d'accessibilité, etc.

Pour ajouter des éléments de réponse à ces questionnements, l'étude diachronique basée sur les méthodes de la photo-interprétation manuelle (figure 5) et de la rephotographie a permis de quantifier et de qualifier l'évolution contemporaine des milieux et des paysages de la RNNHC (Ochando, 2023). Sur les Hauts, la fermeture des milieux est à mettre en lien avec la régénération spontanée et la maturation des forêts anciennement exploitées par câble sur des sols sélectifs où la roche affleure. C'est le cas de certaines pessières qui présentaient, lors des années 1950, des marques de coupes étendues dévoilant le lapiaz aujourd'hui recolonisé par l'épicéa. La formation de forêts montagnardes plus denses sur les flancs relève principalement du changement des pratiques des forestiers, avec la généralisation du mode de conduite en futaie irrégulière et l'abandon des coupes à blanc et du lançage. La plantation de forêts de protection à la fin du XXe siècle contribue, de façon plus localisée, à cette fermeture paysagère et traduit la nécessité d'adapter le système social face aux risques gravitaires.

Etat des milieux de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse entre 1949, 2003 et 2021.

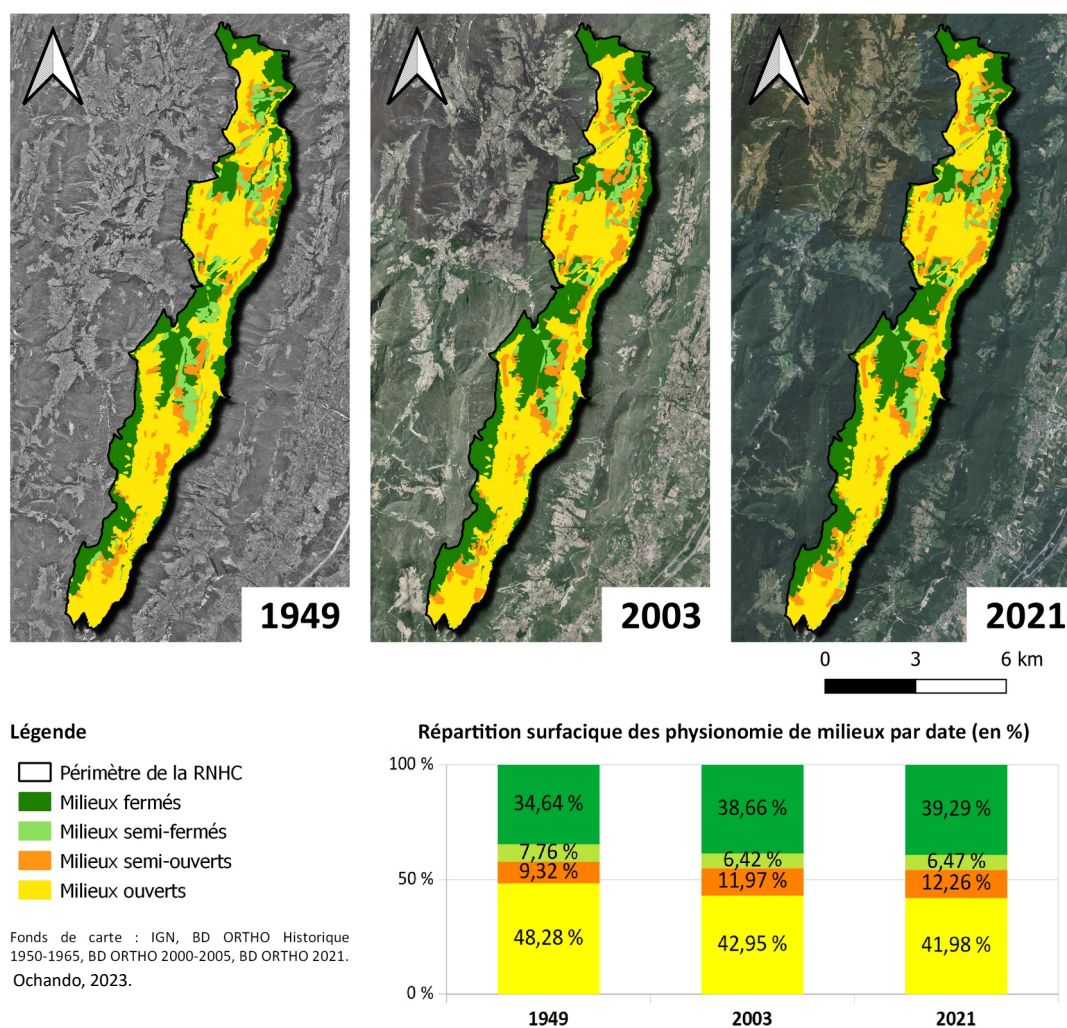


Figure 5: État des milieux de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse entre 1949, 2003 et 2021.

À l'échelle de la Réserve, les forêts progressent par densification dans le subalpin et de proche en proche dans le montagnard sans véritablement perturber les délimitations entre les forêts et les principaux alpages du fait de l'action de facteurs anthropiques et naturels. Le ralentissement des processus de fermeture par les contraintes liées à l'altitude et au substrat calcaire, ainsi que le maintien depuis des millénaires des pratiques pastorales adaptées à ces milieux particulièrement sensibles aux modifications, contribuent au maintien de cette alternance de milieux ouverts, semi-ouverts et fermés. La part du changement climatique dans l'évolution des milieux semble minime face à l'utilisation actuelle et passée du sol, caractérisée par une succession de déprises et d'emprises des activités sylvicoles et pastorales, différenciée dans l'espace et dans le temps.

1.2. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : gouvernance, objectifs et missions

Ces milieux fragiles et spécifiques au contexte des Pré-Apes du Nord sont couverts par une Réserve naturelle nationale, un dispositif d'aire protégée au sens réglementaire dont il convient de présenter la gouvernance et les objectifs, en particulier en lien avec le changement climatique.

1.2.1. La gouvernance de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse

Sous l'impulsion de naturalistes en réaction à des projets d'aménagements, la RNNHC est créée par le décret n° 97-905 du 1^{er} octobre 1997. Relevant de l'État, le décret fixe la délimitation du site (article 1), les mesures de gestion (article 2 à 5) et le cadre réglementaire (articles 6 à 23) de la Réserve naturelle (Ministère de l'Environnement, 1997).

Sa gestion est confiée au Parc naturel régional de Chartreuse en 2001, qui intègre une équipe composée à ce jour de la conservatrice (Suzanne Foret), des deux gardes techniciens (Patrick Gardet, Jérôme Bailly), du garde animateur (Simon Lebreton) et de la chargée d'études d'évaluation du plan de gestion (Alice Faget).

Le ministre chargé de la protection de la nature désigne le préfet du département de l'Isère auquel sont conférés certains pouvoirs par le décret de création de la RNNHC. Le préfet (ou son représentant) fixe par arrêté et préside un comité consultatif composé de 42 membres qui représentent les principaux acteurs de la RNN : représentants de collectivités, de propriétaires et d'usagers, représentants d'administrations et d'établissements publics, représentants d'associations de protection de la nature et scientifiques qualifiés (PNRC, 2020). Le comité consultatif donne un avis sur le budget, le plan de gestion, les conditions d'application du décret et les projets soumis à avis (Ministère de l'Environnement, 1997). Le comité consultatif œuvre sous l'égide du préfet qui décide en fonction de cet avis (figure 7).



Figure 6: Portrait de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse (RNF).

La RNNHC et le PNRC partagent un conseil scientifique commun dont les quatre principales missions sont l'éclairage, l'expertise, la recherche et de porter à connaissance (vulgarisation, application et valorisation des recherches menées). Le conseil scientifique commun est principalement composé d'experts de la communauté scientifique régionale (PNRC, 2021).

Ochando, 2024.

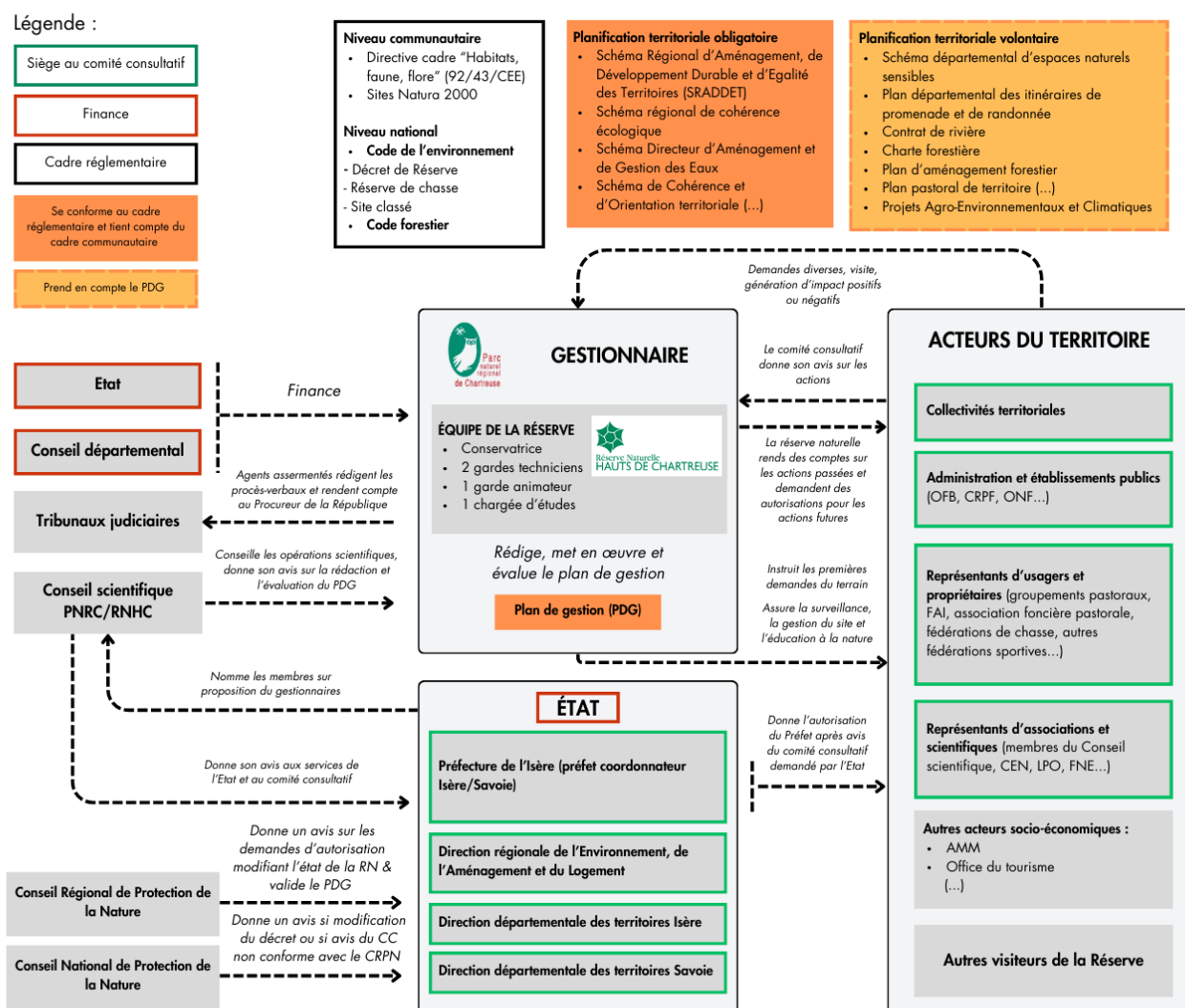


Figure 7: Schéma de gouvernance de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

Il convient de distinguer le dispositif de Parc naturel régional (PNR), aire protégée au sens contractuel qui s'organise autour d'un projet concerté de territoire, de l'outil Réserve naturelle nationale (RNN), aire protégée au sens réglementaire relevant de l'État. Tandis que le PNRC œuvre à faire bénéficier des communes membres d'une ingénierie territoriale sur un vaste panel de sujets (tourisme, système d'information territorial, forêt, agriculture, biodiversité, aménagement, paysage, patrimoine, éducation, financement de projets, etc.), la RNNHC est davantage tournée vers le terrain et y mène des missions de surveillance, de suivi scientifique, de pédagogie et de

conciliation des usages. En raison des thématiques partagées, la RNNHC, la mission Biodiversité, Aménagement et Paysage (BAP), la mission Agriculture et la mission Tourisme du PNRC entretiennent des liens étroits dans la plupart des actions menées.

1.2.2. Objectifs et outils de la protection de la nature

Les principaux objectifs de la Réserve

Sur les Hauts de Chartreuse, les activités humaines traditionnelles et contemporaines génèrent des pressions multiples sur un patrimoine naturel et culturel riche. Face à cela, les missions quotidiennes effectuées par la Réserve combinent la conciliation des usages, la sensibilisation à la protection de la nature, l'amélioration de la connaissance scientifique du site et l'exercice de la compétence de police de l'environnement (Bailly, Foret, Gardet et Muraz, 2017).

Les missions de surveillance et de pédagogie

La sensibilisation à la nature et à la réglementation s'effectue à travers les missions de surveillance sur le site menées par les trois agents commissionnés, et dans le cadre d'interventions réalisées auprès des scolaires par le garde animateur. Ces actions renforcent par la même occasion l'ancrage territorial du dispositif d'aire protégée. La surveillance se déroule dans un contexte montagnard accidentogène qui présente de nombreuses difficultés pour les gardes. Le travail de police renvoie en priorité au rappel à la loi, à la sensibilisation et à la verbalisation en cas d'infractions.

La mission de suivi scientifique et la saisie de la question climatique

Le territoire de la RNNHC est un site de recherche fortement utilisé. Les suivis scientifiques s'effectuent le plus souvent en partenariat avec des laboratoires de recherche qui obtiennent un financement de la Réserve. Les projets de recherche touchent à des thématiques variées : habitat, flore, faune, cosmologie, géomorphologie, archéologie, karstologie et paléontologie (Bailly, Foret, Gardet et Muraz, 2017). Depuis une dizaine d'années, le site fait l'objet de recherches sur le changement climatique et ses effets sur les écosystèmes montagnards. Portées par la RNNHC, ces recherches consistent en des suivis programmés sur le long terme et concernent la phénologie d'essences d'arbres, les variations de hauteurs de glace et la biodiversité des zones humides. Il convient de décrire ces suivis puis de contextualiser le lancement de la démarche Natur'Adapt qui concerne la mission du stage.

1.3. Le suivi du patrimoine naturel et le lancement d'une démarche d'adaptation face au changement climatique

1.3.1. Mesurer les effets du changement climatique : les suivis de phénologie, des variations de glace et de la biodiversité des zones humides

Le suivi Phénoclim

Depuis 2012, la RNNHC participe au programme Phénoclim porté par le CREA Mont-Blanc afin de mesurer l'impact du changement climatique sur la végétation. Pour réaliser ce suivi, l'équipe de la Réserve procède :

- au suivi de la phénologie de 9 arbres de référence situés à 1526 m d'altitude : 3 sorbiers des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*), 3 bouleaux verruqueux (*Betula verrucosa*) et 3 épicéas (*Picea abies*) ;
- et à la récupération de données de températures enregistrées par une station automatique située dans le même secteur (figure 8).

En raison de la variabilité interannuelle du climat et du fait que la durée que couvre la série de données n'est pas suffisamment longue, aucune conclusion n'est tirée à ce jour.



Figure 8: Station Phénoclim de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse (1526 m). Août 2024.

Située dans la même zone que la station Phénoclim, la langue glaciaire du glacier souterrain du gouffre du Grand Glacier est suivie depuis 2014 par le biais de mesures de la côte de glace deux fois par an (en période de « basse glace », l'été, et en période de « haute glace », l'hiver). En parallèle, des campagnes de photographies ont été menées en 2008 et 2017 afin de visualiser l'évolution de la hauteur de glace. L'objectif est de comparer ces photographies à celle qui expose l'état du glacier souterrain avant 1985 (figure 9). La série des trois photographies ci-dessous permet de constater le recul de la hauteur de glace, de 20 cm par an en moyenne.



Figure 9: Évolution de la hauteur de glace du Gouffre du Grand Glacier (Chapareillan) entre avant 1985 et mai 2017. Source : Spéléo-Club de Savoie, Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

Le projet CIMAE

Le projet CIMAE (Climatic Impact on Mountain Aquatic Ecosystems) a été lancé en 2021 pour étudier la réponse des zones humides d'altitude face au changement climatique. D'après FNE Haute-Savoie (2021), le projet se déroule selon les trois axes suivants :

- « Récolter des données concernant la localisation et les typologies des zones humides d'altitude. Étudier l'impact des changements climatiques sur ces dernières.
- Étude de la réponse des communautés (odonates, amphibiens...) à différents paramètres (température de l'eau, connectivité...).
- Modélisation des distributions actuelles et futures des espèces d'altitude. ».

Menées dans le cadre d'une thèse en cours (Lamouille-Hébert, 2021-2024), les prospections ont été réalisées en 2023 et les résultats ne sont pas encore disponibles.

1.3.2. Mener un travail de prospective pour s'adapter au changement climatique

Face au changement climatique, le gestionnaire de l'aire protégée souhaite se lancer dans une démarche prospective à l'origine du stage. Celui-ci s'insère dans une phase amont ayant pour but de rassembler des connaissances, et, pour ce faire, d'amorcer une sollicitation des acteurs locaux. La fiche de stage précise le contexte suivant pour justifier le lancement de la démarche Natur'Adapt : « Depuis quelques années, les effets du changement climatique commencent à s'observer sur les Hauts de Chartreuse : diminution de l'enneigement, hausse des températures et intensification des sécheresses, remontée d'espèces à affinité montagnarde et collinéenne en altitude et baisse du niveau de glace dans les glaciers souterraines. Ces impacts du changement climatique se font indirectement ressentir à travers les activités socio-économiques, par exemple concernant la demande de stockage d'eau supplémentaire ou de réfection de captages d'eau préexistants sur les alpages. Au regard de ces constats, le gestionnaire souhaite s'engager dans une démarche prospective lui permettant d'avoir une vision plus globale des scénarios climatiques qui peuvent affecter le site. Ces différents scénarios permettraient un recueil de données estimatives et l'amorçage des pistes de réflexion, des actions et des suivis à mener, afin notamment d'engager des concertations avec les usagers du site. » (RNNHC, 2024).

Le lancement de la démarche porte alors des objectifs concrets tels que la montée en compétence de l'aire protégée sur la question du changement climatique, le regroupement et la synthèse de la connaissance et l'intégration de la focale « changement climatique » à la gestion de la réserve. Il s'agit également de faire participer les acteurs scientifiques, techniques et socio-économiques à ce cheminement.

2. Les impacts du changement climatique en contexte montagnard : vers l'adaptation des aires protégées

Axé sur un contexte local, ce travail de prospective implique de s'acculturer aux mécanismes et aux impacts du changement climatique sur les socio-écosystèmes, à l'échelle mondiale puis à celle des territoires de montagne, plus précisément des Pré-Alpes du Nord. Il s'agira également de passer en revue certains moyens d'adaptation avant de décrire l'historique et les objectifs du projet LNA. Les caractéristiques de la démarche qui en découle seront mises en lumière, ainsi que la portée des expériences déjà menées dans d'autres territoires de moyenne montagne.

2.1. Les changements climatiques : mécanismes et impacts sur les socio-écosystèmes montagnards

Les changements globaux contemporains : le changement climatique et l'érosion de la biodiversité

Observé à l'échelle mondiale, le changement climatique moderne est d'origine anthropique en raison des rejets de gaz à effets de serre dans l'atmosphère. Les activités anthropiques émettrices initiées puis généralisées par les sociétés technico-industrielles occidentales depuis le milieu du XIX^e siècle, conduisent à une augmentation de la concentration de gaz à effets de serre (414 ppm de CO₂ mesurés en 2021 contre environ 280 ppm avant l'ère industrielle) et à une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre à raison de +1,09 °C entre 1850-1900 et 2011-2020 (Atecopol, 2019 ; NOAA, 2021 ; GIEC, 2023). Le changement climatique est le troisième facteur de l'érosion de la biodiversité, auquel s'ajoutent par ordre d'importance : le changement d'usage des sols et des mers, la surexploitation des ressources, la pollution et les espèces exotiques envahissantes (IPBES, 2019). Le processus d'effondrement de la biodiversité accélère le changement climatique, en raison de la dégradation des capacités des écosystèmes à assimiler et stocker le CO₂ (UNESCO, 2024). En raison du rythme d'extinction des espèces et de la diminution de leur abondance, il apparaît que la trajectoire actuelle de l'érosion de la biodiversité puisse tendre vers une sixième extinction de masse (David, 2021). Au-delà de leurs effets physiques sur les écosystèmes et le système Terre-atmosphère, ces changements environnementaux globaux et leurs conséquences sont inégalement répartis à différentes échelles spatiales. Ils contribuent à la création, au renforcement, et à l'amplification des inégalités sociales (Drique et Lejeune, 2017).

Les socio-écosystèmes montagnards concentrent des spécificités écologiques et socio-économiques interreliées (eau, biodiversité, patrimoine agricole et culturel, loisirs et tourisme) sur lesquelles le changement climatique agit directement et indirectement (Morin, 2022). Du fait d'un réchauffement plus rapide qu'ailleurs sous climat tempéré, les montagnes figurent comme des sentinelles du climat. Alors que la France s'est réchauffée de +1,4 °C depuis la période de référence (1850-1900), la température dans les Alpes et les Pyrénées a augmenté de 2 °C (figure 10). Les tendances linéaires d'augmentation des températures varient au sein même des chaînes de montagne. Entre 1900 et 2015, les Alpes françaises du Nord se réchauffent plus vite (+ 2,05 °C) que les Alpes françaises du Sud (+ 1,80 °C) (Parc national des Écrins, 2016).

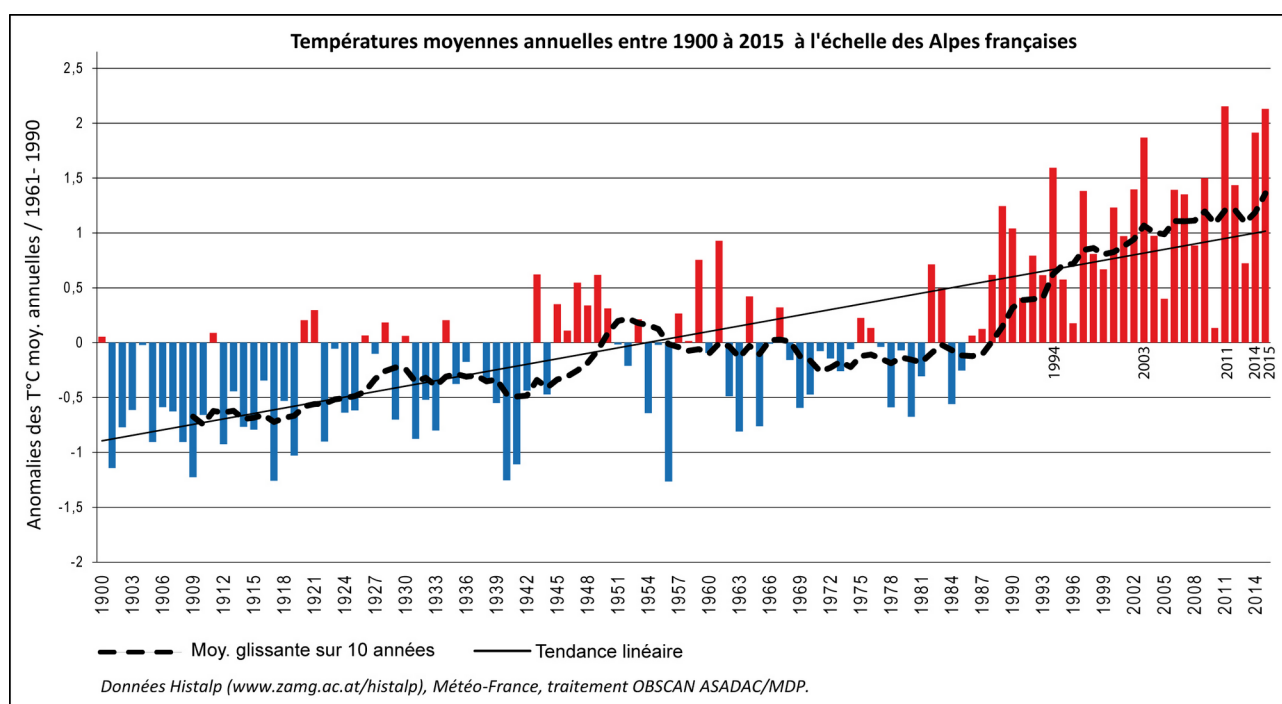


Figure 10: Températures moyennes annuelles entre 1900 et 2015 à l'échelle des Alpes françaises. Source : Observatoire du climat - Mission Développement Prospective, 2015. Données : Histalp, Météo-France, traitement OBSCAN ASADAC/MDP.

L'évolution des températures est fortement suivie dans les contextes de montagne en raison de la présence de l'isotherme zéro degré, limite altitudinale au-dessus de laquelle les températures sont inférieures à 0 °C. La montée en altitude de cette limite d'année en année induit des modifications dans le fonctionnement des écosystèmes, menace directement certaines espèces et inquiète les acteurs économiques de la montagne, qui figurent vulnérables face à la diminution du manteau neigeux (Météo Suisse). Les précipitations neigeuses suivent alors une remontée en altitude et la fonte du manteau neigeux au printemps est plus précoce. Entre 1960 et 2013, le manteau neigeux dans le massif de la Chartreuse a diminué de 12 centimètres par décennie (1325 m). Cela

représente une diminution de 40 % du manteau neigeux et près d'un mois d'enneigement en moins lors de l'hiver 2013/2014 par rapport à l'hiver 1960/2021 (CNRM, 2014). L'augmentation des températures est responsable des tendances qui expliquent la réduction de l'enneigement à moyenne et basse altitude. Les précipitations hivernales apportent de plus en plus de pluie et de moins en moins de neige. Moins alimenté par les précipitations neigeuses, le manteau neigeux perd en épaisseur et fond plus rapidement (Météo-France, 2020).

Le changement climatique provoque d'autres conséquences spécifiques aux milieux de montagne, du fait de l'altitude et des formes du relief. C'est le cas de la fonte des glaciers, de la dégradation du permafrost et de la hausse, en fréquence et en intensité, des risques associés au relief (crues, laves torrentielles, chutes de blocs et avalanches). D'après plusieurs modèles européens, la partie occidentale des Alpes ferait face à des augmentations de températures qui seraient maximales, de l'ordre de 4,5 °C d'ici 2100 (ONERC, 2008). Pour mieux comprendre les effets liés à la hausse des températures, de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques associés (sécheresse, vague de chaleur, etc.), des suivis de terrain et des approches expérimentales sont déployés pour anticiper la réponse des éléments biotiques, à l'échelle de l'espèce comme à celle de l'habitat. Une étude des changements saisonniers et des déplacements en altitude de plus de 2000 espèces des Alpes démontre que la vitesse des déplacements en altitude figure souvent en deçà de la vitesse actuelle de hausse des températures (Vitasse *et al.*, 2021). Les pelouses des alpages font l'objet d'expérimentations, à l'image de celles de réchauffement artificiel menées dans les Montagnes Rocheuses (États-Unis) sur 4 ans qui attestent de la grande résilience des milieux. C'est aussi le cas en France avec l'opération « Alpages volants » (laboratoires EDYTEM, CARRTEL, LECA et LESSEM) menée au Jardin du Lautaret depuis 2016 et qui consiste à déplacer des blocs de pelouses alpines plus bas en altitude, simulant un réchauffement de + 3 °C (Crouzat *et al.*, 2021 ; USMB, 2021). La limite des deux expérimentations citées réside dans la sous-estimation des capacités d'adaptation des communautés végétales, soumises en réalité à des changements de températures et de régimes de précipitations bien plus progressifs (Alpages Sentinelles, 2017).

Les Pré-Alpes du Nord : contraintes climatiques et moyens d'adaptation

Il convient de changer d'échelle afin d'aborder plus précisément le changement climatique dans les Pré-Alpes du Nord, dans lesquelles s'insèrent les Hauts de Chartreuse. Le diagnostic des variations climatiques contemporaines (1959-2009) à l'échelle des Pré-Alpes du Nord (Vercors et Chartreuse) produit par Bigot et Rome (2010) atteste d'un réchauffement estival et hivernal après 1988. L'accentuation des extrêmes thermiques, en fréquence et en intensité, est également mise en avant par certains modèles (Rome *et al.*, 2013). Des contraintes climatiques vont s'exercer sur l'ensemble des écosystèmes et les activités socio-économiques structurantes pour les territoires des Pré-Alpes du Nord, telles que l'agriculture et le tourisme.

De nombreuses incertitudes subsistent en lien avec l'adaptation des écosystèmes au changement climatique. Pour autant, certains constats éclairent sur les grandes trajectoires d'évolution en cours concernant la flore, la faune et les sols. Deux hypothèses dressent les différentes trajectoires écosystémiques des essences forestières en montagne, qui conditionnent les habitats d'espèces (Lenoir, 2009). La première est celle d'une remontée totale de la distribution des espèces végétales forestières en altitude. Basée sur le postulat d'un équilibre évolutif des écosystèmes, cette modification de la distribution altitudinale aurait pour corollaire la conservation d'une niche climatique adaptée aux besoins écologiques des espèces. La seconde hypothèse met en avant une remontée partielle associée à des déséquilibres et des processus adaptatifs d'espèces, à l'image du développement de communautés thermophiles. Au-delà du rehaussement de la végétation, les écosystèmes forestiers de montagne font face à des événements extrêmes qui conduisent à des fragilités sanitaires (attaques de parasites) et mécaniques (chablis et bris de cimes causés par des conditions plus tempétueuses). Les principaux facteurs climatiques qui affectent la santé des forêts est l'élévation des températures et la stagnation des précipitations, qui provoque un allongement de la saison de végétation, une accentuation du risque de sécheresse et une augmentation de l'évapotranspiration potentielle (Labonne *et al.*, 2019). La sécheresse compromet la régénération naturelle et favorise la mortalité de certaines essences d'arbres jusqu'à environ 1200 m, tel est le cas de l'épicéa (*Picea abies*) et du sapin pectiné (*Abies alba*) en Chartreuse, dont les tâches de dépérissements sont observées sur certains versants boisés (figure 11). Le lien est fait entre la sensibilité au stress hydrique de l'essence et la baisse de ses capacités de défense qui en résulte, facilitant le parasitisme.



Figure 11: Dépérissement d'arbres vers les rochers du Mollard (hors Réserve) entre 1000 et 1200 m d'altitude. Août 2024.

La variabilité des réponses des écosystèmes peut aussi être lue à l'échelle de l'espèce végétale, à travers les trois trajectoires d'évolution possibles des plantes de montagne face au changement climatique : la persistance, la migration et l'extinction (Theurillat et Guisan, 2001). La faune de montagne est touchée directement et indirectement par le changement climatique, comme l'atteste la diminution de l'abondance et la disparition des espèces arctico-alpines dans les Pré-Alpes, en partie liées à la hausse des températures. Largement traité dans les Alpes du Nord, dont sur les Hauts de Chartreuse, l'exemple du bouquetin des Alpes (*Capra Ibex*) permet de mettre en relief des impacts variés du changement climatique, qui affecte la santé, le comportement et la reproduction de l'espèce (figure 12). Parmi les effets directs, la hausse des températures augmente les dépenses énergétiques des bouquetins : thermorégulation, adaptations comportementales telles que la recherche de zones fraîches au détriment du temps alloué à la recherche de nourriture (Aublet *et al.*, 2009). Des impacts indirects du changement climatique sur les bouquetins sont relevés, à l'image de la hausse des températures qui affecte la qualité de la nourriture (au printemps) et sa quantité (en été) (Toïgo *et al.*, 2016). Le déneigement précoce expose les bouquetins, susceptibles d'être davantage au contact d'autres ongulés et des troupeaux domestiques. Le risque de brucellose et de brassage génétique affecterait la survie même de l'espèce (De Danieli et Sarasa, 2015).

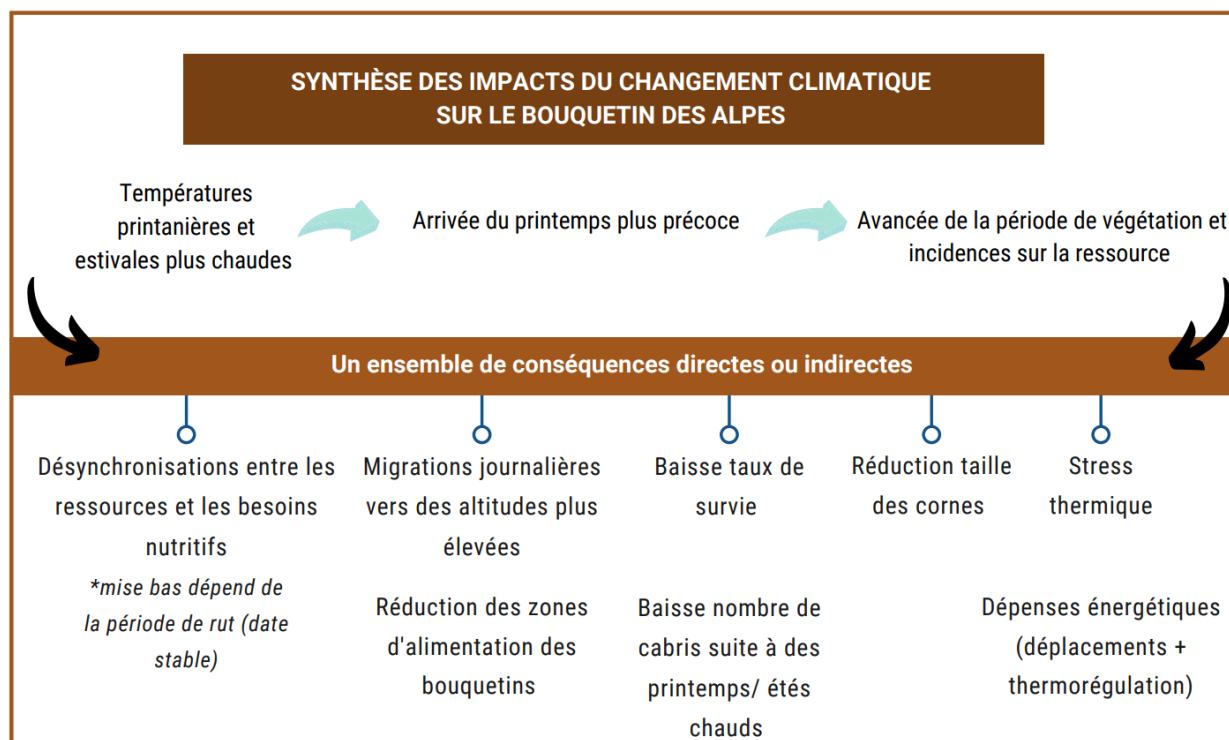


Figure 12: Synthèse des impacts du changement climatique sur le bouquetin des Alpes. Source : Parc national de la Vanoise, 2021.

Les réponses locales des écosystèmes et de leurs composantes biotiques et abiotiques aboutissent à des vulnérabilités écologiques, sociales et économiques interreliées et complexes à saisir. Par

exemple, les effets du changement climatique sur la végétation herbacée ont des impacts sur le pastoralisme, largement présent sur les Hauts de Chartreuse.

Dû aux changements de régimes ombrothermiques et à la diminution de l'enneigement, l'allongement de la période végétative induit une mobilisation anticipée et prolongée des réserves hydriques (ANEM, 2007). Ces paramètres climatiques changeants modifient également l'organisation de l'activité pastorale (calendrier de gestation, travail d'astreinte) et la hausse des températures cause de réels risques pour les bêtes, en particulier les vaches laitières, et sur la qualité de l'enherbement prairial (Bigot et Rome, 2010 ; Collier *et al.* 2018). Les effets du changement climatique sur l'élevage à l'herbe inscrit dans le contexte des massifs karstiques tels que celui de la Chartreuse renvoient à la question de l'eau, de sa disponibilité, des choix de gestion et des aménagements associés. Ce contexte conduit les acteurs à s'interroger sur certains choix de pratiques qui relèvent de savoir-faire traditionnels ou conventionnels. Face à ces enjeux, les solutions envisagées telles que la mise en place d'aménagements adaptatifs (poches à eau, retenues d'eau, nouveaux captages) posent la question de la pérennité du système pastoral en place et, plus largement, du partage de la ressource en eau avec les autres usages, écosystémiques et socio-économiques.

Conséquemment à ces constats sur les socio-écosystèmes montagnards, les questions de l'anticipation des conséquences du changement climatique et de l'adaptation se posent à de nombreuses échelles. Des recherches et des programmes d'actions sont entièrement dédiés à cet enjeu d'identifier les vulnérabilités et à l'adaptation des territoires de montagne, y compris dans les Pré-Alpes du Nord. Par exemple, en France, les efforts de recherche pour l'adaptation des territoires de montagne sont portés par les réseaux « Alpes Sentinelles » (INRAe) et « Lacs Sentinelles » (ASTERS-CEN74, OFB) pour suivre les réponses des lacs d'altitude et des alpages face au changement climatique. Le programme Avenir Montagnes Ingénierie (ANCT) est destiné à soutenir et accompagner la transition du tourisme et des mobilités dans des territoires de montagne. Les enjeux connus et les incertitudes liés au changement climatique intègrent progressivement les documents de planification, d'urbanisme et de gestion d'aire protégée (SRADDET, SCOT, PLUi, PCAET, Charte de PNR et de PN et Charte forestière). Cette inclusion des enjeux liés au changement climatique nécessite le plus souvent la réalisation au préalable d'un diagnostic de vulnérabilité (Parrod *et al.*, 2020), qui centralise des connaissances, souligne les incertitudes et permet d'initier des pistes d'adaptation à mettre en œuvre concrètement. La réalisation d'un diagnostic de vulnérabilité constitue l'une des étapes de la démarche LIFE Natur'Adapt, dédiée aux aires protégées souhaitant amorcer une démarche d'adaptation.

2.2. La démarche LIFE Natur'Adapt pour répondre au défi de l'adaptation des aires protégées

2.2.1. Historique de la démarche, étapes et cadre conceptuel

Coordonné par Réserves Naturelles de France (RNF), le projet LIFE Natur'Adapt (LNA) s'est déroulé sur 5 ans (2018-2023) et vise à produire des outils et des méthodes opérationnels à destination des gestionnaires d'espaces naturels protégés (figure 13).

LE PROJET LIFE NATUR'ADAPT EN RÉSUMÉ

L'OBJECTIF À 10 ANS

« 80% des gestionnaires de réserves naturelles ont adopté des modalités de gestion, planification et gouvernance adaptatives dans un contexte de changement climatique, et les autres principaux espaces naturels protégés s'engagent dans cette voie. »

LE BUDGET



LES PARTENAIRES TECHNIQUES

- Réserves Naturelles de France
- EUROPARC Federation
- Muséum national d'Histoire naturelle
- Tela Botanica
- LPO
- Asters - Conservatoire des espaces naturels de Haute-Savoie
- Fédération des réserves naturelles catalanes
- Syndicat mixte du Parc naturel régional du Morvan
- Syndicat mixte du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne
- Association Petite Camargue Alsacienne

LES ÉTAPES DU PROJET LIFE NATUR'ADAPT

2018 - 2019	2020	2021	2022 - 2023
CO-CONCEPTION	EXPÉRIMENTATION	TEST	DÉPLOIEMENT
de prototypes d'outils et de méthodes	des outils sur 6 réserves naturelles	des outils sur 15 espaces protégés	des résultats aux échelles nationales et européennes

Figure 13: Le projet LIFE Natur'Adapt : objectif, budget, partenaires et étapes (d'après Natur'Adapt, 2023).

La démarche qui découle du projet LNA se scinde en quatre grandes étapes complémentaires décrites au sein d'un guide méthodologique (Coudurier *et al.*, 2023) :

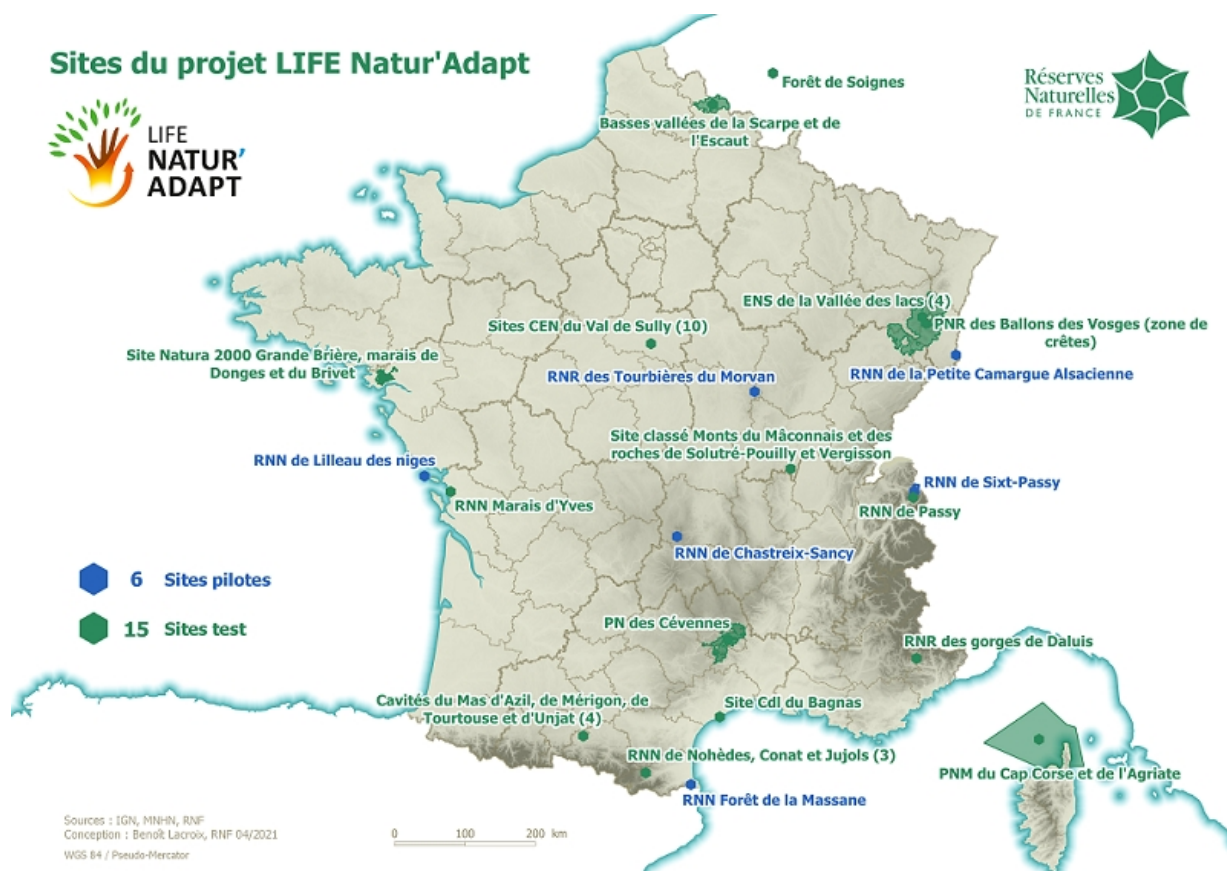
- L'immersion et le cadrage permettent de comprendre le changement climatique global, de saisir les caractéristiques de l'aire protégée et de cadrer la démarche en plus de la planifier.
- L'analyse prospective comprend la caractérisation du climat passé et futur et l'analyse des effets directs et indirects du changement climatique sur l'aire protégée. Cette étape aboutit à la réalisation d'un récit climatique et d'un DVO.

- L'adaptation de la gestion se base sur le DVO et consiste à définir une stratégie et des actions d'adaptation appliquées au contexte de l'aire protégée. Le plan d'adaptation qui résulte de cette étape alimentera le prochain document de gestion de l'aire protégée.
- Enfin, l'étape de bilan et de capitalisation permet de partager la démarche auprès de l'équipe de l'aire protégée et des acteurs locaux.

Indépendamment de l'ordre de ces étapes, un aspect fondamental de la démarche est sa dimension itérative, en lien avec l'approche systémique qu'induit le fait de réfléchir sur le changement climatique et ses effets sur un territoire. La démarche n'est pas une étude scientifique, mais un cheminement, un processus de réflexion. Elle est un moyen de saisir des tendances et d'appréhender des incertitudes liées au changement climatique dans un contexte territorial précis. Il ne s'agit donc pas d'un travail figé et exhaustif (Dané, 2021).

2.2.2. Retours d'expériences des sites tests : quels apports et limites à la démarche ?

En 2020, les outils de la démarche LNA ont été expérimentés sur 6 sites pilotes représentatifs d'une diversité de contextes territoriaux : littoral (RNN de Lilleau des Niges), moyenne (RNN des Tourbières du Morvan, RNN de Chastreix-Sancy) et haute montagne (RNN de Sixt-Passy). En 2021, 15 sites ont pu tester les outils de la démarche (figure 14).



Suite à ces expérimentations, les retours d'expérience des gestionnaires d'aires protégées ont alimenté le guide méthodologique de la démarche Natur'Adapt, publié en 2023. D'après les retours mentionnés dans les premiers DVO produits, la démarche a permis une appropriation des enjeux locaux du changement climatique, de partager les informations recueillies via les dires d'experts et les témoignages d'acteurs locaux avec le territoire et, plus généralement, de monter en compétence sur la question du changement climatique (Dané, 2021 ; Lochon, 2021). La réalisation de plans d'adaptation invite les gestionnaires à se questionner sur les stratégies de protection, à formuler des invitations à agir à destination des acteurs et à modifier certaines pratiques. Le contenu des plans de gestion produits après la démarche est alimenté par les connaissances rassemblées dans les DVO, à l'image du plan de gestion de la RNR du Massif de Montious (Séauve, 2023). Les documents de gestion intègrent alors une focale « changement climatique » à la présentation des aspects naturels et socio-économiques du territoire concerné et aux mesures de gestion. Les dynamiques d'adaptation lancées s'appuient donc sur un positionnement de l'aire protégée dans un ou plusieurs paradigmes de gestion. Les porteurs du projet LNA ont dû se saisir de la littérature scientifique en vue d'aiguiller les gestionnaires d'aires protégées et de recommander certaines mesures de gestion. Cet aiguillage porte notamment sur la biodiversité, qui constitue une des principales préoccupations des aires protégées.

2.3. Quelles stratégies de gestion pour l'adaptation de la biodiversité ?

La gestion de la biodiversité en lien avec l'adaptation au changement climatique renvoie à différents paradigmes qui se déclinent au travers de mesures d'adaptation. Sur la base de nombreux articles sur le sujet, Heller et Zavaleta (2009) et Prober *et al.* (2019) dressent un état des lieux et une typologie des mesures d'adaptation destinées à limiter les impacts du changement climatique ou à améliorer la capacité d'adaptation de la biodiversité. D'après Heller et Zavaleta (2009), ces mesures peuvent être « proactives » et renvoient à une intervention anthropique forte. Les auteurs identifient également des mesures « sans regret », soit principalement des pratiques visant à renforcer la connectivité écologique et paysagère. Les deux types de mesures d'adaptation manquent de retours d'expérience, les idées d'intervention n'étant pas majoritairement issues de données empiriques, mais de la théorie (Prober *et al.*, 2019). Néanmoins, les mesures « proactives » figurent plus risquées que les mesures « sans regret », qui sont préférées des gestionnaires d'aires protégées. Mettant en avant des pratiques telles que la translocation sous formes de migrations assistées et d'introductions d'espèces allochtones, les approches d'ingénierie comportent la notion de « pari » sur l'avenir et viendraient à accroître l'emprise anthropique sur le vivant.

Dans tous les cas, le choix d'une gestion active de la biodiversité transparaît dans ces deux principaux types de mesures d'adaptation mentionnés dans la littérature et relayés par le projet LNA (Langridge, Sordello et Reyjol, 2020). Pour le cas des espaces protégés au sens réglementaire, cette gestion conservatoire est progressivement questionnée par les écologues qui prônent la non-

intervention, en particulier dans les contextes montagnards (Schnitzler *et al.*, 2008). Face au changement climatique, le choix et le maintien de la non-intervention sont avancés par les réserves naturelles de moyenne et haute montagne ayant réalisé la démarche Natur'Adapt (Lochon, 2021 ; Dané, 2021). Le débat sur l'intégration d'une gestion dans la protection des espaces naturels tient racine d'une fracture idéologique entre les défenseurs des milieux ouverts entretenus et ceux des milieux en libre évolution. Au-delà d'un simple choix de gestion, la non-intervention traduit un positionnement éthique et philosophique fondé sur l'intégrité écologique des écosystèmes (UICN, 2024) et le concept de naturalité, soit un état de nature spontanée qui intègre des héritages anthropiques (Lecomte, 1999 ; Schnitzler *et al.*, 2008). Sur les Hauts de Chartreuse, cette orientation de gestion est promue par la RNNHC et concerne les RBI de Malissard (84 ha en RBI et 3 ha en RBD) et de l'Aulp du Seuil (165 ha). Sans cadre réglementaire, d'autres portions du site de la RNNHC sont laissées en libre évolution. C'est le cas des forêts subalpines situées dans le pli du synclinal, plus exploitées depuis les années 1950 et des alpages abandonnés de la Dent de Crolles, depuis 2007, et du Mont Granier, depuis les années 1980.

Le spectre des formes de gestion en lien avec l'adaptation de la biodiversité apparaît large. Le positionnement de l'aire protégée à ce sujet relève alors d'un jeu d'équilibriste, devant intégrer l'avis des parties prenantes, notamment des propriétaires, l'expertise des agents et maintenir une cohérence de choix de gestion. Cette citation de Schnitzler, Génot et Wintz (2008, p. 41) permet de saisir cette complexité dans les choix de gestion et la prise de décision au sein d'une aire protégée : « Tel un télescope à vaste foyer, le concept de naturalité s'intègre dans une large vue d'ensemble, évitant les jugements arbitraires, une subjectivité excessive, et laissant place à l'imprévu et la spontanéité. Toutefois, entre la gestion conservatoire ou la biodiversité dirigée et la non-intervention ou la naturalité, entre ces deux extrêmes le champ de la discussion et de la coopération reste largement ouvert. ».

Problématique

La montée en compétence de la RNNHC sur la question climatique se fait à travers le lancement de la démarche LNA, qui induit une réflexion sur la stratégie de gestion de la biodiversité et implique la connaissance des impacts constatés et probables du changement climatique dans les Pré-Alpes du Nord. Afin de mieux cerner le contexte climatique et de comprendre ses effets à l'échelle locale, il s'agit d'essayer de saisir des éléments de connaissance afin de qualifier les vulnérabilités et les opportunités des composantes du socio-écosystème. Cette mission se traduit par un travail de choix méthodologiques, de veille bibliographique et de mobilisation des acteurs locaux. Le stage se concentre alors sur les premiers échelons d'une démarche d'adaptation et fait émerger la problématique suivante :

Face au changement climatique, quelles sont les vulnérabilités et les opportunités des composantes socio-écosystémiques de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse ?

3. Produire le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité : un cadre méthodologique à adapter au territoire d'étude

Dans cette partie seront présentées les grandes étapes de la mission du stage. Il s'agira également d'exposer et de justifier les principaux choix méthodologiques dans le cadre de la réalisation du récit climatique et de l'analyse de vulnérabilité et d'opportunité.

3.1. Découpage chronologique et principales missions

La mission de réalisation du DVO comprend cinq grandes étapes étalées sur 5 mois et demi de stage (tableau 1). Ce dernier s'est déroulé du 18 mars au 30 août 2024 dans les locaux du Parc naturel régional de Chartreuse, situés à Saint-Pierre-de-Chartreuse (Isère).

La phase de cadrage intègre une veille bibliographique sur les caractéristiques de l'aire protégée et sur les effets observés du changement climatique à l'échelle de la chaîne des Alpes. Il est aussi question de poser un cadre à la démarche : définir les objets d'étude et justifier les modalités d'analyse, soumettre la méthodologie à la validation de l'équipe et intégrer les possibles ajustements proposés. Cette phase occupe les deux premières semaines du stage et précède l'analyse prospective.

La méthodologie Natur'Adapt propose deux niveaux d'analyse dans le cadre de l'analyse prospective : simple (analyse d'effets potentiels) et détaillé (analyse de vulnérabilité et d'opportunité). Le choix se porte sur le niveau d'analyse détaillée, qui implique d'étudier finement l'évolution du climat local et d'identifier les vulnérabilités et les opportunités des objets d'analyse face au changement climatique. Cette analyse détaillée s'appuie sur le cadre conceptuel Natur'Adapt, caractérisé par la mise en lien de notions (sensibilité, exposition, capacité d'adaptation) qu'il conviendra de définir. La réalisation du récit climatique dure près d'un mois et constitue la base de l'analyse prospective. Cette étape de la démarche comprend la collecte et l'analyse de données climatiques ainsi que la rédaction de la synthèse du récit climatique. L'objectif est de saisir les grandes tendances du climat à l'échelle locale.

À partir de ces premières étapes qui visent à cerner les caractéristiques de l'aire protégée et à appréhender les évolutions récentes et les projections futures du climat, il est question de procéder à l'analyse d'objets d'analyse représentatifs du territoire et importants dans les objectifs de gestion de la RNNHC. Il s'agit là d'essayer de saisir les réponses des éléments du socio-écosystème face aux grandes tendances climatiques à la lumière des connaissances actuelles. Chronophage, cette phase de l'étude consiste en la réalisation d'entretiens et la diffusion de questionnaires auprès des acteurs du territoire, au traitement des résultats et à la construction

d'un récit prospectif mettant en avant les principaux enjeux à retenir pour se projeter sur le devenir de l'aire protégée.

La rédaction du livrable pour la structure d'accueil, le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité, et du mémoire de stage de master 2 constituent les deux dernières étapes, étalées tout au long des deux derniers mois de la période du stage.

Mois	Mars		Avril				Mai					Juin				Juillet				Août				
Semaines	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	33	34
Phase de cadrage																								
Cadrage de l'étude : théorie, bibliographie de terrain, choix des objets d'analyse																								
Présentation de la démarche à l'équipe : validation et ajustements																								
Récit climatique de l'aire protégée : analyse du climat passé, présent et futur																								
Collecte de données climatiques																								
Analyse des données et synthèse																								
Analyse des objets d'étude représentatifs de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse																								
Rédaction de la description des objets																								
Préparation des questionnaires : conception, contacts.																								
Traitement des résultats des questionnaires																								
Entretiens semi-directifs																								
Réalisation des fiches d'analyse d'objets																								
Rédaction du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité																								
Contexte et cadre théorique																								
Récit climatique																								
Analyse des objets																								
Récit prospectif																								
Rédaction du mémoire de stage																								
Problématisation et plan																								
État de l'art et méthodologie																								
Résultats et discussion																								
Préparation de la soutenance																								

Tableau 1: Chronogramme du stage sur une période de cinq mois et demi.

3.2. Dresser un récit climatique : méthodologie, sources et services climatiques

3.2.1. Étudier le climat passé et présent

L'étude des évolutions récentes du climat se base sur les données mesurées des stations de la Grande Chartreuse (Météo-France, 954 m) et du col de Porte (CNRM, 1325 m) et porte sur trois paramètres climatiques : la température, les précipitations et l'enneigement. Certains paramètres (vent) et phénomènes (tempêtes) climatiques ne sont pas analysés du fait de l'absence de changements significatifs (fréquence, intensité) que l'on peut associer au changement climatique, d'après Climat HD (Météo-France). Des tendances sont qualifiées à partir de la lecture de ces données qui exposent les trajectoires des paramètres climatiques : diminution, augmentation, dynamique de la variabilité interannuelle, stagnation relative, etc. À la lumière de cette étude de données mesurées, il s'agit de dresser un constat sur l'évolution des conditions climatiques sur un pas de temps d'au moins trente années. Ce constat sera alimenté par la lecture de la littérature de terrain, produite par le CNRM, Dumas (2011), l'ORCAE et l'OBS'y (2019). Cette étude du climat passé précède celle du climat futur. Le but est de comparer les trajectoires climatiques projetées à celles observées depuis la seconde moitié du XXe siècle.

3.2.2. Étudier le climat futur

Les données de projections climatiques sont extraites de graphiques proposés par DRIAS, *les futurs du climat*, et sont visualisées à l'échelle du massif de la Chartreuse, à 1500 m d'altitude. Entre les étages montagnard et subalpin, cette altitude semble la plus représentative de la RNNHC. Le RCP (Radiative Concentration Pathway) est un paramètre d'entrée des modèles du climat. Il s'agit de scénarios d'émissions dont les valeurs sont associées à des politiques d'adaptation et d'atténuation du changement climatique (Coudurier *et al.*, 2023). Le choix se porte sur le RCP4.5 : scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO₂ (émissions modérées) et le RCP8.5 : scénario sans politique climatique (émissions non réduites). Supposés comme plus probables, ces deux scénarios semblent les plus appropriés pour dresser un récit climatique (Dané, 2021 ; Lochon, 2021 ; Héas, 2021). Les projections sont étudiées à travers les trois horizons temporels proposés par la plateforme DRIAS.

- Horizon proche (2021-2050), centré sur 2035.
- Horizon moyen (2041-2070), centré sur 2055.
- Horizon lointain (2071-2100), centré sur 2085.

Le choix d'horizons plutôt que de dates précises apparaît plus pertinent compte tenu de la notion d'incertitude, qui englobe celles liées à la variabilité naturelle du climat, aux modèles climatiques eux-mêmes et aux scénarios politiques et socio-économiques (Coudurier *et al.*, 2023). Les projections climatiques sont visualisées à travers deux modèles et un produit multi-modèles et sont comparées aux normales climatiques (1976-2005) proposées par le modèle respectif. Le choix

des modèles suit l'exemple exposé dans le guide méthodologique de la démarche Natur'Adapt (Coudurier *et al.*, 2023), qui renvoie à la nécessité de comparer les modèles pessimistes et optimistes entre eux. Le choix s'est donc porté sur les modèles suivants :

- CNRM-CM5 / ALADIN53, jugé pessimiste, développé par le Centre National de Recherches Météorologiques.
- IPSL-CM5A / WRF331F, jugé optimiste, développé par l'Institut Pierre-Simon Laplace.
- Produit multi-modèles qui propose une médiane d'un ensemble de modèles, dont les deux précédemment cités.

Les modèles choisis sont corrigés avec la méthode ADAMONT (2017), qui permet une approche intégrée du changement climatique dans les territoires de montagne, avec la possibilité de visualiser des projections par massif et par tranche altitudinale. Ce choix facilitera une étude altitudinale des changements climatiques à travers trois grands paramètres : la température atmosphérique, les précipitations et l'enneigement. Pour chacun de ces paramètres, la figure 15 restitue les périodes couvertes par les données climatiques mesurées et modélisées utilisées dans le cadre du récit climatique.

Sur la base du récit climatique obtenu par le biais de cette méthodologie, il sera question de qualifier la vulnérabilité d'une sélection d'éléments naturels, socio-économiques et d'outils et de moyens de gestion de la RNNHC.

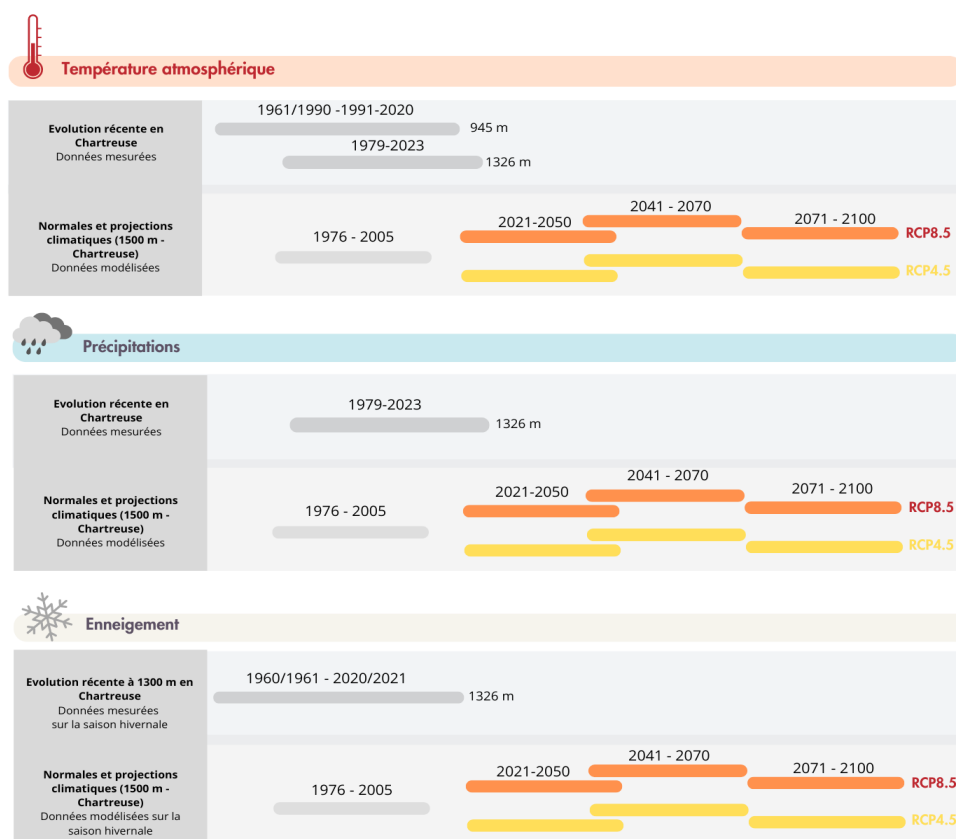


Figure 15: Périodes couvertes par les données climatiques mesurées et modélisées sur les températures, les précipitations et l'enneigement.

3.3. Définition et méthode d'analyse des objets représentatifs de la Réserve

3.3.1. L'approche par objet pour analyser la vulnérabilité

Le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité se base sur une analyse d'objets représentatifs de l'aire protégée, importants dans les objectifs de gestion et relatifs aux activités humaines, au patrimoine naturel et aux outils et moyens de gestion. L'analyse ne porte donc pas sur des éléments a priori vulnérables au changement climatique (Coudurier *et al.*, 2023). La nature des objets et les échelles associées doivent refléter le socio-écosystème des Hauts de Chartreuse et son fonctionnement complexe : dimension évolutive, actions et rétroactions entre les composantes sociales et écologiques, l'altitude, le climat, la topographie et l'exposition comme facteurs de facilitation et de limitation (figure 16).

Ochando, 2024.

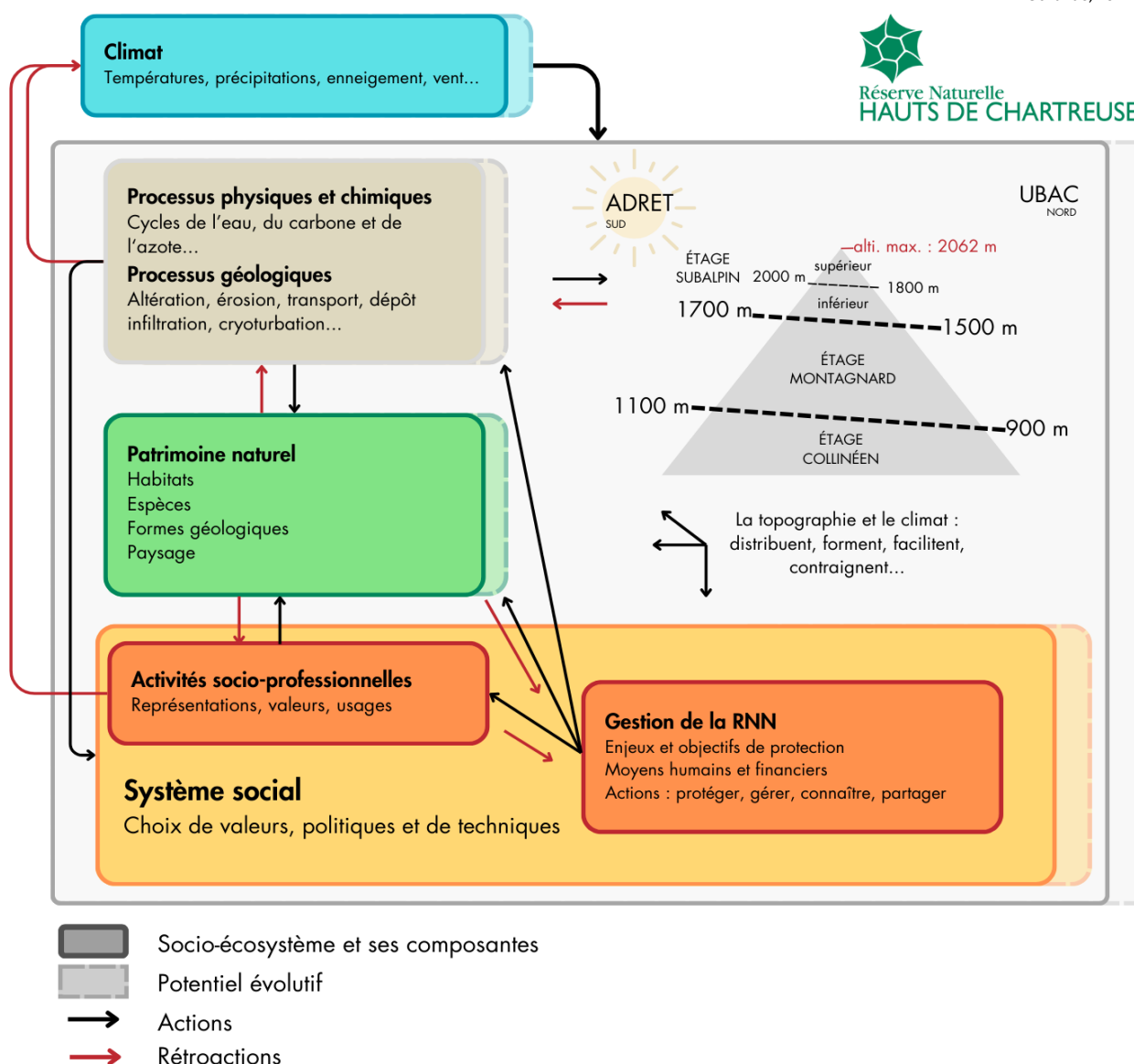


Figure 16: Schéma du socio-écosystème de la RNNHC. (D'après Dané, 2021 ; Teyssèdre, 2010).

Avant de préciser les modalités de sélection et la définition des objets étudiés, il est question de mettre en avant les spécificités du cadre conceptuel Natur'Adapt qui oriente le DVO dans son ensemble.

3.3.2. Le cadre conceptuel Natur'Adapt

La vulnérabilité et l'opportunité peuvent être définies via le croisement des trois notions définies ci-dessous (Coudurier *et al.*, 2023) : la capacité d'adaptation, l'exposition et la sensibilité. L'ensemble de ce cadre d'analyse s'applique aux objets d'analyse et oriente les questionnements formulés auprès des acteurs sollicités.

Vulnérabilité

« Propension d'un socio-système ou écosystème à subir des dommages, en fonction de son exposition, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation globale aux variations climatiques (et leurs conséquences physiques). »

Opportunité

« Élément au travers duquel un socio-système ou écosystème va répondre positivement au changement climatique. »

Sensibilité

« Propension d'un socio-système ou d'un écosystème à être affecté (favorablement ou défavorablement) par des variations climatiques (et leurs conséquences physiques). »

Capacité d'adaptation

« Qualité(s) qui permet(tent) à un socio-système ou écosystème de réduire les effets négatifs et/ou de tirer parti des effets positifs du changement climatique. »

Exposition

« Nature, degré et fréquence des variations climatiques (et leurs conséquences physiques) susceptibles d'être subies par les systèmes humains ou naturels. »

3.3.3. Sélection des objets et formes de recueil d'informations

La sélection des objets d'analyse se base sur un ensemble de critères méthodologiques, systémiques, de distribution spatiale, de choix pragmatiques et opérationnels, et liés aux enjeux de patrimonialité et de fonctionnalité écologique. Il est question de s'inspirer des modalités retenues pour les choix d'objets dans le cadre des démarches LNA menées dans des territoires de montagne (Héas, 2021 ; Lochon, 2021 ; Dané, 2021). Une réunion d'équipe réalisée lors de la phase de cadrage de la démarche a permis de fixer une liste non exhaustive des objets représentatifs du contexte de la réserve et importants dans les objectifs de protection. Cette liste intègre des activités socio-économiques (4), des composantes du patrimoine naturel (13) et certains outils et moyens de gestion de la RNNHC (4)¹.

Activités socio-économiques²

Élevage à l'herbe, Gestion forestière, Activités de plein air, Alimentation en eau potable.

Patrimoine naturel³

Hêtraie-sapinière, Pessière, Pinède de pins à crochets, Pelouse calcicole, Pelouse acidiphile des pâturages, Patrimoine géologique et géomorphologique, Glacière souterraine, Bas marais alcalin, Espèces arctico-alpines, Aigle royal, Chevêchette d'Europe, Bouquetin des Alpes, Diptère syrphidé.

Outils et moyens de gestion⁴

Surveillance, Suivis scientifiques, Pédagogie, Non-intervention.

Les formes de recueil d'informations utilisées dans le cadre de la réalisation du DVO allient mobilisation des acteurs locaux (tableau 2) et veille documentaire :

- Un premier questionnaire internet à destination des acteurs du tourisme qui exercent leurs activités professionnelles ou bénévoles sur le territoire de la RNNHC.⁵
- Un second questionnaire internet à destination des experts scientifiques et techniques locaux. Pour réaliser les deux questionnaires, il a été question de reprendre certains choix méthodologiques portés dans la démarche Natur'Adapt de la RNN de Chastreix-Sancy (Lochon, 2021) et de les moduler selon le contexte des Hauts de Chartreuse.⁶

1 Annexe 1. Liste des objets Natur'Adapt – Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

2 Annexe 2. Représentation cartographique des activités humaines sélectionnées pour le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

3 Annexe 3. Représentation cartographique des éléments du patrimoine naturel sélectionnés pour le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

4 Annexe 4. Représentation cartographique des outils et moyens de gestion sélectionnés pour le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

5 Annexe 5. Questionnaire 1 : « Changement climatique et activités touristiques dans les Hauts de Chartreuse ».

6 Annexe 6. Questionnaire 2 : « Changement climatique dans les Hauts de Chartreuse ». (Lochon, 2021).

- Des entretiens individuels sur les divers objets traités pour compléter les réponses aux questionnaires ou obtenir des renseignements précis.⁷
- Une recherche bibliographique, alimentée en partie par les recommandations de l'équipe de la RNNHC au fil du stage et celles formulées par les répondants au second questionnaire.

Objets traités	Entretiens	Questionnaire Tourisme	Questionnaire Experts scientifiques et techniques	Total
Activités socio-économiques				
Élevage à l'herbe	2		3	5
Gestion forestière	4		2	6
Activités touristiques et sportives		17		17
Ressource en eau potable			3	3
Patrimoine naturel				
Hêtraie-sapinière			1	1
Pessière			1	1
Pinède de pins à crochets			1	1
Pelouse calcicole et pelouse de fixation d'éboulis			1	1
Pelouse acidiphile des pâturages			1	1
Patrimoine géologique et géomorphologique			2	2
Glacière souterraine			1	1
Bas marais alcalin			2	2
Espèces arctico-alpines			3	3
Aigle royal (<i>Aquila chrysaetos</i>)				
Chevêchette d'Europe (<i>Glaucidium passerinum</i>)				
Bouquetin des Alpes (<i>Capra ibex</i>)	1		1	2
Diptère syrphidé (<i>Diptera : Syrphidae</i>)				
Outils et moyens de gestion				
Surveillance				
Suivis scientifiques			6	6
Pédagogie	1			1
Non-intervention	1			1

Tableau 2: Objets abordés et nombre de réponses apportées par les différentes formes de recueil d'informations.

⁷ Annexe 9. Grilles d'entretiens semi-directifs.

Une fois les informations recueillies via la bibliographie et la mobilisation des acteurs techniques, scientifiques et du tourisme, les appréciations de vulnérabilité et d'opportunité sont fixées sur la base du croisement de la sensibilité et de la capacité d'adaptation (figure 17).

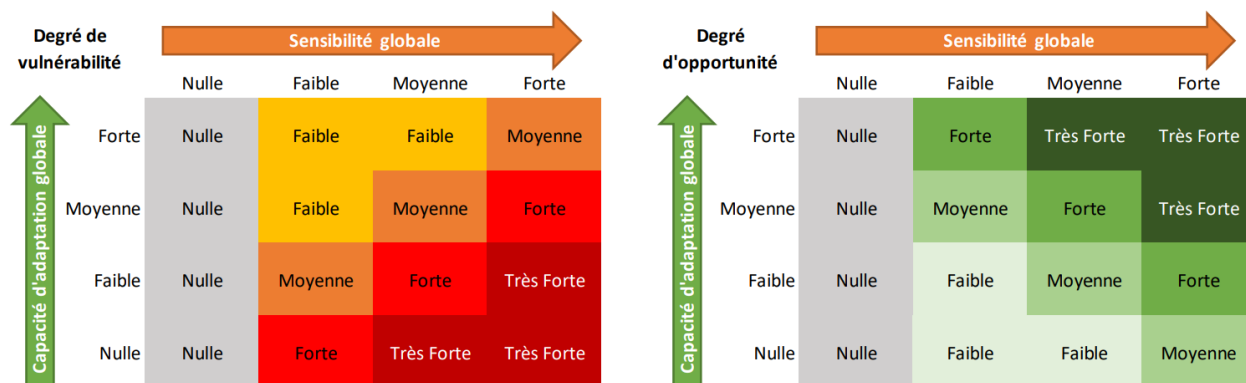


Figure 17: Matrice de vulnérabilité et d'opportunité. Source : LIFE Natur'Adapt.

Au-delà de la collecte de connaissances, il a été question tout au long de la démarche de cerner les incertitudes et de qualifier l'état d'avancement des connaissances sur les sujets traités. Pour cela, le questionnaire 2 destiné aux experts scientifiques et techniques propose aux répondants de renseigner un degré de confiance (de 0 à 5) sur la connaissance de la sensibilité et de la capacité d'adaptation d'un objet. Sur la base de ces appréciations et des connaissances rassemblées, une fiche d'analyse est produite pour chaque objet⁸. La structure de cette fiche d'analyse (tableau 3) reprend celle proposée par Lochon (2021) dans le DVO de la RNN de Chastreix-Sancy.

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Description de "l'objet" et de ses caractéristiques sur la Réserve des Hauts de Chartreuse	Paramètres climatiques principaux et évolutions à lister (se référer au récit climatique)				Comment l'objet est-il capable de s'adapter aux évolutions climatiques ?			
	Comment l'objet peut-il être impacté par les évolutions des paramètres climatiques et à quel point (appréciation) ?				Pressions/Facilitations Quels sont les facteurs extérieurs propres au site qui vont faciliter ou limiter l'adaptation de l'objet ? - Pression - Facilitation - Élément nuancé			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Conclusion : Sensibilité x Capacité d'adaptation					Quelle est l'évolution possible de l'objet en tenant compte des évolutions climatiques et des facteurs non climatique ?			
L'objet est-il affecté par les changements climatiques : est-il vulnérable ou le contexte représente-t-il une opportunité et à quel point ?					Des premières pistes d'actions : peut-on réduire la vulnérabilité, profiter de l'opportunité ? Et souhait de la réserve ?			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte				
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte				

Tableau 3: Fiche d'analyse Natur'Adapt (Lochon, 2021).

⁸ Annexe 11. Fiches d'analyse des objets Natur'Adapt – Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

4. Les effets du changement climatique sur le socio-écosystème des Hauts de Chartreuse

La mise en avant des résultats du DVO fera l'objet de cette partie. Cela passera par une présentation synthétique du récit climatique, de l'analyse de vulnérabilité et d'opportunité et d'une réflexion sur la place de la RNNHC face aux conséquences et aux incertitudes liées au changement climatique. Alimenté en partie par les acteurs du site, ce rassemblement de savoirs et de connaissances sera partagé dans le cadre d'un contrat court à la suite du stage, et devra alimenter les mesures et les outils de gestion de la RNNHC.

4.1. Les évolutions contemporaines du climat et les projections à proche, moyen et long terme

Le récit climatique traite les évolutions récentes et projetées du climat, paramètre par paramètre et à différentes échelles, régionale et locale (figure 18). Basées sur des données modélisées à court moyen et long terme, les projections climatiques font l'objet d'une comparaison entre modèles.



Figure 18: Structure générale du récit climatique pour un paramètre.

4.1.1. L'augmentation des températures moyennes

Les évolutions récentes à l'échelle régionale

Sur la période 1959-2014, les températures moyennes augmentent de + 0,3 °C par décennie dans l'ancienne région Rhône-Alpes (Climat HD). La hausse des températures annuelles s'accroît depuis 1980, et les années les plus chaudes depuis la seconde moitié du XXe siècle ont été mesurées au XXIe siècle (2018, 2020 et 2022 d'après Climat HD). Cette tendance de réchauffement est différente selon les saisons, avec une hausse des températures moyennes plus importante au printemps et en été (+ 0,4 °C par décennie). Cette hausse des températures conduit

à une généralisation des périodes de chaleur estivales, dont les canicules. Une plus forte variabilité météorologique et une désaisonnalité sont observées dans la région grenobloise (OBS'y, 2019).

Les évolutions récentes à l'échelle locale

Sur la période 1991-2020, la température moyenne a augmenté de plus de 1,5 °C par rapport à la période 1961-1990, en Chartreuse (figure 19). Comme constaté à l'échelle régionale, l'augmentation des températures moyennes est plus importante en été et au printemps. L'écart à la référence (1961-1990) des températures moyennes lors de ces deux saisons dépasse aujourd'hui les + 2 °C.

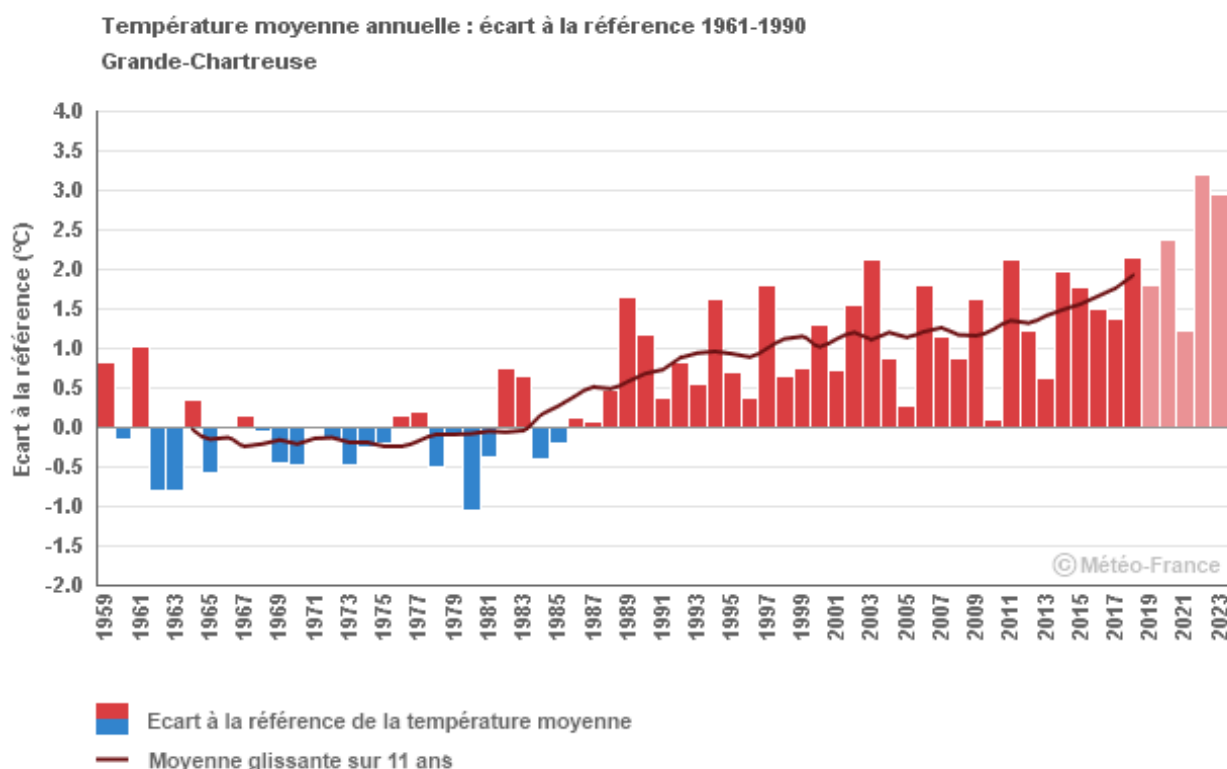


Figure 19: Température moyenne annuelle : écart à la référence 1961-1990 (Grande-Chartreuse, 954 m).
Source : ClimatHD (Météo France).

Projections de l'évolution des températures

Les projections climatiques localisées en Chartreuse à 1500 m semblent cohérentes avec les trajectoires observées à l'échelle régionale et locale. L'augmentation des températures devrait se poursuivre voire s'accroître, en particulier au printemps (tableau 4). L'ordre de grandeur de l'augmentation des températures varie selon les scénarios d'émissions, ce qui se traduit par deux vitesses distinctes de réchauffement (figure 20). Dans le cas du scénario d'émissions modérées de gaz à effet de serre (RCP4.5), l'augmentation des températures se poursuivrait sans changement de

rythme, jusqu'à atteindre les +2,2°C à l'horizon lointain par rapport aux normales (1976-2005) d'après le modèle CNRM-CM5 / ALADIN53. Le scénario RCP8.5, sans politique climatique, conduirait à une accélération de l'augmentation des températures à moyen et long terme, qui pourraient atteindre les + 4,1°C à l'horizon lointain.

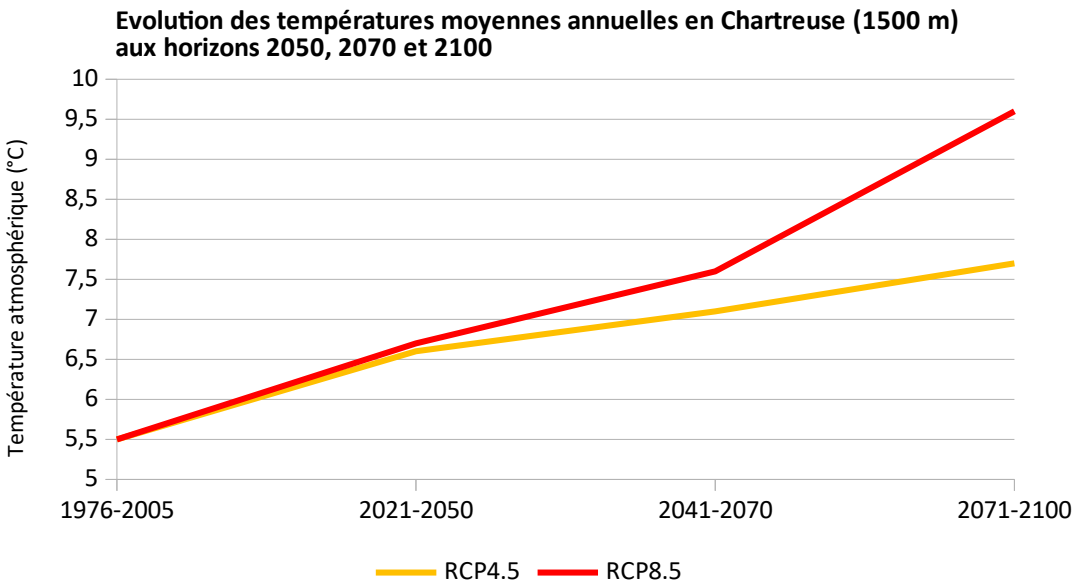


Figure 20: Evolution des températures moyennes annuelles en Chartreuse (1500 m), aux horizons 2050, 2070 et 2100 suivant deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.

Evolution de la température moyenne annuelle et saisonnière	Normales climatiques 1976-2005	Scénarios d'émissions	Écart à la moyenne de la période 1976-2005		
			Horizon proche 2021-2050	Horizon moyen 2041-2070	Horizon lointain 2071-2100
Annuelle	5,5°C	RCP4.5	+1,1°C	+1,6°C	+2,2°C
		RCP8.5	+1,2°C	+2,1°C	+4,1°C
Printemps	4,1°C	RCP4.5	+1,2°C	+1,5°C	+2,2°C
		RCP8.5	+1,6°C	+2,4°C	+3,9°C
Été	12,8°C	RCP4.5	+1°C	+1,8°C	+1,6°C
		RCP8.5	+0,8°C	+1,5°C	+4°C
Automne	6,5°C	RCP4.5	+0,8°C	+1,5°C	+2,2°C
		RCP8.5	+0,8°C	+2,2°C	+3,6°C
Hiver	-1,2°C	RCP4.5	+1,5°C	+1,6°C	+2,6°C
		RCP8.5	+1,4°C	+2,4°C	+4,7°C

Tableau 4: Évolution des températures moyennes annuelles et saisonnières en Chartreuse (1500 m), aux horizons proche, moyen et lointain suivant deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.

Peu importe le scénario d'émissions, l'ampleur du réchauffement devrait croître à mesure que l'on monte en altitude (figure 21). Cette différence d'augmentation des températures projetées selon le facteur altitudinal est plus franche dans le scénario sans politique climatique (RCP8.5).

Évolution des températures moyennes annuelles (horizon lointain 2071-2100) par rapport aux normales (1976-2005) selon l'altitude

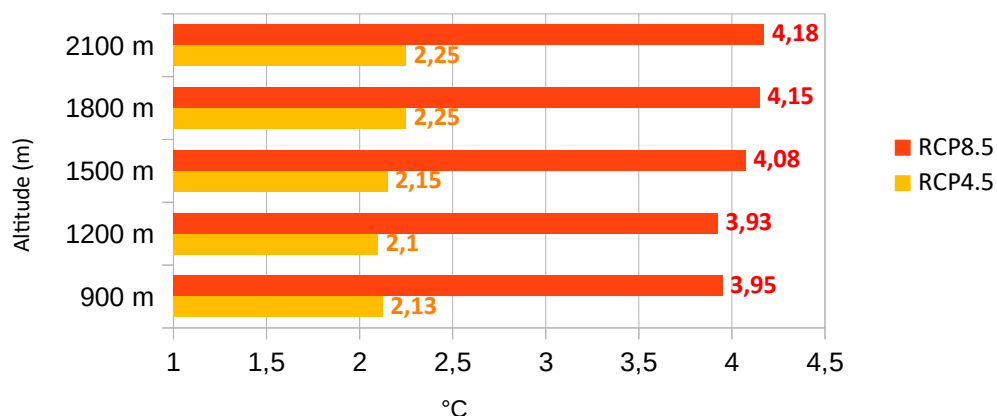


Figure 21: Évolution des températures moyennes annuelles (horizon lointain 2071-2100) par rapport aux normales (1976-2005) selon l'altitude (Chartreuse). Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.

Les évolutions constatées concernant le nombre de journées chaudes (en augmentation) et le nombre de jours de gel (en diminution) devraient se poursuivre à l'avenir, avec plus ou moins d'ampleur selon les scénarios d'émissions (figure 22).

Évolution du nombre de jours de gel en Chartreuse (1500 m) aux horizons proche, moyen et lointain

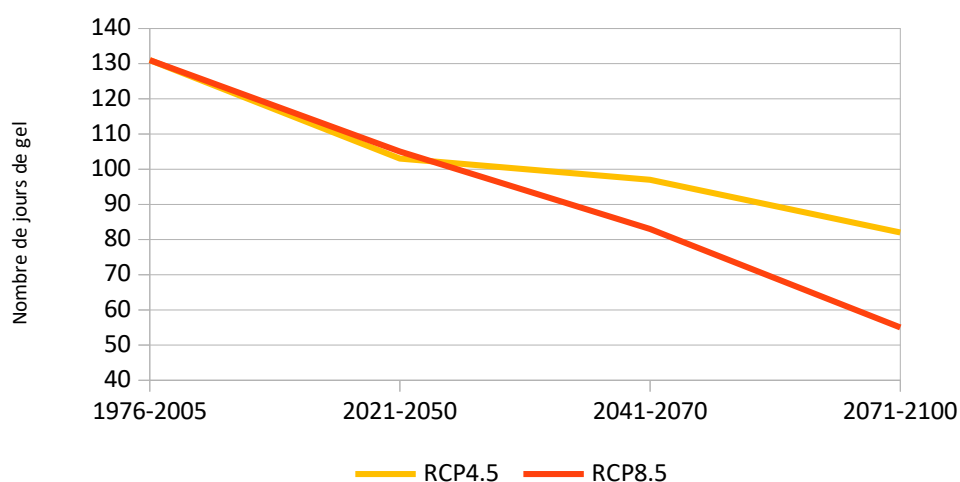


Figure 22: Évolution du nombre de jours de gel en Chartreuse (1500 m) aux horizons proche, moyen et lointain. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.

4.1.2. La stagnation relative des cumuls et la forte variabilité interannuelle des précipitations

Les évolutions récentes à l'échelle régionale

Par rapport à la période 1961-1990, l'évolution des précipitations dans l'ancienne région Rhône-Alpes se caractérise par une légère augmentation des cumuls annuels et une grande variabilité interannuelle, soit l'alternance entre des périodes arrosées et sèches. Les deux périodes de faibles précipitations observées en région grenobloise (1971-1976 et 2003-2011) témoignent de ce phénomène (OBS'y, 2019).

Les évolutions récentes à l'échelle locale

L'évolution des précipitations en Chartreuse est caractérisée par une plus importante variabilité interannuelle qui n'impacte pas la tendance des cumuls de précipitations sur une période de plus d'une trentaine d'années. Sur cette temporalité et en lien avec la hausse des températures, la stagnation relative et la variabilité interannuelle des cumuls de précipitations conduisent à une accentuation de l'évaporation hydrique et entraînent la progression du phénomène de sécheresse.

Projections de l'évolution des précipitations

Les projections climatiques localisées en Chartreuse (1 500 m) semblent cohérentes jusqu'en 2100 avec les évolutions déjà observées à l'échelle régionale : les cumuls annuels de précipitations devraient stagner ou légèrement augmenter, peu importe les horizons et les scénarios, avec ou sans politique climatique. De même, le nombre de jours de pluie intense par an et par saison serait en stagnation. Pour autant, les modèles figurent plus incertains en ce qui concerne la trajectoire future des précipitations pluvieuses et neigeuses en comparaison avec celle des températures. Par exemple, les projections des modèles de l'IPSL et du CNRM se rejoignent sur la dynamique d'une hausse des cumuls de précipitations, mais diffèrent sur l'importance de celle-ci (tableau 5). La médiane multi-modèle affiche même une tendance de légère baisse des cumuls de précipitations à moyen et long terme au scénario d'émissions RCP8.5.

Évolution du cumul des précipitations annuelles	Normales climatiques 1976-2005	Scénarios d'émissions	Écart à la moyenne de la période 1976-2005		
			Horizon proche 2021-2050	Horizon moyen 2041-2070	Horizon lointain 2071-2100
CNRM-CM5 / ALADIN53 ; correction ADAMONT	1739 mm	RCP4.5	+66 mm	+128 mm	+85 mm
		RCP8.5	+233 mm	+210 mm	+103 mm
IPSL-CM5A / WRF331F ; correction ADAMONT	1759 mm	RCP4.5	+18 mm	+58 mm	+25 mm
		RCP8.5	+128 mm	+73 mm	+126 mm
ADAMONT-2017 : médiane multi-modèles	1742 mm	RCP4.5	+8 mm	+21 mm	+7 mm
		RCP8.5	+29 mm	-49 mm	-138 mm

Tableau 5: Projection de l'évolution des cumuls de précipitations à court, moyen et long terme en Chartreuse (1500 m). Comparaison entre modèles (DRIAS, 2020).

4.2.3. La diminution de l'enneigement

Les évolutions récentes à l'échelle régionale

Une étude cosignée par des chercheurs de Météo France (Matiu *et al.*, 2021) évalue l'enneigement du massif des Alpes dans son ensemble sur la base d'un rassemblement et d'une uniformisation des données d'observations de 2000 stations météorologiques de six pays. Des tendances de fond sont identifiées sur une période d'environ 50 ans (1971-2019). Elles concernent la durée d'enneigement et la hauteur de neige à basse et moyenne altitude, qui diminuent dans l'arc alpin à basse et moyenne altitude. À ces tendances de fond se superposent la variabilité interannuelle de l'état du manteau neigeux et des différences marquées dans l'évolution de l'enneigement entre le nord et le sud des Alpes.

Les évolutions récentes à l'échelle locale

À l'échelle des Alpes comme à celle du massif de la Chartreuse, la diminution de l'enneigement est associée à la baisse des précipitations neigeuses et à l'augmentation des températures moyennes en période hivernale (Morin, 2020) : + 0,29 °C par décennie entre les hivers 1960-1961 et 2012-2013 au col de Porte (1325 m). L'évolution de l'enneigement est mesurée selon différents paramètres, qui permettent de dresser les constats suivants (CNRM, 2013) :

- Diminution de la hauteur de neige moyenne de 12 cm par décennie, soit une perte de 30 à 40 % du manteau neigeux entre 1960 et 2013 (figure 23).
- Diminution de la durée d'enneigement supérieure à 1 mètre de 15 jours par décennie.
- Diminution de la durée d'enneigement de 6 jours par décennie, soit près d'un mois d'enneigement en moins entre 1960 et 2013.

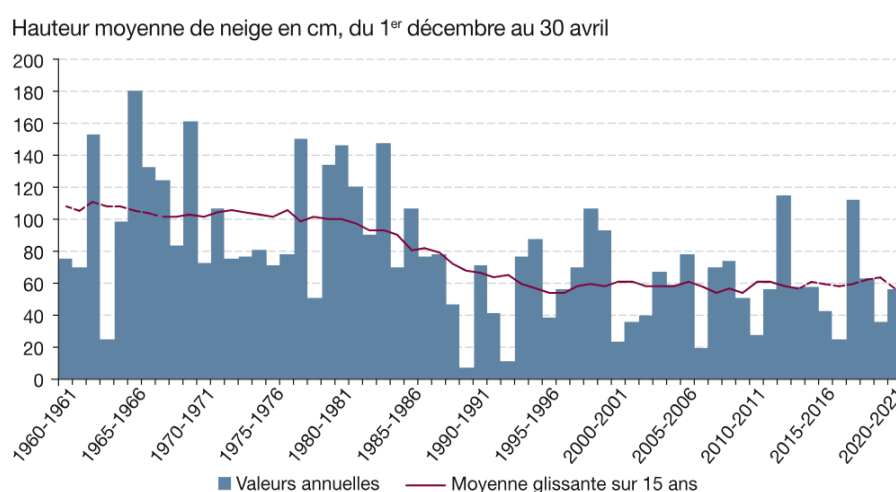


Figure 23: Évolution de la hauteur de neige moyenne (en cm) au col de Porte (du 1^{er} décembre au 30 avril). Source : Météo-France. Données : CNRM.

Les différences de projections entre les modèles sont davantage marquées pour le paramètre d'enneigement. Différentes trajectoires et intensités de diminution de l'enneigement sont projetées. Certains modèles affichent une diminution que l'on peut qualifier de graduelle et constante (*ADAMONT-2017 : médiane multi-modèles*), notamment lorsqu'il s'agit du scénario avec politique climatique (RCP4.5). En revanche, le modèle du CNRM affiche une projection plus pessimiste par rapport aux autres modèles, caractérisée par une baisse plus importante de la hauteur de neige moyenne dès l'horizon proche (tableau 6).

Modèles	Normales climatiques 1976-2005	Scénarios d'émissions	Evolution de la hauteur de neige moyenne (cm)		
			Horizon proche 2021-2050	Horizon moyen 2041-2070	Horizon lointain 2071-2100
CNRM-CM5 / ALADIN53 ; correction ADAMONT	67 cm	RCP4.5	-28	-35	-40
		RCP8.5	-31	-42	-54
IPSL-CM5A / WRF331F ; correction ADAMONT	63 cm	RCP4.5	-20	-24	-38
		RCP8.5	-6	-35	-55
ADAMONT-2017 : médiane multi-modèles	61 cm	RCP4.5	-17	-24	-31
		RCP8.5	-22	-35	-50

Tableau 6: Évolution de la hauteur de neige moyenne en Chartreuse (1500 m), aux horizons proche, moyen et lointain suivant deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Comparaison entre modèles (DRIAS, 2020).

Cette diminution de l'enneigement serait plus importante à mesure que l'on monte en altitude (figure 24). L'écart de la diminution de l'enneigement entre les deux scénarios augmenterait graduellement avec l'altitude : un écart de - 2 cm de diminution du manteau neigeux à 900 m d'altitude entre les deux scénarios contre un écart de - 25 cm à 2100 m.

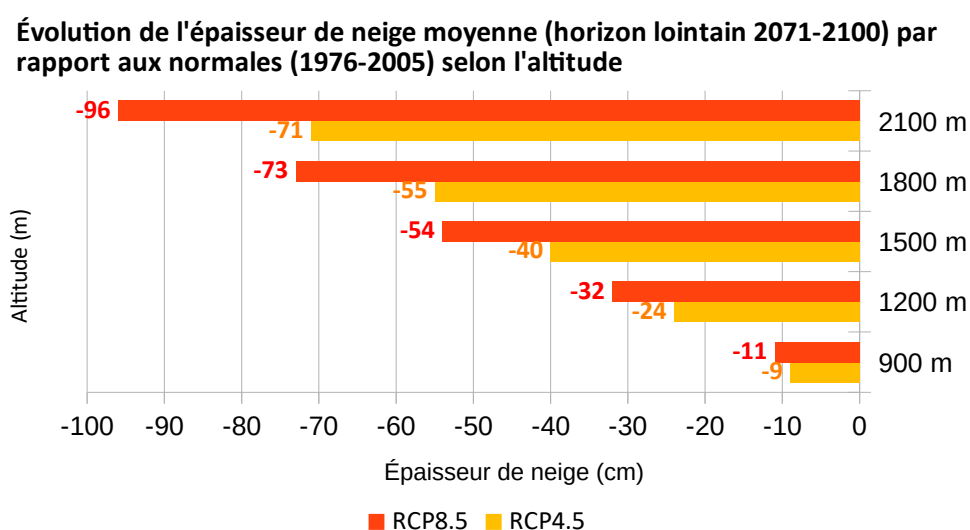


Figure 24: Évolution de l'épaisseur de neige moyenne (horizon lointain 2071-2100) par rapport aux normales (1976-2005) selon l'altitude. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.

Ce récit climatique permet de dégager des tendances de fond sur lesquelles s'appuie l'analyse de vulnérabilité et d'opportunité : une plus forte intensité des changements climatiques à mesure que l'on progresse en altitude ou encore les différences des trajectoires d'évolution de l'enneigement et des températures selon les scénarios socio-économiques. Il convient de s'appuyer essentiellement sur ces grandes trajectoires en vue d'essayer de se projeter sur les réponses des activités socio-économiques et du patrimoine naturel du territoire face aux changements climatiques.

4.2. Récit prospectif : les activités socio-économiques et le patrimoine naturel de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse face au changement climatique

Un récit prospectif permet de relater une trajectoire du futur de l'aire protégée et de se projeter à la lumière de l'analyse d'objets (Coudurier *et al.*, 2023). Cette partie narrative est nourrie par les éléments de connaissance issus du récit climatique, de la bibliographie, des réponses aux deux questionnaires (professionnels du tourisme⁹ et experts scientifiques et techniques¹⁰) et des échanges dans le cadre d'entretiens semi-directifs¹¹. D'une part, il s'agira de restituer les effets connus et projetés du changement climatique sur les activités socio-économiques. D'autre part, il sera question d'aborder les impacts du changement climatique, conjugué aux modifications constatées et probables des activités humaines, sur les habitats, la faune et la flore du site.

4.2.1. Les effets contrastés du changement climatique sur les activités de plein air

La sensibilité et l'exposition des activités de plein air au changement climatique semble contrastée. Les activités hors-neige seraient favorisées du fait de l'allongement probable de la période clémente propice aux pratiques, en particulier à l'automne et au printemps. Le site de la Réserve serait plus accessible tout au long de l'année en raison de l'absence de neige et d'un manteau neigeux considérablement réduit aux plus hautes altitudes. La relative fraîcheur du site en période estivale attire la population des agglomérations qui entourent le massif de la Chartreuse. Ce phénomène, accentué lors de la période d'après Covid-19, s'intensifierait du fait de la diversification des sports d'été et de l'attrait grandissant pour les espaces naturels protégés dans un contexte où l'habitabilité des villes est questionnée, particulièrement en été. Or, une diminution de la fréquentation humaine en période estivale et son report sur l'intersaison sont observés récemment par les gardes de la RNNHC (2024). Une diminution récente de la pratique des activités de neige (randonnée en raquettes, ski de randonnée) est observée par les acteurs du tourisme et l'équipe de la RNNHC. Fortement vulnérables au regard de la diminution observée et projetée du manteau neigeux, ces pratiques viendraient à quasiment disparaître à moyen terme, ou bien à être pratiquées ponctuellement à la suite de chutes de neige.

9 Annexe 7. Profils des répondants au questionnaire 1 soumis aux acteurs du tourisme.

10 Annexe 8. Profils des répondants au questionnaire 2 soumis aux chercheurs, experts naturalistes et techniciens.

11 Annexe 10. Profils des répondants aux entretiens semi-directifs.

Les effets du changement climatique affectent fortement des professionnels du tourisme, qui estiment que leurs activités évoluent et évolueront de manière contrastée. Une majorité de répondants affirme que leurs activités professionnelles ou bénévoles sont moyennement (64,7 %) voire fortement (23,5 %) adaptables au changement climatique. Face à ce contexte, 13 répondants sur 17 ont été amenés à modifier leur activité. Les formes d'adaptation des pratiques sportives et touristiques identifiées par les répondants sont les suivantes, par ordre d'importance :

- Les adaptations ponctuelles (10), davantage subies (5) qu'anticipées (3), en raison du manque d'eau dans les sources, des vagues de chaleur, des conditions météorologiques jugées plus tempétueuses et incertaines et d'une moindre visibilité de la faune et de la flore lors des périodes de fortes chaleurs. Il s'agit principalement d'une adaptation des horaires et de reports d'activités. Si ces mesures d'adaptation prises par les acteurs du tourisme sont principalement associées à la météorologie, leur recours plus fréquent au fil de ces dernières années renseigne sur un changement plus global et lisible à l'échelle de plus d'une dizaine d'années.
- Les adaptations permanentes (2) des pratiques. Les acteurs du tourisme délaissent progressivement les activités de neige sur la Réserve en raison d'une saison de neige devenue plus courte et trop variable au fil des années. D'autres modifications permanentes concernent l'évitement de zones devenues plus exposées aux éboulements en lien avec la déstabilisation des sols et plus largement du patrimoine géologique.

L'exercice de récit demandé dans le questionnaire permet de dégager les perspectives envisagées par les acteurs, selon leurs activités respectives (figure 25). Ces récits individuels sont un moyen d'engager une réflexion prospective, basée sur les évolutions déjà observées, ressenties et éclairée par la synthèse du récit climatique¹² transmise avec le questionnaire. D'après les professionnels du tourisme, la vulnérabilité et l'opportunité des activités de plein air peuvent être qualifiées de moyennes. Ce constat partagé par les répondants est semblable aux résultats des diagnostics menés dans d'autres espaces naturels protégés situés en contexte de moyenne et haute montagne. Les activités sportives et touristiques qui y prennent place sembleront suivre des trajectoires similaires (Dané, 2021 ; Lochon, 2021).

Des facteurs non climatiques pouvant limiter la pratique des activités de plein air sont mentionnés par certains répondants : la réglementation de la RNNHC et la saisie de la législation récente qui renforce la propriété privée au sein de l'espace protégé (loi n°2023-54 du 2 février 2023).

12 Document de communication : « Le patrimoine naturel et les activités humaines des Hauts de Chartreuse face au changement climatique », pp.122-125.

LES ACTIVITÉS DE PLEIN AIR SUR LES HAUTS DE CHARTREUSE EN 2050

CONSTATS ET RÉCITS DES PROFESSIONNELLS DU TOURISME

LES EFFETS PERÇUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE	HIVER
Une durée des saisons bouleversée : printemps précoce, automne tardif, allongement de la période de végétation.			
Retrait plus précoce du manteau neigeux et températures clémentes Propice à la pratique des activités de plein air (hors neige).	Fortes chaleurs et conditions plus tempétueuses Adaptations ponctuelles, subies et anticipées, des activités : évitement de certaines horaires, conditions plus tempétueuses, difficultés à observer la flore...	Températures clémentes après la période de chaleur estivale Propice à la pratique des activités de plein air (hors neige).	Diminution de l'enneigement et températures plus douces Adaptions permanentes, mettant à l'écart la pratique d'activités de neige au profit de la randonnée. Meilleure accessibilité du massif.

RÉCITS À HORIZON 2050

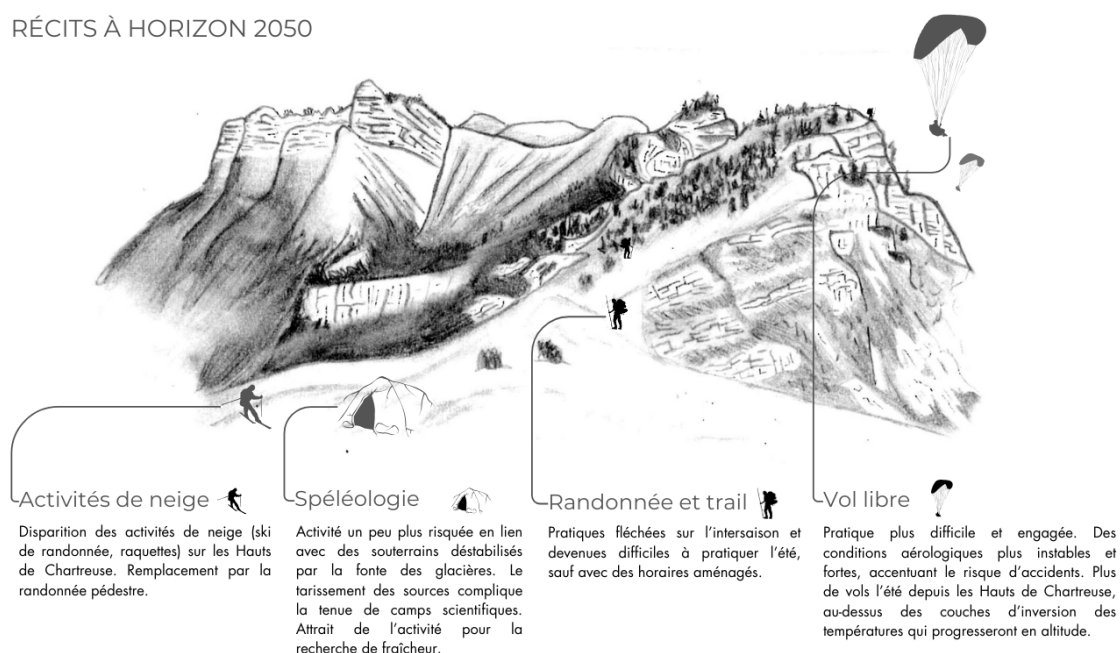


Figure 25: Les activités de plein air sur les Hauts de Chartreuse en 2050 : constats et récits des professionnels du tourisme.

4.2.2. Pastoralisme et changement climatique : une perte de lisibilité pour la conduite de l'activité

Les effets du changement climatique sur le pastoralisme

La tendance majeure mentionnée dans la littérature et par les acteurs interrogés est la perte de lisibilité des conditions météorologiques d'une année à l'autre. La forte variabilité interannuelle des conditions de températures, de pluviométrie et d'enneigement rend difficile

l'ajustement annuel de la conduite des troupeaux (choix de la période d'estive et des effectifs des cheptels) et peut aboutir à des cas de surpâturage, comme en 2022. La sensibilité au changement climatique de la conduite et de la configuration de l'activité (charge pastorale, récolte des foins hors RNN, topographie de l'alpage et son alimentation en eau) relève de cette perte de lisibilité pour les éleveurs et les bergers. Plus précisément, des facteurs climatiques impactent la saison végétative, les bêtes et l'alimentation en eau des alpages :

- Au printemps, la ressource fourragère est influencée par la quantité d'enneigement en fin d'hiver et les températures. Le gel après déneigement peut impacter défavorablement la première pousse (ingénieure de recherche, INRAe).
- En été : la sécheresse est le facteur prépondérant qui affecte la possible repousse en période estivale. L'augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses expose les bêtes aux stress hydrique et thermique en période estivale, en particulier les bovins (*Ibid* ; Beede et Collier, 1986 ; Collier et al., 2018).
- Liée à la hausse des températures, la baisse de l'enneigement conduit au passage progressif d'un régime nivo-pluvial (dépendant de la fonte du manteau neigeux comme stock d'eau pour les alpages au printemps) à un régime pluvial (dépendant des précipitations au printemps) (Deléglise et al., 2019).
- En lien avec la hausse des températures et la répartition plus inégale des précipitations, la quantité d'eau pour les bêtes et la pousse de l'herbe est soumise à de plus fortes variations d'une année à l'autre.
- L'imprédictibilité des aléas agro-météorologiques et de l'évolution des précipitations à court, moyen et long terme rend difficile la prise de décision et le choix de dimensionnement des potentiels aménagements dédiés à l'approvisionnement en eau.
- La progression des vecteurs de maladies et d'infections en altitude, à l'image des insectes diptères de genre *Culicoides* qui transmettent la fièvre catarrhale ovine, une maladie qui affecte fortement la conduite de l'activité en Chartreuse lors de l'été 2024.
- Le nard raide (*Nardus stricta*), et d'autres espèces peu appétissantes pour les bêtes, sont favorisés par le surpâturage et la hausse des températures, ce qui peut conduire à un appauvrissement de la ressource fourragère du fait de son important pouvoir de multiplication végétative (Parc national des Écrins). L'évitement du nard raide par les bêtes pour la recherche d'une herbe plus qualitative peut conduire à une concentration du piétinement des sols, ce qui favorise la dégradation des versants.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas agro-météorologiques est aussi mentionnée par les acteurs du site interrogés et les répondants scientifiques (INRAe) : sécheresses (2003, 2022), gels tardifs et printemps plus ou moins chauds, pluies intenses (environ 100 mm en quelques heures à 1500 m d'altitude au printemps 2024 d'après un berger). En somme, ces aléas et les modifications des conditions pédo-climatiques du territoire semblent déborder peu à peu du domaine de flexibilité des éleveurs.

Les diagnostics conduits par le réseau des Alpagnes sentinelles sur deux alpages de la RNNHC de 2013 à 2016, l'alpette de Chapareillan et le col du Coq (Annexe 2), permettent de souligner l'exposition différenciée des alpages au changement climatique. Certaines différences et convergences dans les observations des bergers et des éleveurs sur ces 4 ans de suivi peuvent être relevées (tableau 7).

Les différences d'exposition entre les deux alpages :

- La sensibilité de l'alimentation en eau lors des sécheresses. L'alimentation en eau de l'alpage de l'alpette de Chapareillan semble plus sensible face aux sécheresses que le col du Coq, dont l'abreuvoir se situe plus en aval sur le versant.
- La disponibilité de zones intermédiaires à proximité de la zone d'estive en cas de retard phénologique de la végétation varie fortement selon l'alpage.

Les similarités d'exposition des deux alpages :

- La réponse de la phénologie de la végétation d'alpage aux conditions météorologiques.
- Le comportement des bêtes face à la chaleur et à la végétation sèche : déplacements hors de l'alpage (col du Coq), recherches de zones fraîches (clairières, pré-bois) et d'une herbe épargnée par la sécheresse.

Alpette de Chapareillan	Col du Coq
Saison 2013	
Végétation : phénologie tardive (enneigement prolongé). Ressource fourragère suffisante voire abondante.	Végétation : phénologie tardive, faible volume de biomasse, récupération du retard du début de saison. Eau : pas de problème signalé.
Saison 2014	
Végétation : phénologie « normale », ressource fourragère abondante, dégâts de sangliers.	Végétation : pousse quasi-permanente en raison d'un été pluvieux. Bêtes : avec la pluie, recherche d'abri par les brebis, problèmes sanitaires aux pieds.
Saison 2015	
Aléas agro-météorologiques : ensoleillement et fortes chaleurs Végétation : phénologie précoce (printemps chaud et sec). Végétation grillée tôt dans le mois de juillet. Eau : source du haut de l'alpage presque tarie, installation d'un système de défens pour une réserve d'eau supplémentaire. Pluie avant le passage à un moment critique pour les bêtes. Bêtes : Importants déplacements des brebis.	Aléas agro-météorologiques : canicule. Végétation : phénologie précoce, pluie fin juillet limitant les conséquences de la canicule. Eau : pluie tombée avant le passage à un moment critique pour la végétation. Bêtes : recherche de secteurs frais (clairières, sous-bois)
Saison 2016	
Aléas agro-météorologiques : vague de chaleur, sécheresse (accentuée par le vent). Végétation : phénologie tardive (mois de juin froid). Descente précoce des bêtes (une semaine avant) en lien avec la repousse limitée à l'automne par le manque de précipitations. Eau : pas de problème signalé. Bêtes : pas de problème signalé.	Aléas agro-météorologiques : vague de chaleur, sécheresse. Végétation : phénologie tardive (mois de juin froid), bêtes sur le pâturage intermédiaire pour laisser démarrer la végétation d'alpage. Mi-août, la végétation grille en lien avec le manque de précipitation et la chaleur. Eau : pas de problème signalé. Bêtes : recherche de secteurs préservés du sec en fin de saison, déplacements hors de l'alpage à trois reprises.

Tableau 7: Synthèse des observations des bergers/éleveurs sur les alpages du col du Coq et de l'alpette de Chapareillan (Alpagnes Sentinelles, 2013-2016).

À ce contexte climatique défavorable s'ajoutent des éléments extérieurs (non climatiques) qui exercent des pressions sur l'activité. Celles-ci sont lisibles à l'échelle locale :

- Le verrou foncier empêchant l'ouverture de zones intermédiaires hors RNN afin d'échelonner la pression pastorale et la pousse d'herbe.
- Le risque de tensions (déjà constaté) voire de conflits d'usages avec les pratiquants d'activités de plein air en lien avec une fréquentation plus étalée dans l'année.
- La prédation.

D'autres pressions peuvent être lues à l'échelle nationale et concernent l'activité de l'élevage dans son ensemble :

- Une dépendance forte de l'activité aux aides publiques, laissant peu de marge de manœuvre aux éleveurs.
- Une faible demande de consommation locale associée à des désavantages concurrentiels liés au libre échange, à l'image de la différence de prix entre l'agneau néo-zélandais et l'agneau français.

Dans le contexte du changement climatique, l'activité se retrouve fragilisée et figure plus dépendante aux soutiens publics. Le changement climatique a un coût social et économique fort pour les éleveurs et les bergers (Petit *et al.*, 2023). Dans un contexte où ces contraintes devraient s'accroître, l'écart entre la proportion de ces problématiques et le manque de solutions sociales est souligné (Clayton et Manning, 2018).

Réfléchir à l'adaptation de l'activité

Face au changement climatique, l'adaptation de l'activité pastorale réside dans sa conduite et sa configuration à l'échelle de l'alpage : choix de la charge pastorale, des bêtes et du mode de conduite des troupeaux, topographie de l'alpage et son alimentation en eau) (Réseau des Alpes Sentinelles).

Les alpages des Hauts de Chartreuse sont caractérisés par leurs formes relativement planes qui limitent l'amplitude altitudinale du site pâturé. Cette disposition topographique fait que la recherche de limitation de la pression sur l'alpage via l'échelonnement de la pousse d'herbe n'est pas la solution la plus pertinente pour le contexte. Le pacage, soit la conduite du troupeau par quartiers au sein de l'alpage pour mieux répartir la pression pastorale, serait une solution. Cependant, ce mode de conduite du troupeau suppose une importante disponibilité en ressources humaines.

Largement mentionné dans la littérature, le choix d'une diminution de la charge pastorale permet une moindre pression sur les pelouses d'alpage, mais induit une baisse des objectifs de production pour l'éleveur. Une réduction importante de la charge pastorale semble peu envisageable au regard de la situation économique actuelle de l'activité, et reviendrait à accroître la dépendance des éleveurs aux aides publiques. Pour fonctionner, l'adaptation au changement climatique doit tenir compte de certains impératifs économiques et humains, de problématiques connexes (prédation, conflits d'usages) et de la capacité des écosystèmes ouverts à soutenir la pression pastorale lors des périodes sèches (Réseau des Alpagnes Sentinelles). Aussi, plutôt que la piste d'adaptation qui consiste à modifier le choix des races, la solution d'une adaptation des races déjà présentes sur les alpages via un élevage sélectif qui privilégie des bêtes plus petites (et donc moins exposées aux stress thermique et hydrique) est avancée par l'un des bergers interrogés. Ce dernier évoque un « bon sens paysan », qui serait le moteur de l'adaptation.

Bien que soumises au même climat, les exploitations ne sont pas toutes exposées de la même manière aux effets du changement climatique. Les pistes d'adaptation sont alors à envisager selon les spécificités locales de l'alpage (Réseau des Alpagnes Sentinelles ; ingénieure de recherche, INRAE). Aussi l'adaptation du système pastoral suppose-t-elle une réflexion plus générale sur la gestion de la ressource en eau.

4.2.3. La gestion de l'eau et les zones humides

Dans le contexte des Hauts de Chartreuse, territoire positionné en amont du réseau hydrographique, la ressource en eau est exposée à un large ensemble de facteurs climatiques qui évolueraient en sa défaveur :

- La hausse des températures et la variabilité interannuelle des précipitations affectent les écosystèmes et le cycle de l'eau, conduisent à une augmentation de l'évaporation de l'eau et à un accroissement du besoin en eau des espèces faunistiques et floristiques.
- La réduction du manteau neigeux impacte l'alimentation en eau des zones humides et, plus généralement, le fonctionnement des réseaux hydriques ou hydrogéologiques. La diminution de l'enneigement marque le passage progressif d'un régime pluvio-nival à un régime pluvial.

D'après un enseignant-chercheur hydrogéologue (EDYTEM), des effets sont attendus sur la ressource en eau, à l'image d'une aridification estivo-automnale avec un assèchement progressif des sources karstiques. De façon isolée, cet assèchement est aggravé par la fonte des glaciers souterrains. La notion d'adaptabilité de la ressource en eau est variable au gré des points de vue, selon si l'on souhaite maintenir le fonctionnement du socio-système actuel (et alors maintenir les capacités d'approvisionnement en eau) ou si l'on souhaite empêcher la mise en place d'aménagements adaptatifs et préserver la ressource pour des usages dédiés au fonctionnement

des écosystèmes. D'après un enseignant-chercheur (SciencesPo Grenoble), des perspectives négatives semblent envisageables : augmentation des conflits d'usages, menaces sur le fonctionnement et l'organisation des activités présentes et des écosystèmes. Des pistes d'amélioration existent et trouvent lieu dans la gestion concertée et l'adaptation des pratiques gourmandes en eau. Cette réflexion sur une gestion concertée de l'eau est en cours, notamment à travers le projet Concert'eau (financement : FPNR et CDC ; coord. Hobléa, F., USMB) qui concerne cinq PNR situés dans les Pré-Alpes.

En lien avec ces évolutions climatiques et l'imprédictibilité des réponses du socio-système, les milieux fortement dépendants de l'eau et de l'enneigement (glacières souterraines, bas marais alcalin de la zone humide de la Grenouille) sont fortement vulnérables et font face à un avenir incertain. Une succession de périodes de sécheresse associée à une forte variabilité interannuelle des précipitations pourraient induire un tarissement plus ou moins important des sources de dépôts de versant (responsable scientifique, CEN Isère). Cela perturberait l'alimentation en eau et modifierait de façon irréversible les propriétés de la tourbe du bas marais alcalin (figure 26). En lien avec son assèchement, la régression et la perte en patrimonialité de cette zone humide réduirait son rôle tampon à l'échelle du versant (zone de fraîcheur) et la capacité de stockage de carbone de ses sols tourbeux (*Ibid*).



Figure 26: Zone humide de la Grenouille (950 m). Juin 2024.

Le choix entre deux stratégies de gestion distinctes statuera sur le devenir du bas marais alcalin, dont le contexte de fermeture des milieux constituerait une menace plus directe sur les espèces floristiques inféodées que le changement climatique :

- Maintenir le milieu en libre-évolution (en cours).
- Une réouverture partielle, sans intervention mécanique, en réaction à un contexte de fermeture par le pin sylvestre et au risque associé de banalisation du milieu.

Le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité pointe la nécessité pour l'équipe de la RNNHC de réfléchir à une stratégie de gestion au chevet de la zone humide de la Grenouille.

4.2.4. Les milieux forestiers et la gestion forestière

La part des milieux forestiers sur les Hauts de Chartreuse est de 44 % (CBNA, 2003). Ces milieux sont dominés par trois habitats décrits ci-dessous, qui présentent des réponses différentes face au changement climatique du fait de leur composition, des conditions édaphiques sur lesquelles ils reposent, de leur localisation (altitude et exposition), des propriétés de leurs essences dominantes et des modes de gestion en vigueur.

- La hêtraie-sapinière : milieu forestier de l'étage montagnard dominé par le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le sapin pectiné (*Abies alba*). Surface occupée : 701 ha (16 % RNNHC).
- La pessière : forêt subalpine dominée par l'épicéa (*Picea abies*). Surface occupée : 610 ha (13,81 % RNNHC).
- La pinède de pins à crochets : forêts et boisements subalpins dominés par le pin à crochets (*Pinus uncinata*). Il s'agit d'un habitat d'intérêt communautaire prioritaire. Surface occupée : 542 ha (12,27 % RNNHC).

Portant sur ces trois habitats, le récit prospectif s'appuie sur l'état des connaissances des évolutions climatiques, des niches écologiques des espèces et les dires d'experts : gestionnaires, ingénieurs et techniciens forestiers intervenant sur le site de la RNNHC et ailleurs en Chartreuse.

Les impacts du changement climatique sur les forêts à l'échelle du massif

Le principal facteur climatique qui affecte la santé des forêts est l'élévation des températures couplée à la stagnation des précipitations, qui provoque un allongement de la saison de végétation (ONF Isère, 2023), des décalages de phénologie et une augmentation de l'évapotranspiration (garde et conservatrice RNNHC ; technicienne forestière CRPF AURA ; Labonne *et al.*, 2019). La sécheresse compromet la régénération naturelle et favorise la mortalité des arbres jusqu'à 1000 - 1200 m selon la localisation et la composition de l'habitat forestier (technicienne forestière, CRPF AURA ; technicien forestier territorial ONF Isère). Les exemples des effets du changement climatique sur les peuplements forestiers sont nombreux en Chartreuse : présence d'arbres secs sur pied dans les secteurs de Proveysieux / Quaix-en-Chartreuse, parasitisme sur les peuplements aux abords du monastère de la Grande-Chartreuse (1000 m) qui ont fait l'objet de coupes sanitaires, progression du gui (*Viscum album abietis*) sur sapin pectiné constatée dans le secteur du col de Porte (1300 m), essaimage du scolyte typographe (*Ips typographus*) sur l'épicéa qui se généralise sous 1000 m et accentuation du risque incendie sur les contreforts du massif (de 300 m à environ 900 m) (*Ibid.*).

Plus ponctuels dans l'espace du fait de l'altitude, des dépérissements sont observés sur le site de la RNNHC. C'est le cas de sapins situés sur les flancs dans l'étage montagnard et, depuis août 2024, des épicéas situés sur le lapiaz dans l'étage subalpin (figure 27). Excepté sur les flancs de la partie est/nord-est du site, l'absence d'équipements de Défense des Forêts contre l'incendie (DFCI) en raison de la difficulté d'accès et de l'absence de gestion forestière pourrait constituer une menace pour l'ensemble des peuplements d'altitude. La limitation voire l'interdiction de la fréquentation au sein de zones exposées au risque incendie pourrait constituer une piste d'adaptation. D'après les dires d'experts de l'ONF et du CRPF, les forêts situées dans le périmètre de la RNNHC sont d'un intérêt économique moindre à l'échelle de la Chartreuse, du fait de leur faible accessibilité et de l'absence de gestion forestière en forêt privée. Leur vulnérabilité n'exposerait pas la filière bois en Chartreuse mais nuirait fortement à l'état écologique du site.



Figure 27: Dépérissements d'épicéas dans l'étage subalpin (1850 m). Source : Lebreton, S. (RNNHC), août 2024.

Quelles perspectives pour les forêts et leur suivi ?

Le territoire des Hauts de Chartreuse serait un territoire compatible au hêtre, au sapin et à l'épicéa à moyen-terme et peu importe le scénario d'émissions d'après la plateforme ClimEssences (modèle IKS). Néanmoins, cela n'indique pas la susceptibilité des peuplements face aux événements extrêmes qui conduisent à des fragilités sanitaires (attaques de parasites, et cela même l'hiver avec le développement du multivoltinisme) et mécaniques (chablis et bris de cimes causés par des conditions plus tempétueuses) (Labonne, 2019 ; Dané, 2021).

Ce serait à moyen terme, soit à partir de 2050, que la vulnérabilité des forêts du massif face au changement climatique serait plus importante et que les peuplements connaîtraient des changements accélérés (ClimEssences). Un risque de dépérissement généralisé de l'épicéa à environ 1500 m à moyen et long terme est mentionné dans la littérature (Labonne *et al.*, 2019). Certains éléments pourraient limiter ces menaces qui pèsent sur les pessières. Il s'agit d'un habitat

souvent doté de micro-stations (variantes fraîches et sèches) favorisant sa résilience et qui n'est pas confronté aux incendies dans son aire de distribution. De plus, en cas de hausse des précipitations, l'essaimage du scolyte pourrait être gêné (Dané, 2021). Néanmoins, le constat récent de nombreux dépérissements au sein de la pessière de la RBI de l'Aulp du Seuil à environ 1500 m atteste de la sensibilité de l'épicéa dans le subalpin inférieur (garde technicien et garde animateur, RNNHC, 2024).

Les perspectives sembleraient plus optimistes pour les pinèdes de pins à crochets, toutes laissées en libre évolution. Héliophile et qualifiée de frugale, l'espèce serait robuste face aux aléas climatiques. L'essence fixe les sols fins des versants situés dans le subalpin, et représenterait une opportunité face à une plus inégale répartition des pluies qui favoriserait les aléas gravitaires. En lien avec la forte susceptibilité de l'épicéa face aux sécheresses, la menace de la progression de la pessière sur les pinèdes de pins à crochets serait incertaine (technicienne forestière, CRPF). Dans des conditions semblables (Haute chaîne du Jura), le pin à crochets ne semble pas subir la concurrence de l'épicéa (Béguin *in* : Prunier et Boissezon, 2017).

Les suivis de la phénologie des essences, de l'état sanitaire et des cycles sylvogénétiques des milieux forestiers, en particulier ceux laissés en libre-évolution, pourront renseigner sur la capacité d'adaptation intrinsèque des peuplements et la plasticité des essences, encore trop méconnue, face aux effets conjugués du changement climatique et d'autres facteurs environnementaux : fréquentation humaine et gestion cynégétique. Un diagnostic sylvo-climatique, à l'image de l'outil BioClimSol, permettrait d'évaluer plus précisément l'impact du climat et d'autres facteurs sur les peuplements forestiers à l'échelle des parcelles (CNPf).

4.2.5. Patrimoine géomorphologique et changement climatique : des effets teintés d'incertitudes

Couvert forestier et dynamique gravitaire : une interaction à l'épreuve du changement climatique

Les Hauts de Chartreuse sont caractérisés par des objets géologiques à forte valeur patrimoniale. D'après le plan de gestion (2017-2028), les milieux rupestres et souterrains correspondent à quatre unités écologiques de formes d'érosion : les grottes et gouffres, les falaises et rochers calcaires, les éboulis et chaos rocheux, les lapiaz et dalles rocheuses. Les mouvements gravitaires, d'origine naturelle et/ou anthropique, modifient constamment ce patrimoine et font partie intégrante de leur fonctionnement. Les évolutions du patrimoine géologique en lien avec le climat seront à la marge et invisibles à l'échelle humaine des temps (hydrogéologue, EDYTEM). Néanmoins, la biostasie (cercle vertueux alimenté par l'équilibre entre le couvert végétal et la qualité du sol) risquerait d'être perturbée suivant les effets du changement climatique sur le couvert forestier dans les années à venir (*Ibid.*) (figure 28). Pour contraster cette projection, ajoutons que la progression supposée des essences feuillues en altitude conduirait à une meilleure protection du versant et des enjeux humains situés le long des limites inférieures des flancs face

aux éboulements rocheux (conférence INRAe-LESSEM, 2024). Ces éléments de connaissance restent teintés de multiples incertitudes, notamment au sujet de la possibilité de franchissement de seuils qui conduiraient à une période de rhéxistase, caractérisée par une intensification des phénomènes gravitaires (hydrogéologue, EDYTEM).

Ochando, 2024.

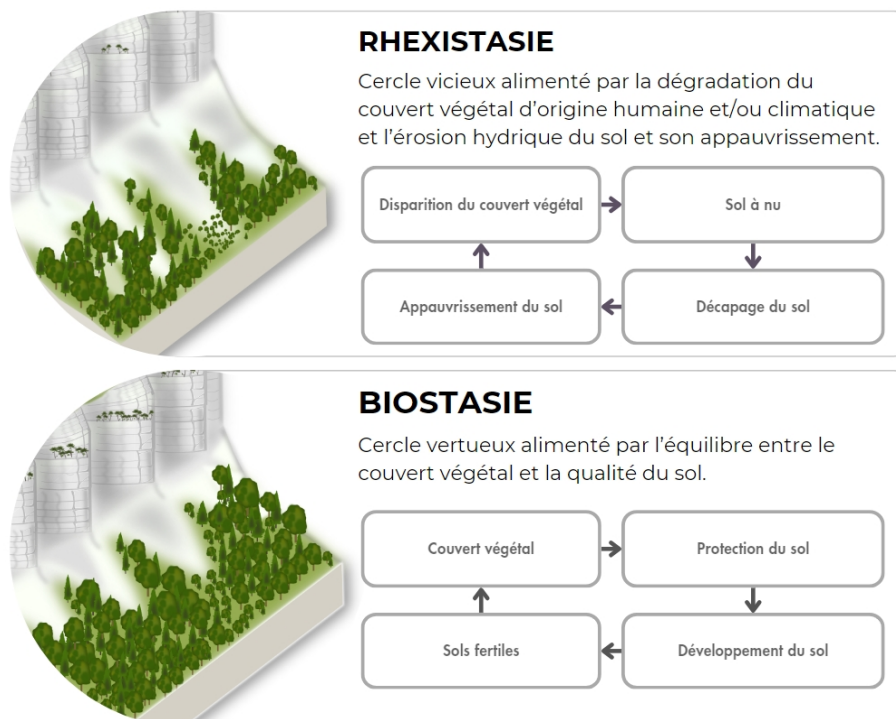


Figure 28: Le couple biostasie-rhexistasie (d'après Cossart, 2018).

La forte vulnérabilité des glaciers souterrains

Intégrées à ce patrimoine géomorphologique, les glaciers souterrains sont concernées par une dynamique de diminution déjà constatée et suivie par des protocoles de mesure de la variation du niveau de glace. Cette fonte, causée par la hausse des températures qui modifie l'aérodynamisme souterrain, entraîne en parallèle une perte du soutien des étiages karstiques estivaux. Le changement climatique impacte les glaciers souterrains de façon irréversible et les menace de disparition. Des soins palliatifs via une intervention humaine existent et ne sont pas envisagés en Réserve : bouchage de cavités, recharge de neige volontaire en période hivernale (pratiques pastorales anciennes) (hydrogéologue, EDYTEM).

4.2.6. La plasticité des espèces faunistiques et floristiques des Hauts de Chartreuse à l'épreuve du changement climatique

En l'état actuel des connaissances et du fait des évolutions climatiques, il semblerait que le changement climatique soit favorable à certaines espèces et défavorable pour d'autres, remettant en cause leur maintien sur les Hauts de Chartreuse à moyen et long terme. Tel est le cas des

espèces arcitco-alpines, à l'image du sizerin flammé (*Carduelis flammea*), du merle à plastron (*Turdus torquatus*), de la véronique des Alpes (*Veronica alpina* L) ou encore de l'orpin rose (*Rhodiola rosea* L.). Les effets du changement climatique s'ajoutent à d'autres formes de pressions anthropiques sur les espèces et leurs habitats, qui, dans le contexte des Hauts de Chartreuse, se manifestent à travers le dérangement par les activités touristiques, sylvicoles et pastorales.

La très forte vulnérabilité des espèces arctico-alpines

Le contexte de la Chartreuse, et plus largement des Pré-Alpes du Nord, n'est pas favorable aux espèces arctico-alpines dans le contexte du changement climatique. Le déclin de l'abondance et la remontée en altitude de ces espèces sont observés à l'échelle des Alpes et devraient se poursuivre suivant les projections climatiques : diminution de l'enneigement, du gel et hausse des températures. Des facteurs extérieurs aux espèces tels que la présence de secteurs frais, notamment exposés au nord et jouant un rôle de refuge, pourront amortir certains effets du changement climatique (chargé de mission biodiversité, PNRC). Or, les pressions dues à l'évolution du climat semblent dominer et dressent des perspectives négatives pour les taxons arctico-alpins. L'absence d'un étage alpin à l'échelle de la Chartreuse (point culminant : 2082 m), la faible emprise spatiale des surfaces sommitales et l'isolement géographique du massif par rapport à l'arc alpin et aux chaînons préalpins (Bailly, 2016) offrent des conditions défavorables au maintien de ces espèces.

Le changement climatique : une opportunité supposée pour certaines espèces faunistiques

Les hivers plus doux pourraient profiter à certaines espèces aux affinités collinéennes et montagnardes, à l'image des cervidés, du merle de roche (*Monticola saxatilis*), du pouillot de Bonelli (*Phylloscopus bonelli*), du raton laveur (*Procyon lotor*) ou encore de certaines espèces de syrphes (Claude, Decoin & Tissot, 2020). Par exemple, l'absence de couvert neigeux sur le territoire de la RNNHC permet au chat forestier (*Felis sylvestris*) une présence hivernale continue jusqu'à au moins 1200 m d'altitude, d'après les relevés effectués sur l'hiver 2023-2024 (Bailly, comm. pers.). Cette projection sur la faune reste à nuancer si l'on suppose la désynchronisation possible entre la vitesse de la hausse des températures, celle de la remontée des espèces en altitude et la présence ou non de nourriture en qualité et en quantité.

Des espèces peu exposées et sensibles au changement climatique

Certaines espèces emblématiques telles que l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et la chevêchette d'Europe (*Glaucidium passerinum*) semblent peu exposées et sensibles aux évolutions du climat en raison de leur forte capacité d'adaptation intrinsèque, soit leur plasticité alimentaire et/ou d'habitat. La vulnérabilité ou non de ces deux rapaces dépend surtout de la conduite de la forêt (pour la chevêchette d'Europe), avec le maintien d'arbres à cavité ou morts et des activités de survol (pour l'aigle royal) (Dané, 2021).

En raison des suivis de populations lancés en 2024 sur la RNNHC et de la disponibilité de données scientifiques sur la vulnérabilité de l'espèce face au changement climatique, le bouquetin des Alpes (*Capra ibex*) fait l'objet d'un focus au sein du DVO. Les perspectives pour l'espèce semblent pessimistes en raison de son exposition et de sa sensibilité aux effets du changement climatique mentionnés dans la littérature et selon les dires d'experts (Aublet *et al.*, 2009 ; De Danieli et Sarasa, 2015 ; Toïgo *et al.*, 2016 ; PN Vanoise, 2021 ; ingénieure OFB, 2024) :

- Stress thermique en période estivale.
- Baisse du nombre de cabris suite à des printemps et étés chauds.
- Désynchronisation entre les ressources alimentaires et les besoins nutritifs.
- Croissance des cornes plus lente pour les mâles nés lors d'années où les températures printanières sont plus chaudes.
- Dépenses énergétiques supplémentaires (migrations journalières vers des altitudes plus élevées et thermorégulation), prenant sur le temps et l'énergie dédiés à l'alimentation.

En raison de la faible diversité génétique de l'espèce et de certaines pressions externes, la capacité d'adaptation du bouquetin apparaît faible, ce qui accroît sa vulnérabilité :

- Avec la hausse probable de la fréquentation due à l'allongement de la période clémente pour les activités touristiques, le dérangement peut être accentué lors des périodes de reproduction et de mise-bas.
- Dérangement nocturne augmenté suite à la hausse de la fréquentation post Covid-19 et à récurrence récente de pratiques plus intrusives (bivouac, pratiques sportives en nocturne et hors sentiers) (conservatrice, RNNHC).
- Accroissement de la période de rencontre entre les bouquetins, les animaux domestiques et autres ongulés, ce qui favorise la transmission de maladies.
- Disparition plus précoce des névés au printemps, affectant négativement les stratégies de thermorégulation lors de printemps chauds.
- Absence d'un réel étage alpin à l'échelle de la Chartreuse qui limite la capacité de migration de l'espèce.

4.2.7. Synthèse des effets du changement climatique et mise en avant des interactions

L'ensemble de ces résultats rend compte de la diversité des réponses des activités humaines et du patrimoine naturel face au changement climatique. De nombreuses incertitudes persistent et l'état des connaissances est inégal entre les objets traités. Les effets du changement climatique sur certains éléments du territoire de la RNNHC sont synthétisés à travers la figure 29. Il convient de mettre en avant quelques interactions identifiées entre les composantes du socio-

écosystème. Ces dernières co-existent et sont vouées à changer sous l'effet du changement climatique et d'autres facteurs de pression au sein d'un même territoire.

Activités de plein air, pastoralisme et biodiversité

En lien avec l'allongement de la période de fréquentation, la progression de pratiques plus intrusives et l'arrivée d'un nouveau public en montagne peuvent provoquer un dérangement de la faune plus intense et accentuer les risques de tensions voire de conflits d'usages avec l'activité pastorale.

Faune et écosystèmes forestiers

En lien avec la diminution de l'enneigement en hiver et d'une moindre chaleur en altitude l'été, le changement climatique conduirait à un accroissement de la répartition spatiale de l'abrutissement par la faune sauvage. Cela est susceptible d'accentuer une perturbation du renouvellement forestier déjà constatée, à des altitudes où les dynamiques spontanées de régénération sont plus lentes (technicienne forestière et ingénieure, CRPF AURA ; technicien forestier territorial ONF Isère).

Biodiversité et pastoralisme

Favorisé par les sécheresses, une charge pastorale trop élevée et la hausse des températures, le surpâturage est susceptible d'accentuer la banalisation des pelouses acidophiles et de perturber les cortèges faunistiques associés. Les risques de transmission de maladies et de pathogènes entre la faune sauvage et les troupeaux domestiques seraient augmentés sous l'effet du changement climatique. La rencontre entre ces deux groupes semblerait favorisée par la fonte précoce du manteau neigeux au printemps et la recherche de zones fraîches en été.

Écosystème forestier et aléas gravitaires

L'état futur des flancs du synclinal perché dépendra de la réponse des écosystèmes forestiers face au changement climatique. Une généralisation des dépérissements entraînerait une érosion accentuée du versant par les éboulements et les fortes pluies. Au contraire, une progression des feuillus en altitude conduirait à une meilleure protection des versants face aux éboulements.

En somme, le socio-écosystème peut être affecté positivement, négativement ou de façon neutre par le changement climatique. Les perceptions des impacts de l'évolution du climat varient selon les points de vues et nourrissent la défense d'intérêts qui co-existent et qui s'articulent de façon contrastée au sein de l'aire protégée : protection de la nature, production de viande, récolte de bois et besoin de récréation. Les opportunités pour certains éléments du socio-écosystème peuvent constituer des sources de vulnérabilités pour d'autres.

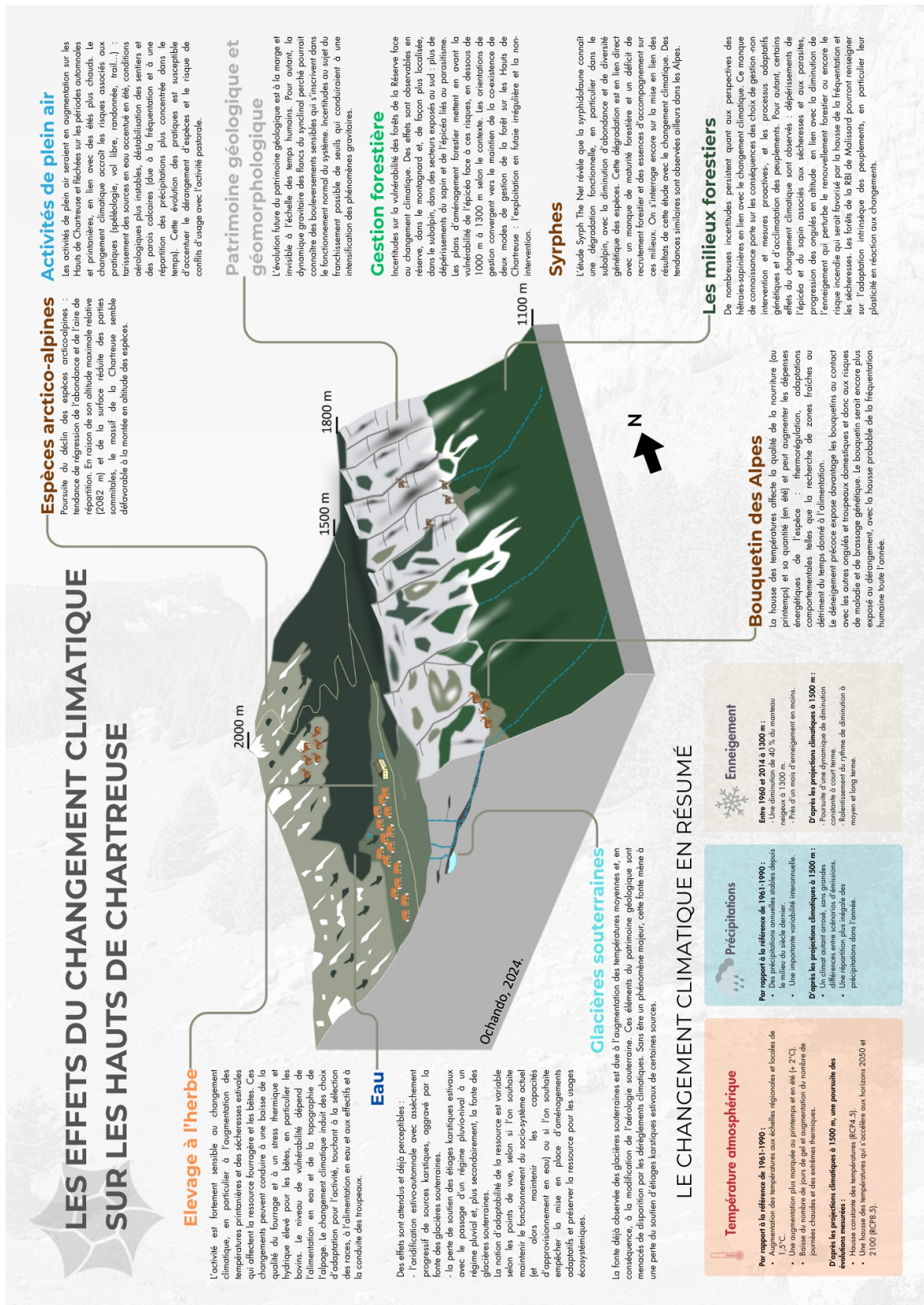


Figure 29 : Synthèse des effets du changement climatique sur les Hauts de Chartreuse.

4.3. Les outils et moyens de gestion de la Réserve : des enjeux clés pour penser l'adaptation

Au regard des résultats issus de l'analyse de vulnérabilité et d'opportunité, il convient d'essayer de se projeter sur le rôle de la RNNHC et le devenir de ses principaux outils et moyens de gestion dans ce contexte de changements globaux.

4.3.1. Les vulnérabilités et les opportunités des moyens de gestion face au changement climatique

Pour analyser les vulnérabilités des capacités d'actions de la RNNHC face au changement climatique, les principales missions réalisées en interne et avec des partenaires sont abordées :

- La mission de surveillance.
- Les suivis scientifiques.
- La mission d'éducation et de sensibilisation à la nature (ESN).
- Une orientation de gestion promue par la RNNHC : la non-intervention.

Face à un étalement dans l'année déjà constaté des pressions anthropiques, une vigilance devra être portée sur l'allongement de la « bonne saison » dans le cadre de la mission de surveillance. La pression de surveillance devrait être accrue lors des périodes d'intersaison, pointées par les acteurs du tourisme comme plus viables pour le déroulement des activités touristiques et sportives. Pour autant, cette hausse de la fréquentation ne suppose pas un sur-tourisme sur l'ensemble du site, en lien avec la progression de l'ancrage territorial de la réglementation et de la sensibilisation à la nature auprès d'un nouveau public.

Le contexte de changement climatique apparaît comme une opportunité au développement de nouveaux outils de vulgarisation qui mobiliseraient les travaux scientifiques disponibles sur la question du climat et à la conception d'événements ouverts au grand public (réunions publiques, festivals, groupes de travail, etc.). Identifiés comme acteurs pédagogiques à l'échelle locale, la RNNHC et le PNRC gagneraient à être identifiés comme acteurs de la question climatique, de par leur nature d'aire protégée. Cela implique en amont de forger une culture commune du changement climatique en interne et de produire un DVO à l'échelle du PNRC. Voués à être diffusés auprès du public et des organismes partenaires, les DVO alimenteront les réponses aux demandes adressées au PNRC et à la RNNHC et enrichiront les dialogues d'un socle de connaissances scientifiques générales appliqué au contexte territorial. De la même manière, le contexte de changement climatique peut être perçu comme une opportunité au développement et à la poursuite des suivis scientifiques axés sur la question. Le devenir des conditions de terrain pour les suivis serait néanmoins contrasté. La période clémente allongée facilite l'accès au site tout au long de l'année, mais le constat d'un accroissement des risques naturels dans les réseaux souterrains et sur certaines portions du territoire (pas de la Porte et face nord du Mont Granier interdits d'accès depuis les effondrements de 2016) est partagé par l'ensemble des répondants

scientifiques. Dans ce contexte, la disponibilité d'espaces naturels dépourvus d'une gestion active constitue une opportunité forte pour les suivis scientifiques.

La non-intervention humaine renvoie à laisser en libre évolution les milieux naturels. Sur les Hauts de Chartreuse, cette orientation de gestion concerne les deux RBI (Malissard et Aulp du Seuil) et, sans cadre réglementaire, les forêts subalpines situées dans le pli du synclinal et les anciens alpages de la Dent de Crolles et du Mont Granier. Dans le contexte du changement climatique, l'intérêt scientifique des dynamiques spontanées est important dans la mesure où elles renseignent sur la capacité d'adaptation intrinsèque des écosystèmes. La vulnérabilité de ce mode de gestion semble moyenne au regard des potentielles réflexions et demandes sur l'ouverture de milieux, pour le pâturage, le maintien de l'état écologique du bas marais alcalin et l'atténuation du risque incendie. La RNNHC et les organismes partenaires doivent se donner les moyens de bien suivre ces évolutions spontanées pour une gestion adaptative et argumentée suivant le type de milieu et la particularité de son contexte. À long-terme et en lien avec ces enjeux, la question de l'acceptation sociale en lien avec la fermeture de certains paysages se posera.

Finalement, le principal effet du changement climatique sur les outils et moyens de gestion de la RNNHC est l'introduction d'une nécessité à mieux connaître ses impacts globaux et locaux et à diffuser des informations auprès du public, en l'état des connaissances actuelles.

4.3.2. Le rôle de la RNNHC dans l'adaptation du territoire

Avant d'essayer de cerner le rôle de la RNNHC en tant que structure d'aire protégée dans le contexte de l'adaptation, il convient de rappeler que d'autres changements environnementaux sont susceptibles d'affecter l'état actuel du site, plus ou moins indépendamment des modifications climatiques : érosion de la biodiversité, hausse de la fréquentation humaine, maintien ou modification des pratiques sylvicoles, pastorales et cynégétiques. C'est l'articulation de plusieurs sources de pressions, qui peuvent ou non s'alimenter entre elles, qui fait l'objet de toute l'attention de l'équipe de l'aire protégée.

Il s'agit à travers la figure 30 d'essayer de restituer cette articulation des sources de pressions et d'y associer les principaux effets du changement climatique. Le schéma restitue la sensibilité des objets d'analyse aux principaux paramètres climatiques et une partie des liens identifiés entre les composantes du patrimoine naturel, les activités socio-économiques et la gestion de la RNNHC. Certaines possibilités de tensions, que l'on pourrait attribuer aux effets du changement climatique, sont également représentées. Ces tensions probables seraient avant tout relatives à la gestion de la ressource en eau et à la fréquentation humaine du site.

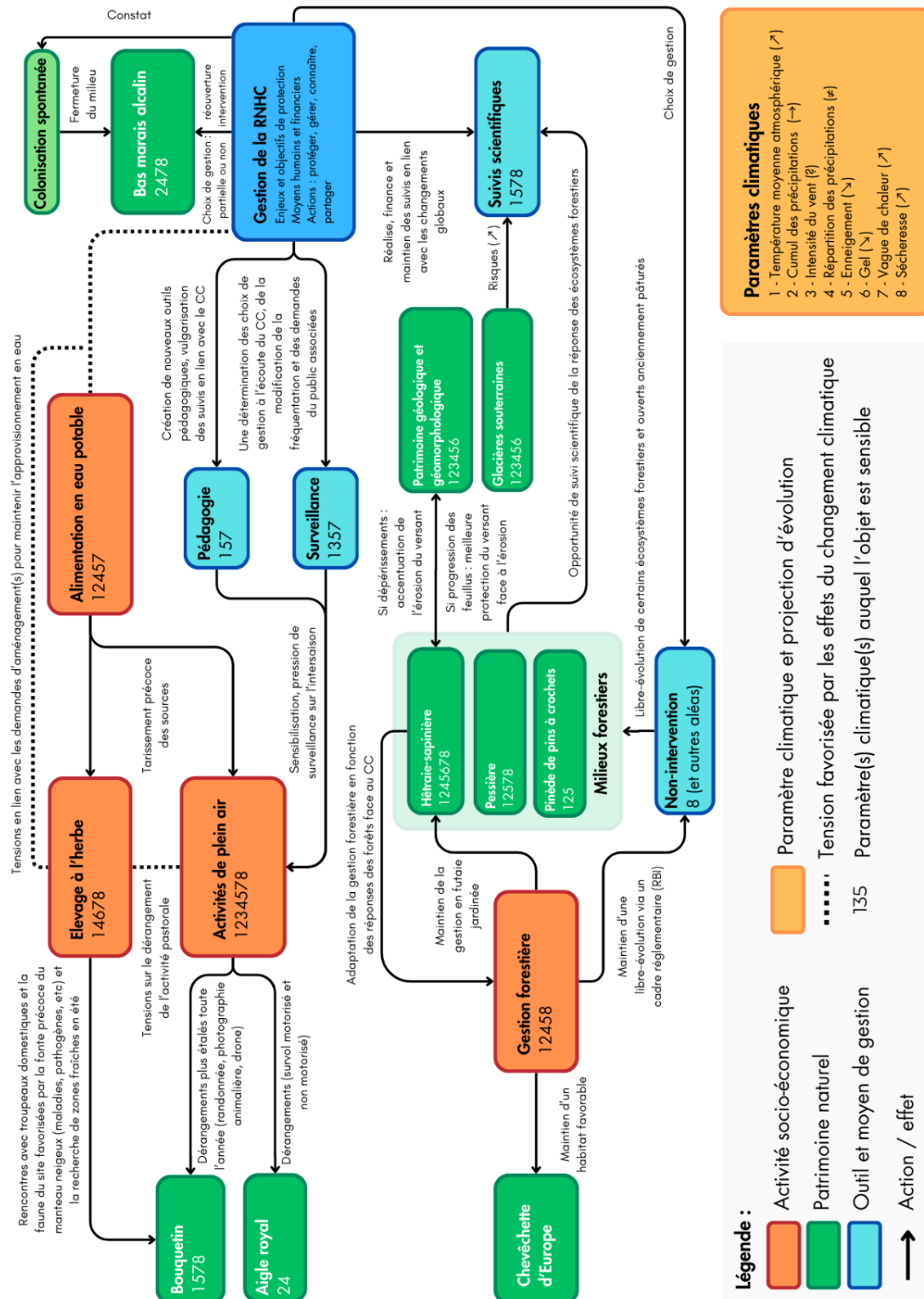


Figure 30 : Relations entre les composantes socio-écosystémiques et rôle de la Réserve face au changement climatique.

Dans la continuité des missions de surveillance, de pédagogie et de suivi scientifique menées, le rôle de la RNNHC serait de saisir ces nouvelles interrogations sur la conciliation des usages et les modalités de protection de la nature dans le contexte du changement climatique. Le discours de l'aire protégée auprès du public, de ses partenaires et des acteurs du site devrait intégrer plus encore la question climatique. En cela, les deux suivis scientifiques menés par la RNNHC et le DVO constituent une richesse à exploiter à court et moyen terme. Rigueur scientifique oblige, cette entrée du discours sur le changement climatique par les effets connus et mesurés ne devra pas occulter l'importante part d'incertitude quant aux réponses des composantes du patrimoine naturel.

Il ne s'agit donc pas de vouloir révolutionner les mesures de gestion, mais d'ajouter à celles existantes une vision intégrant le contexte climatique et ses potentiels effets (Coudurier *et al.*, 2023). Favorable aux pistes d'adaptation et au dialogue avec les acteurs du site, cette gestion adaptative éclairée est encouragée par le projet LNA. En somme, au regard des résultats du DVO et dans la continuité des missions menées, l'équipe de la RNNHC devra probablement :

- Anticiper les potentielles tensions dans le cadre de la conciliation des usages, en particulier autour de la ressource en eau et de la fréquentation touristique.
- Accroître la pression de surveillance lors des périodes d'intersaison et sur les entrées du site les plus fréquentées.
- Déterminer un discours au fait des enjeux, tenant compte des limites de l'état des connaissances, de l'évolution du milieu naturel, de la modification de la fréquentation et des nouvelles demandes du public.
- Créer de nouveaux outils pédagogiques et vulgariser les suivis scientifiques menés en lien avec le changement climatique.
- Suivre les réponses du patrimoine naturel et des activités socio-économiques face aux changements environnementaux, y compris climatiques.
- Maintenir son choix de la non-intervention et, en parallèle, se positionner sur la gestion du bas marais alcalin au regard de son contexte de fermeture tout à fait spécifique à l'échelle de la RNNHC.

5. Apports, limites et perspectives de la démarche

Cette partie est destinée à la prise de recul critique de la méthodologie employée et des résultats exposés précédemment. Cette discussion donne lieu à l'identification des apports et des limites de la mission du stage. Il s'agit de mettre en avant les acquis et les manquements dans le cadre de sa réalisation, en lien avec les choix méthodologiques et la formation du master TRENT. Il s'agit ensuite de formuler des pistes d'amélioration et d'envisager les perspectives de la mission réalisée en lien avec le contrat court qui suivra le stage.

5.1. Les apports et les limites de la méthodologie LIFE Natur'Adapt

5.1.1. Les clés méthodologiques transmises par les retours d'expériences

Le guide méthodologique (Coudurier *et al.*, 2023) et les autres supports de communication et de partage d'expériences du projet LNA renseignent sur les façons de mener la démarche et les biais associés. En cela, les retours d'expériences m'ont aidé à mieux cibler les objectifs et les connaissances à saisir pour le territoire diagnostiqué, et à tendre vers plus de justesse dans les choix méthodologiques. Ces clés méthodologiques se sont révélées cruciales lors de certains temps de la mission, en particulier durant les phases de cadrage, de récit climatique et de mobilisation des acteurs. Les démarches d'adaptation déjà menées renseignent notamment sur le risque de se perdre dans les données climatiques, sur la durée de la mobilisation des acteurs qu'il convient de ne pas sous-estimer et sur la complémentarité des étapes de la démarche. Bien qu'il y ait eu un cheminement à suivre lors de la réalisation du DVO (phase de cadrage, récit climatique, analyse d'objets puis récit prospectif), il figure que les différentes étapes se sont alimentées entre elles. Par exemple, l'analyse d'objets a nécessité la collecte de nouvelles données climatiques plus fines et a permis de revoir la phase de cadrage et d'éclaircir la liste d'objets selon différents critères méthodologiques : la faisabilité, la clarté, la pertinence, la disponibilité des informations, des personnes ressources et des données. En outre, la force de la méthodologie réside dans sa souplesse d'adaptation selon les contextes territoriaux et dans la qualité des retours d'expériences.

5.1.2. L'ajustement continu de l'approche « par objet »

Le territoire comme système complexe : l'apport du récit prospectif pour éviter l'approche en silo

L'approche par objet en elle-même comporte certaines limites, telles que le risque de porter une approche en silo, qui consisterait à étudier de façon séparée les effets du changement climatique sur les activités humaines, le patrimoine naturel et les outils et moyens de gestion. Si la force de la méthode d'analyse par objet est de permettre d'exposer en détail la vulnérabilité et

l'opportunité d'un objet face au changement climatique, celle-ci permet peu de mettre en avant des interactions complexes. C'est à travers la rédaction du récit prospectif que ces interactions ont pu être mieux comprises et appropriées d'un point de vue personnel. Au fil de la réalisation du diagnostic, l'objectif était d'essayer de porter au mieux un regard qui prenne en compte les interrelations entre le système social et le système naturel. Il s'agissait plus précisément d'appréhender la manière dont le changement climatique et d'autres changements environnementaux s'articulent au sein d'un même territoire. L'UE 703 *Diagnostic environnemental des territoires* m'a donné les clés pour saisir ces quelques interactions complexes et éviter de me perdre dans une approche en silo. Aussi, l'introduction du concept de *socio-écosystème* dans le cadre de l'UE 701 *Changements environnementaux et paysagers* et sa mobilisation appliquée au contexte des Hauts de Chartreuse dans le cadre du stage de master 1 m'ont permis d'aborder et d'orienter la mission du stage de master 2 dans ce sens-là.

À ce positionnement méthodologique s'est greffée tout au long du stage la compréhension de l'articulation entre le patrimoine naturel, les intérêts des acteurs socio-économiques du territoire et la mission de protection de la nature dans laquelle ce stage s'insère. Les effets du changement climatique exacerbent de toute part les prises de position et la défense d'intérêts parfois difficiles à articuler au sein d'un même territoire fragile : protection de la nature, production de viande, récolte de bois et besoin de récréation. Une identification plus fine de ces intérêts humains et de leurs motifs permettrait à la fois de mieux évaluer leur articulation au sein du territoire et d'anticiper de potentiels conflits.

Un travail itératif

Au fil du stage, l'approche par objet s'est révélée formatrice dans le sens où elle implique de questionner fréquemment la faisabilité et la pertinence de certains choix méthodologiques. Cela renvoie au temps disponible dans le cadre de la mission, à l'état des connaissances actuelles, au choix et à la disponibilité des acteurs sollicités.

Ces réflexions méthodologiques relèvent plus d'un travail collectif que d'un cheminement personnel. Les suggestions méthodologiques et bibliographiques de l'équipe de la RNNHC, des acteurs techniques et scientifiques à travers les questionnaires et les entretiens m'ont permis d'affiner la liste d'objets et de la rendre plus pertinente. Par exemple, il a été suggéré par une chargée d'environnement (ONF) d'aborder la gestion forestière plutôt que l'exploitation forestière, afin de poser une approche plus englobante sur l'activité sylvicole et les orientations de gestion en lien avec le changement climatique et d'autres paramètres environnementaux. Initialement intégrées à l'objet « Patrimoine géologique et géomorphologique », il a été question de traiter les glaciers souterrains comme objet à part entière. Cette modification méthodologique s'est faite suivant la suggestion d'un enseignant-chercheur (EDYTEM) en raison de la forte sensibilité des glaciers souterrains au changement climatique et des éléments de connaissance disponibles

dans la littérature de terrain. En raison de la durée du stage et de l'absence de certaines connaissances, quelques objets initialement sélectionnés pour l'analyse de vulnérabilité et d'opportunité ont dû être retirés ou bien traités avec d'autres objets. C'est le cas du lynx (*Lynx*), du chat forestier (*Felis sylvestris*), du risque incendie (traité à travers la *Gestion forestière*) et des risques gravitaires (traité avec le *Patrimoine géologique et géomorphologique*). Tout comme le choix des objets d'analyse, les appréciations de vulnérabilité et d'opportunité résultent également de choix personnels alimentés par la littérature et les réponses des acteurs sollicités.

Le caractère subjectif des appréciations de vulnérabilité et d'opportunité

Les appréciations de vulnérabilité et d'opportunité pour chaque objet sont justifiées par les dires d'experts, la bibliographie et la matrice Natur'Adapt (figure 17). Ces appréciations relèvent néanmoins d'un jugement subjectif de par leur caractère estimatif. Plus l'état des connaissances sur un sujet est avancé, plus l'appréciation de vulnérabilité et d'opportunité serait *a priori* fiable. La justesse des appréciations est alors fortement variable d'une thématique à l'autre. Ce traitement inégal des objets peut être lu à travers le contenu du récit prospectif, plus ou moins précis selon les éléments traités.

5.1.3. Parler climat : composer avec les incertitudes et l'état actuel des connaissances

Tout au long du stage, il s'agissait de prendre en compte et de faire ressortir les limites inhérentes au traitement du changement climatique : l'incertitude de modélisation du climat, les incertitudes et les certitudes sur la réponse du patrimoine naturel, la part et la vigueur des effets du climat sur le socio-écosystème et l'avancement de l'état des connaissances scientifiques.

L'incertitude de simulation du climat

Constituant la base du DVO, le récit du climat futur s'appuie sur des données modélisées à l'échelle du massif par des modèles climatiques. À la différence des modèles de prévisions météorologiques, les modèles climatiques ne sont pas corrigés via des observations directes. Cela remet en doute la fiabilité de ces modèles qui créent leurs propres conditions initiales. Celles-ci sont vouées à évoluer selon des calculs imitant les lois de la physique atmosphérique et océanique (Badin, Delbecq et Demarthon, 2014). La variabilité des méthodologies de modélisation explique la nécessité de comparer les modèles entre eux (Aforce ; Coudurier *et al.*, 2023) et la prudence à avoir lorsque l'on relate « un » récit climatique.

Incertitudes et certitudes sur les réponses du socio-écosystème face au changement climatique

Afin de porter une certaine prudence sur les certitudes et les incertitudes dans le DVO, il a été question de s'inspirer de la façon dont les récits prospectifs sont rédigés par leurs auteurs : usage

du conditionnel, rappel et distinction des certitudes, des incertitudes et des limites associées à l'état des connaissances et aux dires d'experts. C'est en raison de la méconnaissance des réponses du système naturel que la réalisation d'une étude particulièrement détaillée du climat n'était pas indispensable (Coudurier *et al.*, 2023). Les auteurs du guide méthodologique Natur'Adapt mentionnent à de nombreuses reprises la nécessité de positionner un curseur sur la portée et la précision du diagnostic : « Par exemple, les connaissances actuelles ne permettent pas de savoir si une augmentation locale de +2.2 °C ou +2.5 °C fait une différence importante en termes de vulnérabilité pour la plupart des espèces. L'essentiel est donc de comprendre les tendances d'évolution climatique et comment cela va impacter les êtres vivants (décalage de phénologie, physiologie, etc.), dans les grandes lignes. ». (Coudurier *et al.*, 2023, p. 28).

La portée du DVO : affirmer le risque climatique sur le territoire de l'aire protégée

Si elle est largement soulignée tout au long du DVO en cours de finalisation, cette part d'incertitude liée aux modèles et à la méconnaissance des réponses des écosystèmes ne doit pas masquer la certitude d'un risque climatique (Badin, Delbecq et Demarthon, 2014). Face à ce contexte, l'intérêt du récit prospectif est de rappeler ce risque, de rassembler les éléments de connaissance disponibles pour le justifier, tout en rappelant la persistance de certaines incertitudes. Les supports produits et intégrés au DVO dans le cadre de ce stage permettent de dégager des tendances générales dont la précision varie au gré des sujets, selon l'état des connaissances actuelles et le temps alloué à l'étude de chacun d'eux. C'est une fois que ces supports seront partagés qu'une réflexion plus collective émergera de ce travail de stage.

5.2. La mobilisation des acteurs locaux : acquis, difficultés et perspectives

5.2.1. Aspects facilitant lors de la mobilisation d'acteurs

Acquises lors de la licence et du master GAED, les méthodologies d'entretien et de questionnaire m'ont servi lors de la mobilisation des acteurs. Cela a été le cas pour adapter les questionnaires d'une des démarches LNA (Lochon, 2021) au contexte des Hauts de Chartreuse et pour produire des grilles d'entretien destinées à saisir les dires d'experts sur des sujets précis. Au-delà d'un simple support de centralisation des connaissances des experts locaux, les deux questionnaires ont permis de diffuser le lancement de la démarche et de faire ressortir des différences et des convergences dans les perceptions individuelles des effets du changement climatique. Par exemple, l'analyse des réponses des acteurs du tourisme a permis de révéler la convergence des perceptions individuelles sur le devenir des activités touristiques à l'horizon 2050 et une divergence marquée des avis sur le degré de capacité d'adaptation (faible, moyenne ou forte). En parallèle, l'UE 902 *Systèmes d'acteurs* m'a servie lors de l'analyse de discours,

notamment pour essayer de saisir au mieux les différents intérêts défendus face au contexte et de comprendre leur articulation. L'apport de ces enseignements s'est également illustré lors de la saisie du degré d'engagement des acteurs dans la transition écologique suivant les discours, l'identification des orientations de gestion formulées (forestière, pastorale, touristique, de protection de la nature) et leur positionnement dans un ou plusieurs paradigmes.

5.2.2. Aspects limitant lors de la mobilisation d'acteurs

Un des aspects limitant lors de la conduite des entretiens était le besoin d'être renseigné au préalable sur un large panel de sujets dans un temps trop limité pour mieux cibler les questions à poser. Par exemple, ma base de connaissance du système pastoral en place était insuffisante, dans le sens où elle se concentrait uniquement sur les effets du changement climatique sur l'eau, la végétation et les bêtes et ne prenait pas en compte d'autres sujets clés qui gravitent autour de l'activité : prédation, liens entre plaine et estive, désavantages concurrentiels, etc. Dans d'autres cas, certains entretiens se sont révélés peu fructueux, car ils ne permettaient pas d'obtenir des informations supplémentaires à celles collectées à travers la littérature de terrain. Aussi, le choix et le nombre relativement restreint des acteurs interrogés relève d'une sous-estimation du temps nécessaire au passage et à l'analyse des entretiens lors de la période de stage. C'est particulièrement le cas dans le cadre de la mobilisation des acteurs pastoraux. Cette mobilisation a été peu fructueuse puisqu'elle s'est déroulée de fin juin à début août, période à laquelle les acteurs pastoraux sont le plus occupés au cours de l'année (transhumance, récolte des foin, prédation, etc.). À cela s'ajoute la réticence de certains acteurs vis-à-vis de la RNNHC, notamment à travers la crainte formulée par l'un des acteurs sollicités que la transmission d'une expertise de terrain puisse alimenter un discours pouvant nuire à l'activité d'élevage.

Les questionnaires se prêtaient mieux à la sollicitation des acteurs et à la récolte de données. Ceux-ci permettaient plus de souplesse pour les acteurs, qui pouvaient répondre dans un délai de plus d'un mois après le premier envoi du formulaire en ligne. C'était aussi un moyen d'interroger une diversité d'acteurs au travers d'une grille d'analyse commune à tous les objets. C'est aussi par ce biais que le lancement de la démarche et une synthèse du récit climatique ont pu être partagés avec près d'une centaine de contacts à l'échelle du PNRC et des agglomérations environnantes.

5.3. Perspectives : vers la finalisation du DVO et l'animation de la démarche

Finalisation, pistes d'amélioration et animation de la démarche

La poursuite de la démarche est envisagée dans le cadre d'un contrat court de 3 mois dédié à la finalisation du DVO et à la valorisation de la démarche auprès des acteurs locaux. La finalisation du DVO consiste en la réalisation d'entretiens sur des sujets insuffisamment traités et/ou à approfondir en l'état des connaissances actuelles. C'est le cas pour les deux principaux

habitats ouverts du site (représentés par les objets *Pelouse calcicole* et *Pelouse acidiphile des pâturages*) et l'activité pastorale dont l'analyse de vulnérabilité pourrait être affinée à l'échelle de l'alpage et enrichie d'entretiens supplémentaires. Il conviendrait également de poursuivre la recherche de données climatiques afin d'uniformiser le récit du climat passé. En effet, les périodes de normales climatiques sont différentes suivant les paramètres (figure 15, p. 37), ce qui peut rendre difficile la compréhension des évolutions contemporaines du climat.

La poursuite de la mission concerne également la finalisation du livrable, à travers l'ajout d'informations supplémentaires et la réalisation d'une mise en page finale. Il s'agira ensuite de valoriser la démarche Natur'Adapt auprès des acteurs mobilisés en priorité et à un public plus élargi dans un second temps. En parallèle, il sera question de valoriser l'étude diachronique réalisée dans le cadre du stage du master 1 GAED (2023). En somme, l'objectif est de transmettre des connaissances sur le changement climatique et l'évolution des milieux via des supports écrits et des moments de présentation et d'échanges destinés à une variété de publics : document de communication synthétique, diagnostic de vulnérabilité, participation à des fresques du climat et de la montagne, organisation de webinaires, et de groupes de travail pour diffuser la connaissance, lancer des échanges et réfléchir collectivement à l'adaptation.

Vers une culture commune du changement climatique PNRC / RNNHC

Lors du stage, j'ai assisté à la formation *Changement climatique en montagne*¹³ organisée par le réseau NSE (Nature, Sciences, Environnement) au Jardin du Lautaret (Hautes-Alpes). Celle-ci a alimenté une réflexion en interne au sein de la structure d'accueil du stage (PNRC/RNNHC). Les apports de cette formation sont les rappels théoriques sur les changements climatiques passé et moderne et la richesse des échanges avec une diversité de professionnels soucieux du contexte climatique.

La nécessité de bâtir une culture et un discours communs sur le changement climatique et ses effets au sein du PNRC et de la RNNHC s'est posée au fil des échanges à propos de la formation avec l'équipe. Des éléments de connaissances de base sur le changement climatique ont été transmis auprès de l'équipe lors d'un Café Parc¹⁴ organisé par Lucien Garavel (stagiaire sur la gestion concertée de l'eau à la mission BAP – AgroParisTech Montpellier) et moi-même. Des pistes d'actions ont été partagées auprès des agents, telles que la réalisation d'un DVO à l'échelle du PNRC. En cela, la perspective de la mission de stage s'insère dans cette réflexion sur un discours commun et la mise en relation des domaines de compétence, qui se poursuivra lors du contrat court avec la diffusion des résultats du DVO de la RNNHC auprès de l'équipe du PNRC.

13 La première demi-journée de la formation consistait en un cours sur le changement climatique et ses effets sur les territoires de montagne et la seconde reposait sur un exercice de récit suivi d'échanges avec les autres professionnels présents.

14 Moment de discussion hebdomadaire organisé en interne et à tour de rôle par au moins deux agents du PNRC et de la RNNHC.

Conclusion

Le changement climatique d'origine anthropique modifie les paramètres climatiques du massif de la Chartreuse. Sur la période 1991-2020, la température moyenne a augmenté de plus de 1,5 °C et la répartition des précipitations est devenue plus variable par rapport à la période 1961-1990. Sur ce même pas de temps de comparaison, à 1325 m d'altitude, l'épaisseur du manteau neigeux a réduit de 30 à 40 %. D'après les projections climatiques aux horizons proche, moyen et lointain, ces dynamiques mesurées tendraient à se poursuivre. Dans la continuité de ce qui est déjà observé, les changements climatiques les plus nets concerneraient l'augmentation des températures et la diminution de l'enneigement. Les trajectoires d'évolution de ces paramètres seraient plus marquées à mesure que l'on monte en altitude et varieraient fortement selon le scénario d'émissions de gaz à effets de serre.

Ces évolutions climatiques et les aléas associés font émerger des vulnérabilités chez les principales composantes socio-écosystémiques du site. La disponibilité de la ressource en eau est menacée par le tarissement précoce de certaines sources en été, ce qui peut accentuer des déséquilibres entre les usages écosystémiques et humains. La forte variabilité des conditions météorologiques d'une année à l'autre sort peu à peu du domaine de flexibilité des éleveurs et les forêts seraient exposées de façon accentuée aux sécheresses et plus sensibles à l'attaque de parasites. De façon moins importante, des opportunités peuvent émerger du fait du changement climatique. Déjà constaté, l'allongement de la période clémente dans l'année est favorable aux suivis scientifiques, aux activités de plein air et à la remontée partielle de certaines espèces faunistiques en altitude. Cependant, les opportunités pour certains éléments du socio-écosystème peuvent devenir des sources de vulnérabilités pour d'autres. L'accès facilité aux Hauts de Chartreuse pour le public en hiver et la concentration de la fréquentation touristique vers les périodes d'intersaison sont susceptibles d'accentuer le dérangement des espèces. En lien avec la diminution de l'enneigement en hiver et la recherche de zones fraîches en été, la remontée de certains herbivores en altitude pourrait altérer le renouvellement des peuplements forestiers d'altitude. Les effets du changement climatique doivent alors être croisés avec les autres sources de pressions locales sur le patrimoine naturel : la fréquentation touristique, les pratiques agricoles, la gestion forestière et la gestion cynégétique. En réaction aux effets du changement climatique et motivés par des intérêts parfois divergents, les choix de société seront à la source de l'évolution de ces pressions multiples.

La mission du stage s'inscrit dans la montée en compétence de la RNNHC sur la question du changement climatique et permet au gestionnaire de se projeter sur les trajectoires des activités humaines, du patrimoine naturel et des moyens de gestion face à ce contexte. Eux-mêmes sensibles aux évolutions climatiques, les outils et moyens de gestion devraient connaître des modifications. Celles-ci se manifesteraient par un accroissement de la pression de surveillance lors des périodes d'intersaison ou encore à travers la création de nouveaux outils pédagogiques en lien

avec le changement climatique. Envisagées à court, moyen et long terme, les trajectoires des éléments étudiés restent teintées d'incertitudes et la justesse de leur projection varie suivant l'état des connaissances. Dans la continuité de cette mission, la finalisation du DVO et son partage sous différentes formes auprès de l'équipe de la RNNHC et du PNRC, des acteurs mobilisés et du public sont envisagés dans le cadre d'un contrat court.

Bibliographie

Articles et ouvrages scientifiques

Aublet, J.-F., Festa-Bianchet, M., Bergero, D. & Bassano, B. (2009). « Temperature constraints on foraging behaviour of male Alpine ibex (*Capra ibex*) in summer ». *Oecologia* 159: 237-247.

Bailly, J. (2016). « Étude de la structure génétique de la population de lièvres de l'étage subalpin en Chartreuse ». Réserve Naturelle des Hauts de Chartreuse, objectif SE31 du plan de gestion « Évaluer le statut actuel du lièvre variable », 7 p.

Beede and Collier. (1986). « Potential Nutritional Strategies for Intensively Managed Cattle during Thermal Stress ». *Journal of Animal Science*, 62 (2). pp. 543-554.

Cailhol, T. et Franzi, V. (2021). « Étude du glacier souterrain du gouffre Alain Daniel : résultats préliminaires ». Furets Jaunes de Seyssins (FJS), Fédération Française de Spéléologie.

Clayton, S., Manning, C. (2018). « Introduction : Psychology and climate change », in Clayton S., Manning C. (eds), *Psychology and climate change. Human Perceptions, Impacts, and Responses*. Academic Press, Elsevier, pp. 1-10.

Collier *et al.* (2018). « Heat stress : physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 9 (1). pp. 12-19.

Crouzat, E., Dodier, H., Loucougaray, G., Lavorel, S., Grigulis, K. (2021). « Effets du changement climatique sur les végétations d'alpages : des clés pour comprendre ». INRAe, LECA (réseau Alpes Sentinelles). [Alpages-Sentinelles_2021_Effets-CC-vegetations-alpage_web2.pdf](#)

David, B. (2021). *A l'aube de la 6^e extinction*. Éditions Grasset. 256 p.

De Danieli, C. et Sarasa, C. (2015). « Population estimates, density–dependence and the risk of disease outbreaks in the Alpine ibex *Capra ibex* ». *Animal Biodiversity and Conservation*, 38.1. (http://abc.museocienciasjournals.cat/files/ABC_38-1_pp_101-119.pdf).

Deléglise, D., Dodier, H., Garde, L., François, H., Arpin, I., and Baptiste Nettier, B. (2019). "A Method for Diagnosing Summer Mountain Pastures' Vulnerability to Climate Change, Developed in the French Alps," *Mountain Research and Development* 39(2), D27-D41 <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-18-00077.1>

Díaz, S. *et al.* (2019). « Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. ». IPBES. 56 p. [ipbes-global-assessment-report-summary-for-policymakers.pdf](https://ipbes.net/global-assessment-report-summary-for-policymakers.pdf) (chm-cbd.net)

Drique, M. & Lejeune, C. (2017). La justice sociale à l'épreuve de la crise écologique. *Revue d'éthique et de théologie morale*, 293, 111-124. <https://doi.org/10.3917/retm.293.0111>

Dumas, D. (2011). « Impact de la forêt sur l'évolution des ressources en eau en moyenne montagne alpine depuis le milieu du XIXe siècle (massif de Chartreuse, France) », *Revue de géographie alpine*, 99-3 | 2011, 16 p. <http://journals.openedition.org/rga/1555>

Heller, N. E., and Zavaleta. E. S. (2009). « Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations ». *Biological Conservation* 142:14–32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>

IPCC. (2023). Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Labonne, S., Cordonnier, T., Kunstler, G. & Fuhr, M. (2019). « Forêts de montagne et changement climatique : impacts et adaptations ». *Sciences Eaux & Territoires* n°28, 38-43. <https://doi.org/10.3917/set.028.0038>

Lagadeuc, Y. et Chenorkian, R. (2009). Les systèmes socio-écologiques : vers une approche spatiale et temporelle. *Natures Sciences Sociétés*, 17, pp. 194-196.

Langridge J., Sordello R., Reyjol Y. (2020). Synthèse des mesures possibles pour favoriser l'adaptation de la biodiversité au changement climatique basée sur Prober *et al.* (2019) et Heller & Zavaleta (2009). LIFE NaturAdapt - Rapport de l'UMS Patrinat (MNHN, CNRS, OFB). 24 p. [get \(naturadapt.com\)](https://naturadapt.com)

Lecomte J. (1999). « Réflexions sur la naturalité ». *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 37, pp. 5-10 .

Lenoir, J. (2009). Impacts d'un réchauffement rapide du climat sur la distribution des espèces végétales forestières le long du gradient d'altitude. Thèse de doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), 283 p.

Matiu, M. *et al.* (2021). « Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019 ». *The Cryosphere*, 15, pp. 1343–1382. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021>

Morin, S. (2022). « Les enjeux transverses du changement climatique en montagne. Dans : Morin, S. « Les enjeux transverses du changement climatique en montagne ». *FONTAINE : Presses universitaires de Grenoble*, pp. 1-9. [Les enjeux transverses du changement climatique en montagne | Cairn.info](https:// Cairn.info)

Toïgo, C. Couilloud, F., Maillard, D. (2016). « Réchauffement climatique et performance chez le bouquetin des Alpes ». *Faune Sauvage*, N°312. [Faune sauvage 312 Réchauffement climatique et performance du bouquetin \(ofb.fr\)](https:// Faune sauvage 312 Réchauffement climatique et performance du bouquetin (ofb.fr))

Parrod, C., George, E., Chaix, C. & Vincenti, S. (2020). « Vulnérabilité et adaptation aux effets du changement climatique dans le Haut-Chablais : enseignements d’une démarche d’accompagnement. » *Sciences Eaux & Territoires*, -, 1g-7. <https://doi.org/10.3917/set.hs1.0001g>.

Petit, S., Vergote, M-H., Young, J., et Henrion, G. (2023). « Éleveur face au changement climatique, un travail qui devient précaire ». *Carnets de géographes*, n°17, 17 p. <https://doi.org/10.4000/cdg.8718>

Prober, S. M. Doerr, V. A. J. Broadhurst, L. M. Williams, K. J. and Dickson, F. (2019). « Shifting the conservation paradigm: a synthesis of options for renovating nature under climate change ». *Ecological Monographs*. 89(1):e01333. <https://doi.org/10.1002/ecm.1333>

Prunier, P., Boissezon (Eds.). (2017). « Du Reculet aux sommets alpins: quels changements sur les crêtes ? », Actes du colloque scientifique Reculet, Gex, mars 2016. Les cahiers de la Réserve naturelle n° 1, Réserve naturelle nationale de la Haute Chaîne du Jura. 172 p. <https://www.rnnhautechainedujura.fr/composants/uploads/2017/03/Actes-ERCN-version-finale.pdf>

Rome, Shan Li, S. Bigot, S. (2013). « Les extrêmes thermiques dans les Pré-alpes françaises : évolutions présentes (1961-90) et futures (de 2021 à 2100). Évènements climatiques extrêmes et leurs impacts ». XXVI^e colloque de l’Association Internationale de Climatologie (Bénin). pp.445-451. Ffhalshs-00907810

Schnitzler, A. Génot, J.-C. Wintz, M. (2008). « Espaces protégés : de la gestion conservatoire vers la non-intervention ». *Courrier de l’environnement de l’INRA* n°56. pp. 29-43. [C56livre091208-bialec.indb \(hal.science\)](https:// C56livre091208-bialec.indb (hal.science))

Séauve, L. (2023). *Le changement climatique, nouveau défi de gestion des aires protégées Le cas de la Réserve Naturelle Régionale du Massif du Montious*. Mémoire de Master 1, Université de Toulouse 2 - Jean Jaurès. 74 p. b04699799cbca1c01c86fbc9c2deef29cede311.pdf (univ-tlse2.fr)

Theurillat, JP., Guisan. (2001). « A. Potential Impact of Climate Change on Vegetation in the European Alps: A Review ». *Climatic Change*, 50, pp. 77–109.

Vitasse, Y., Ursenbacher, S., Klein, G., Bohnenstengel, T., Chittaro, Y., Delestrade, A., Monnerat, C., Rebetez, M., Rixen, C., Strebel, N., Schmidt, B.R., Wipf, S., Wohlgemuth, T., Yoccoz, N.G. and Lenoir, J. (2021). « Phenological and elevational shifts of plants, animals and fungi under climate change in the European Alps. ». *Biological Reviews*, 19 p. <https://doi.org/10.1111/brv.12727>

Documents de gestion et institutionnels

Bailly, J., Foret S., Gardet, P., et Muraz, S. (2017). Plan de gestion de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse, 2018-2027. [Le Plan de Gestion - PNR Chartreuse \(parc-chartreuse.net\)](https://parc-chartreuse.net)

Ministère de l'environnement. (1997). « Décret n°97-905 du 1 octobre 1997 portant création de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse (Isère et Savoie) ». [Décret n° 97-905 du 01/10/97 portant création de la réserve naturelle des Hauts de Chartreuse \(Isère et Savoie\) \(ineris.fr\)](https://www.ineris.fr/fr/decree/97-905-du-01-10-1997-portant-creation-de-la-reserve-naturelle-des-hauts-de-chartreuse-isere-et-savoie)
Consulté le 06/06/24.

ONF Isère. (2023). Document d'aménagement forestier 2024-2043 – Forêt de la Grande Chartreuse (38).

Diagnostics de vulnérabilité et rapports

ANEM. (2007). *Au-delà du changement climatique, les défis de l'avenir de la montagne*. Rapport au 23ème Congrès de l'Association Nationale des Élus de Montagne, 25 octobre 2007, 108 p.

Coudurier, C. et al. (2023). « Démarche d'adaptation au changement climatique Natur'Adapt – Guide méthodologique d'élaboration d'un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité et d'un plan d'adaptation à l'échelle d'une aire protégée ». LIFE Natur'Adapt – Réserves Naturelles de France. 70 p. [get \(naturadapt.com\)](https://naturadapt.com)

Dané, J. (2021). Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité face au changement climatique de la Réserve naturelle nationale de Sixt-Fer-à-Cheval / Passy – Projet Life Natur'Adapt, 79 p. [get \(naturadapt.com\)](https://naturadapt.com)

Héas, K. (2020). Projet LIFE Natur'Adapt : Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité face au changement climatique sur la Réserve Naturelle Nationale de la forêt de la Massane. Réserves naturelles Catalanes. 89 p. [get \(naturadapt.com\)](http://get.naturadapt.com)

INRAe-LESSEM. (02/07/2024). Compte rendu conférence : « Forêt et Changement climatique ». 4 p.

L'OBS'y. (2019). « Étude sur l'environnement à l'heure de la transition écologique. » 56 p. [RCsport-v9 \(adobe.com\)](http://RCsport-v9.adobe.com)

Lochon, I. (2021). « Projet LIFE Natur'Adapt : Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité face au changement climatique sur la Réserve Naturelle Nationale Chastreix-Sancy », Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. 60 p. [get \(naturadapt.com\)](http://get.naturadapt.com)

ONERC. (2008). « Changement climatiques dans les Alpes : impacts et risques naturels. ». Rapport Technique N°1 de l'ONERC, 100 p.

Parc national de la Vanoise. (2021). Fiche « Le bouquetin des Alpes et le changement climatique ». <https://www.vanoise-parcnational.fr/sites/vanoise-parcnational.fr/files/2024-03/Le%20bouquetin%20des%20Alpes%20et%20le%20changement%20climatique.pdf>

Parc naturel régional de Chartreuse. (2021). Livret Conseil Scientifique commun Parc/Réserve. [livret_Cosci_mars_2021_BD.pdf \(parc-chartreuse.net\)](http://livret_Cosci_mars_2021_BD.pdf)

Réseau des Alpagnes Sentinelles. (2016). « Recueil, comparaison et analyse des données pastorales récoltées par la Fédération des Alpagnes de l'Isère durant les saisons d'estive de 2013-2016 : alpage de l'alpette de Chapareillan ». 14 p.

Réseau des Alpagnes Sentinelles. (2016). « Recueil, comparaison et analyse des données pastorales récoltées par la Fédération des Alpagnes de l'Isère durant les saisons d'estive de 2013-2016 : alpage du col du Coq ». 26 p.

The Shift Project. (2022). *Les Cahiers territoriaux, résilience des territoires. Montagnes*. éd. Yves Michel, 4 p.

Documentation en ligne

Aforce (Plateforme ClimEssences). « Les modèles climatiques ». Consulté le 07/08/2024. [Les modèles climatiques | ClimEssences](#)

Alpes Sentinelles. « Les adaptations des conduites pastorales ». Consulté le 12/08/2024. [Les adaptations des conduites pastorales | Alpages Sentinelles \(alpages-sentinelles.fr\)](https://alpages-sentinelles.fr)

Atelier d'écologie politique. (2019). « L'âge de l'Anthropocène, des origines aux effondrements ». *Atelier d'ÉCOlogie POLitique*. 72 min. Consulté le 19/06/2024. <https://doi.org/10.58079/d1tt>

Badin, E., Delbecq, D., Demarthon, F. (2014). « Changement climatique : évidences et incertitudes ». CNRS Le journal. Consulté le 02/08/2024. [Changement climatique : évidences et incertitudes | CNRS Le journal](https://www.cnrs-lejournal.fr)

CNRM UMR 3589. « Col de Porte – Climatologie hivernale 1960 - 2013 ». [CdP - Climatologie hivernale 1960- 2013 - Centre National de Recherches Météorologiques \(umr-cnrm.fr\)](https://www.cnr.fr)

Commission européenne. « Conséquences du changement climatique ». Énergie, changement climatique, environnement. Consulté le 14/08/2024. [Conséquences du changement climatique - Commission européenne \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/clima)

Cossard, E. (2018). « Biostasie, rhexistasie ». *Géoconfluences*. Glossaire. Consulté le 05/08/2024. [Biostasie, rhexistasie — Géoconfluences \(ens-lyon.fr\)](https://www.geoconfluences.org)

INSEE. « Dossier complet – Commune de Chambéry ». Consulté le 06/06/2024. [Dossier complet – Commune de Chambéry \(73065\) | Insee](https://www.insee.fr).

INSEE. « Dossier complet – Commune de Grenoble ». Consulté le 06/06/2024. [Dossier complet – Commune de Grenoble \(38185\) | Insee](https://www.insee.fr).

INSEE. « Dossier complet – Commune de Voiron ». Consulté le 06/06/2024. [Dossier complet – Commune de Voiron \(38563\) | Insee](https://www.insee.fr).

LIFE Natur'Adapt. « A propos du projet LIFE Natur'Adapt ». Consulté le 29/04/2024. [03. A propos du projet LIFE Natur'Adapt - Communauté | LIFE Natur'Adapt \(naturadapt.com\)](https://www.naturadapt.com).

Météo France. (2020). « Le Col de Porte, témoin du changement climatique en montagne ». Consulté le 15/07/2024. [Le Col de Porte, témoin du changement climatique en montagne | Météo-France \(meteofrance.com\)](https://www.meteofrance.com).

Météo Suisse. « Isotherme du zéro degré ». Consulté le 29/05/2024. [Isotherme du zéro degré - MétéoSuisse \(admin.ch\)](https://www.admin.ch).

NOAA National Centers for Environmental Information. (2023). « Monthly Global Climate Report for Annual 2022. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213>.

Parc national des Écrins. (2016). « Indicateur de réchauffement dans les Alpes françaises ». Consulté le 01/07/2024. [Indicateur du réchauffement dans les Alpes françaises | Parc national des Ecrins \(ecrins-parcnational.fr\)](#).

Parc national des Écrins. « Nardaies et pratiques pastorales ». 2 p. [FICHES A4 \(ecrins-parcnational.fr\)](#)

Parc naturel régional de Chartreuse. « Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : les instances de concertation ». Consulté le 04/06/2024. [Les instances de concertation - PNR Chartreuse \(parc-chartreuse.net\)](#).

Réserves naturelles de France. « Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse ». Consulté le 04/06/2024. [Hauts de Chartreuse – Réserves Naturelles de France \(reserves-naturelles.org\)](#)

UICN France. « La libre évolution : une stratégie de gestion des milieux naturels à mieux connaître et à développer en France ». Consulté le 16/06/2024. [La libre évolution : une stratégie de gestion des milieux naturels à mieux connaître et développer en France - UICN France](#).

UNESCO. « Biodiversité et changement climatique ». Consulté le 29/08/2024. [Biodiversité et changement climatique | UNESCO](#)

University of Reading. « Climate Stripe : representing global temperature rise over two centuries ». Consulté le 29/05/2024. [Climate stripes - University of Reading](#).

Université Savoie Mont Blanc. (2021). « « Alpagnes volants », une opération pour étudier l'impact du changement climatique sur les sols de montagne ». Consulté le 05/07/2024. ["Alpagnes volants", une opération pour étudier l'impact du changement climatique sur les sols de montagne - Université Savoie Mont Blanc - Formation - Recherche \(univ-smb.fr\)](#).

Sitographie

Centre de Ressources pour l'adaptation au changement climatique. Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires. [Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique, agissez et prenez l'initiative pour votre territoire \(adaptation-changement-climatique.gouv.fr\)](#)

Site nivo-météorologique du Col de Porte. Centre National de Recherches Météorologiques - UMR 3589. [Site nivo-météorologique du Col de Porte - Centre National de Recherches Météorologiques \(umr-cnrm.fr\)](http://umr-cnrm.fr)

CLIMAT HD. Météo France. [CLIMAT HD par Météo-France \(meteofrance.com\)](http://meteofrance.com)

ClimEssences. RMT AFORCE. [Accueil | ClimEssences](#)

DRIAS, les futurs du climat. Météo-France, CERFACS, Institut Pierre Simon Laplace. [DRIAS, Les futurs du climat - Accueil \(drias-climat.fr\)](http://drias-climat.fr)

Annexes

Annexe 1. Liste des objets Natur'Adapt – Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

Annexe 2. Représentation cartographique des activités humaines sélectionnées pour le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

Annexe 3. Représentation cartographique des éléments du patrimoine naturel sélectionnés pour le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

Annexe 4. Représentation cartographique des outils et moyens de gestion sélectionnés pour le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité.

Annexe 5. Questionnaire 1 : « Changement climatique et activités touristiques dans les Hauts de Chartreuse ».

Annexe 6. Questionnaire 2 : « Changement climatique dans les Hauts de Chartreuse ». (Lochon, 2021).

Annexe 7. Profils des répondants au questionnaire 1 soumis aux acteurs du tourisme.

Annexe 8. Profils des répondants au questionnaire 2 soumis aux chercheurs, experts naturalistes et techniciens.

Annexe 9. Grilles d'entretiens semi-directifs.

Annexe 10. Profils des répondants aux entretiens semi-directifs.

Annexe 11. Fiches d'analyse des objets Natur'Adapt – Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse

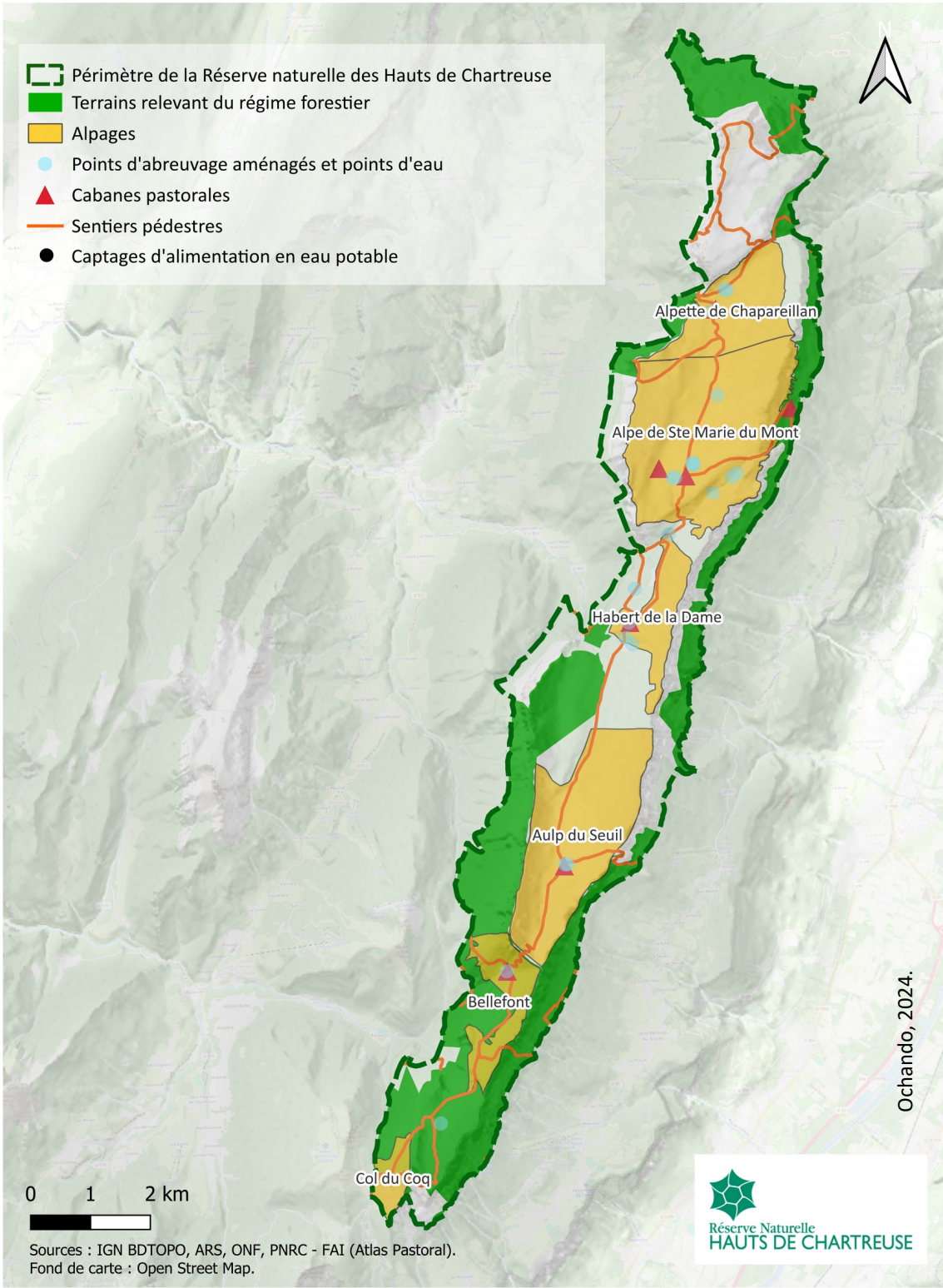
Annexe 1. Liste des objets Natur'Adapt – Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.

Objet d'analyse (Questionnaire)	Description (Plan de gestion 2018-2027)
Activités socio-économiques	
Élevage à l'herbe	Six alpages accueillent en moyenne 700 à 800 bovins et 3000 ovins destinés majoritairement à la production de viande. Cinq groupements pastoraux, regroupant 28 éleveurs ou exploitants et un éleveur individuel, se répartissent sur ces alpages communaux, privés ou domaniaux. Chaque alpage dispose d'une ou plusieurs sources. Depuis quelques années, la récurrence du tarissement précoce des sources et la raréfaction des eaux de surface ont rendu nécessaire l'aménagement de réservoir de stockage, présent sur tous les alpages et permettant jusqu'à présent de faire face aux périodes délicates en alimentation en eau. Unités pastorales concernées : Col du Coq (308 ha) Bellefont (309 ha) Aulp du Seuil (497 ha) Habert de la Dame (139 ha) Alpe de Sainte-Marie-du-Mont (670 ha) Alpette de Chapareillan (241 ha)
Gestion forestière	La production forestière de la Réserve est actuellement concentrée uniquement sur les flancs de celle-ci. Privées, domaniales ou communales, ces forêts, gérées par l'ONF via des plans d'aménagement forestier, sont exploitées en futaie irrégulière : pas de coupe à blanc, régénération naturelle, mélange d'arbres d'âges variés. Considérée comme une activité traditionnelle, l'exploitation forestière est autorisée dans le cadre de documents d'aménagements, à l'exception de la création de dessertes et des coupes rases qui sont interdites par le décret de création de la RNN. A cela s'ajoute le traitement du risque incendie. L'aléa incendie affecte les milieux forestiers exploités et non exploités ainsi que les landes et les milieux semi-ouverts et est accentué par la chaleur, le vent et le manque d'eau pour la végétation. Les incendies peuvent être déclenchés de façon naturelle, notamment par la foudre, ou bien par l'homme (de façon accidentelle ou criminelle). Quelques exemples : 2003 : incendie de la zone du Pas de la Rousse sur le versant oriental de la Réserve (25 ha), lié à la foudre et au contexte de sécheresse. 2021 : incendies isolés à l'Aulp de Seuil et Saint-Même, liés à des feux de bivouacs.
Activités touristiques et sportives	Les Hauts de Chartreuse offrent de nombreux attraits pour les pratiquants de sports et loisirs dits « de nature » : - proximité des grandes agglomérations (Grenoble, Chambéry, Lyon), - accès relativement aisé à un paysage ouvert et à des points de vue exceptionnels pour la randonnée familiale, à pied, à ski ou en raquettes, - vastes falaises localement propices à l'escalade, au vol libre (planeurs, parapente, paralpinisme) et aux parcours aériens sur certaines vires équipées ou non. - un réseau karstique qui favorise la pratique de la spéléologie.
Ressource en eau potable	La ressource en eau potable autour de la réserve est utilisée pour la consommation des habitants et pour les activités socio-économiques (agricoles et touristiques). D'après le SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse (Agence de l'eau RMC, 2003) le massif de Chartreuse est un " <i>aquifère karstique à fort intérêt stratégique pour les besoins en eau actuels et futurs</i> ". Les menaces potentielles peuvent affecter l'eau au niveau de sa qualité (paramètres influant : exploitation forestière, activité pastorale, actes de malveillance sur des sources accessibles) et au niveau de sa quantité (modification des usages).
Patrimoine naturel (processus, habitats et espèces)	
Hêtraie-sapinière	Milieu forestier de l'étage montagnard dominé par le hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) et le sapin pectiné (<i>Abies alba</i>) qui occupe l'ensemble des flancs du synclinal perché. Cet objet rassemble les entités écologiques suivantes : les hêtraies-sapinières acidiphiles, les hêtraies-sapinières neutrophiles, les hêtraies-sapinières hygrophiles et les hêtraies mésoxérophiles. Surface occupée : 701 ha (16 % surface RNNHC).
Pessière	Forêt subalpine dominée par l'épicéa (<i>Picea abies</i>). Les forêts subalpines d'épicéa ne sont plus exploitées depuis les années 1950 et commencent à atteindre un degré de naturalité assez important. Surface occupée : 610 ha (13,81 % surface RNNHC).
Pinède de pins à crochets	Forêt et boisement subalpins dominés par le pin à crochets (<i>Pinus uncinata</i>). Il s'agit d'un habitat d'intérêt communautaire prioritaire. Les forêts subalpines de pins à crochets ne sont plus exploitées depuis les années 1950 et ont atteint un degré de naturalité assez important. Surface occupée : 542 ha (12,27 % surface RNNHC).
Pelouses subalpines calcaires	Ce milieu ouvert est maintenu par le pâturage ou de façon naturelle, notamment dans les espaces d'éboulis remaniés fréquemment. Son emprise spatiale est importante dans l'étage subalpin, qui présente des conditions climatiques et pédologiques ne favorisant pas la formation de sols épais. Les pelouses calcicoles sont associées à des cortèges floristiques particuliers comprenant, entre autres, certaines espèces d'orophytes patrimoniales. Surface occupée : 818 ha (18,52 % surface RNNHC).

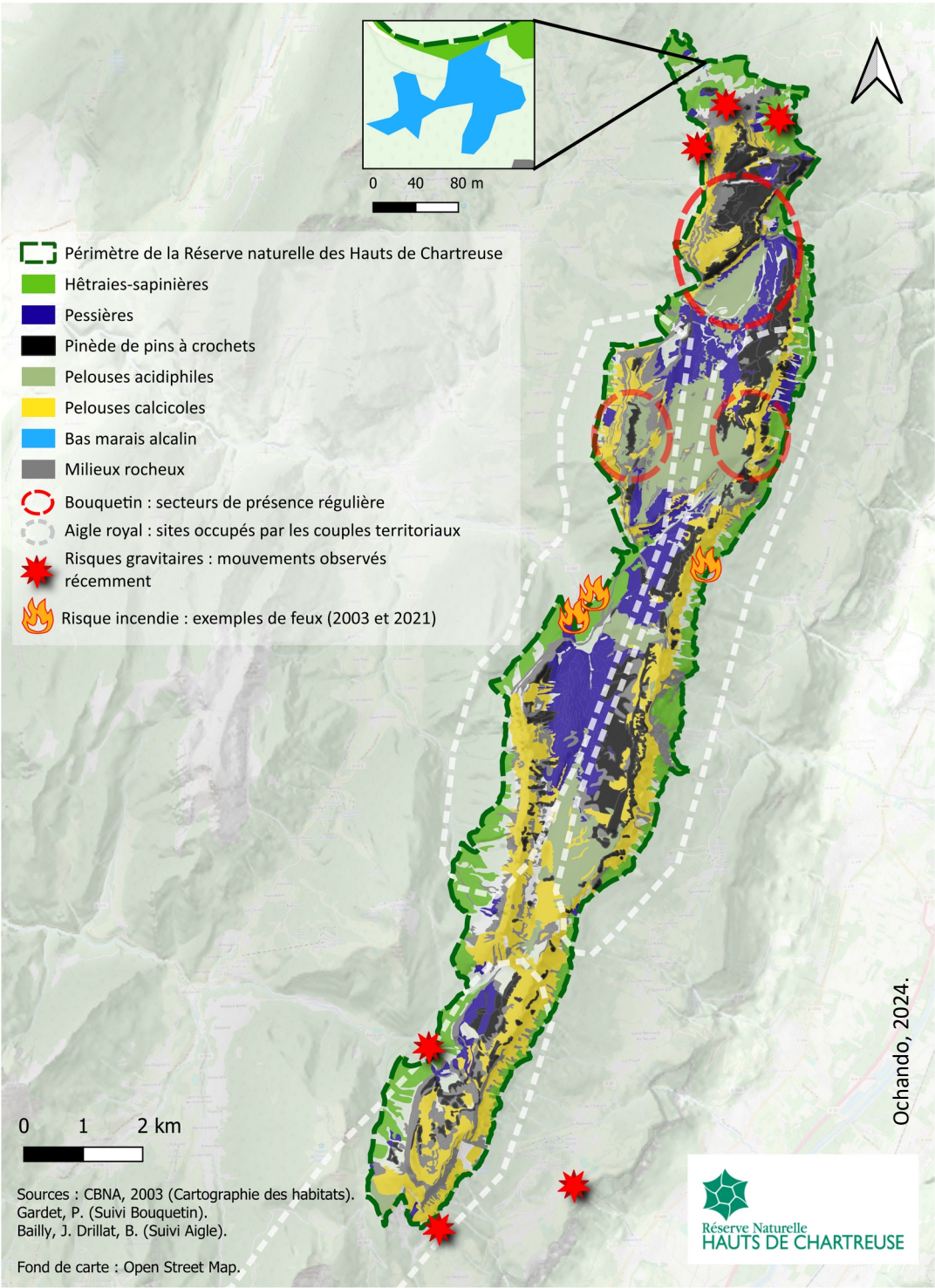
Pelouse acidiphile des pâturages	Maintenues par le pâturage sur des secteurs tels que l'Alpe, le vallon de Marcieu, l'alpette de Chapareillan et l'alpette de la Dame, les pelouses acidiphiles sont dominées par le Nard raide (<i>Nardus stricta</i> L.) et la Fétuque noirissante (<i>Festuca nigrescens</i> Lam.). Bien que la pression du pâturage puisse favoriser le Nard raide et ainsi aboutir à un appauvrissement de la flore, ces pelouses peuvent également abriter des espèces acidophiles rares en Chartreuse, à l'image de l'Arnica des montagnes (<i>Arnica montana</i> L.) et de la Tulipe méridionale (<i>Tulipa sylvestris</i> subsp. <i>australis</i>). Surface occupée : 600 ha (13,60 % surface RNNHC).
Patrimoine géologique et géomorphologique	Les Hauts de Chartreuse sont caractérisés par des objets géologiques à forte valeur patrimoniale. Les milieux rupestres et souterrains correspondent à quatre unités écologiques de formes d'érosion : les grottes et gouffres, les falaises et rochers calcaires, les éboulis et chaos rocheux, les lapiaz et dalles rocheuses. Les mouvements gravitaires, d'origine naturelle et/ou anthropique modifient constamment ce patrimoine. Il s'agit des déplacements de terrains (crues, laves torrentielles, chutes de blocs, glissements de terrain). Ces aléas naturels peuvent menacer des activités humaines et former des risques. Quelques exemples : 2010 : Éboulement du pilier Sud de la Dent de Crolles. 2016 : Éboulement de la face Ouest du Mont Granier. 2021 : Crue torrentielle à Saint-Hilaire-du-Touvet liée à de fortes précipitations et à une fonte nivale brutale (hors réserve). Surface occupée : 759 ha (17,21 % surface RNNHC).
Glacières souterraines	Cavités karstiques englacées en permanence. Certaines glacières souterraines de la réserve sont suivies scientifiquement (gouffre Alain Daniel / Grand Glacier).
Bas marais alcalin	Les surfaces occupées par les milieux humides sont très localisées en raison de la nature karstique du sous sol de la Réserve. Présent dans la zone humide de la Grenouille (1000 m), située sous la face nord du Granier, le bas marais alcalin représente un « confetti humide » dont la conservation représente un enjeu en soi en raison des espèces remarquables qu'il abrite. Cet habitat est notamment occupé par des petites laïches (<i>Carex spp.</i>), le Cordulégastre bidenté (<i>Cordulegaster bidentata</i>) et le Sabot de Vénus (<i>Cypripedium calceolus</i>). Les zones humides sont rares en Chartreuse et leur état de conservation est peu favorable. Surface occupée : 0.60 ha (0,01 % surface RNNHC).
Espèces arctico-alpines	Un taxon arctico-alpin se caractérise par une distribution naturelle qui comprend les régions arctiques et les chaînes de montagne, plus au sud. Sur les Hauts de Chartreuse, c'est le cas du Sizerin flammé (<i>Carduelis flammea</i>), du Merle à plastron (<i>Turdus torquatus</i>), de la Véronique des Alpes (<i>Veronica alpina</i> L.) et de l'Orpin rose (<i>Rhodiola rosea</i> L.). Les espèces arctico-alpines semblent <i>a priori</i> menacées par le changement climatique en raison de l'augmentation des températures et de la diminution de l'enneigement.
Aigle royal (<i>Aquila chrysaetos</i>)	Situé en bout de chaîne alimentaire, l'Aigle royal est un prédateur et un charognard, qui régule les populations d'oiseaux et de mammifères. La Réserve compte deux couples nicheurs sur son périmètre. La population est relativement isolée et est fortement soumise à la pression des activités humaines autour des falaises (notamment survol motorisé, vol libre, escalade...). Priorité de conservation : 1 Risque d'extinction : Vulnérable (V).
Chevêchette d'Europe (<i>Glaucidium passerinum</i>)	La Chevêchette d'Europe a une importante plasticité d'habitat, plutôt situé en altitude ou dans des combes froides. L'existence de cavités dans les arbres matures et morts créées par le Pic noir favorise grandement sa présence. Ce rapace se nourrit de micro-mammifères, d'oiseaux, et son régime alimentaire est opportuniste. La Réserve compte 7 mâles territoriaux connus présents sur 7 secteurs de contact connus. Priorité de conservation : 2 Risque d'extinction : Quasi menacé (N).
Bouquetin des Alpes (<i>Capra ibex</i>)	L'espèce est réintroduite en 2010 et 2011 sur le site de La Plagne. La population actuelle est dispersée en deux noyaux (femelles reproductrices) sur le versant ouest du Granier et sur le versant ouest du Pinet. Priorité de conservation : 1
Diptère syrphidé (<i>Diptera : Syrphidae</i>)	Les Diptères syrphidés sont des mouches pollinisatrices indicatrices de biodiversité. Étudiés sur les secteurs de la Dent de Crolles et du Mont Granier entre 2008 et 2020, les syrphes sont de bons « bioindicateurs » de l'état du recrutement forestier et de la fonctionnalité des habitats. La diminution de leur abondance et de leur diversité spécifique est observée sur les Hauts de Chartreuse et peut être associée à des conditions plus chaudes et sèches dans l'étage subalpin.
Outils et moyens de gestion	
Non-intervention	La non intervention humaine renvoie à laisser en libre évolution les milieux naturels. Cette orientation de gestion concerne : - La réserve biologique de Malissard (84 ha en RBI et 3 ha en RBD). - La réserve biologique domaniale intégrale de l'Aulp du Seuil (165 ha). - Les forêts subalpines situées dans le pli du synclinal, non exploitées depuis les années 1950. L'objectif de la RBI est la libre expression des processus d'évolution naturelle d'écosystèmes forestiers. L'objectif de la RBD est la conservation d'un marais alcalin.
Surveillance	La mission de surveillance s'effectue dans un contexte montagnard accidentogène qui présente de nombreuses difficultés pour les trois agents commissionnés. Le travail de police renvoie en priorité au rappel à la loi et à la sensibilisation.
Suivis scientifiques	Les suivis scientifiques s'inscrivent dans la mission d'amélioration des connaissances pour la préservation et la gestion du patrimoine naturel et culturel. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse est un site de recherche fortement utilisé. Les suivis scientifiques s'effectuent le plus souvent en partenariat avec des laboratoires de recherche qui obtiennent un financement de la Réserve. Les projets de recherche touchent à des thématiques variées : habitats, flore, faune, cosmologie, géomorphologie, archéologie, karstologie et paléontologie. Depuis une dizaine d'années, le site fait l'objet de recherches sur le changement climatique et de ses effets sur les écosystèmes montagnards.

	Les suivis scientifiques dépendent des financements et des partenariats et nécessitent données de terrain, pose de matériel et travail en extérieur.
Pédagogie	Les outils de sensibilisation des différents publics de la Réserve : - Panneaux pédagogiques aux abords et à l'entrée du site (exemple : entrée de Réserve à Perquelin). - Sensibilisation auprès des touristes et des usagers du site lors des tournées de surveillance. - Animations ESN à destination des scolaires et du grand public. - Animation de la fresque du climat auprès d'un public adulte. - Communications diverses (site Internet, film, vidéos YouTube, flyers, sollicitations pour des articles de presse, journaux télévisés, podcasts, conférences). Film « Réserve des Hauts de Chartreuse, la nature en partage » : https://youtu.be/JupdRZv5AIU - Accueil de groupes constitués (plus ponctuel dans l'année).

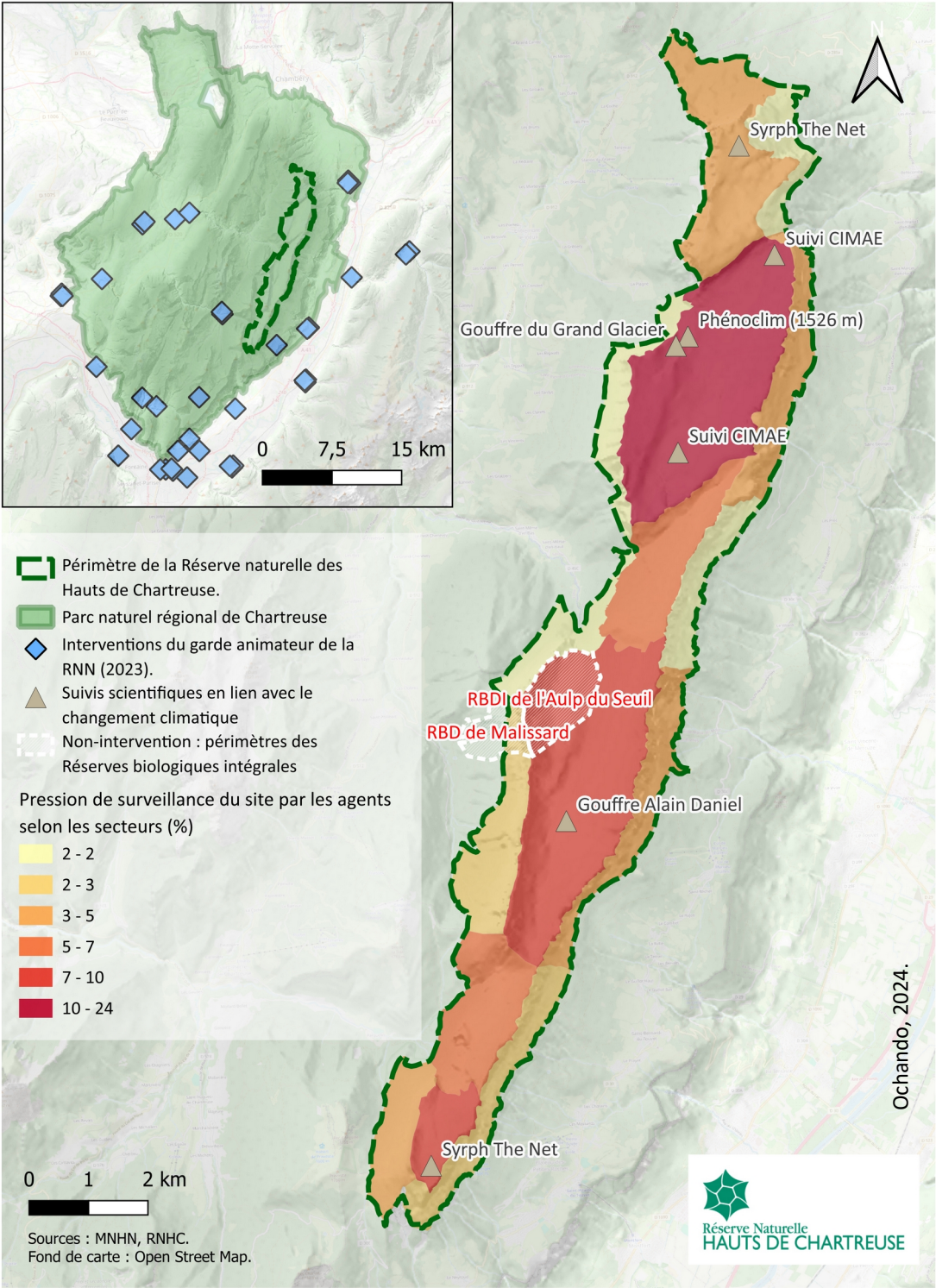
Activités humaines - RNN des Hauts de Chartreuse



Patrimoine naturel - RNN des Hauts de Chartreuse



Outils et moyens de gestion - RNN des Hauts de Chartreuse



« Changement climatique et activités touristiques dans les Hauts de Chartreuse »

Expérimentée dans plusieurs Réserves naturelles en France, la démarche Natur'Adapt consiste à élaborer un récit climatique et à appréhender le futur des activités humaines, du patrimoine naturel et des outils de gestion au prisme de ces évolutions.

C'est dans ce cadre que nous souhaitons recueillir votre expertise sur l'impact du changement climatique sur les activités touristiques qui prennent place sur les Hauts de Chartreuse. Les informations collectées seront compilées pour dresser le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité du territoire de la réserve.

Merci d'avance pour votre temps et vos précieuses réponses.

Temps de remplissage estimé à 10 min environ.

Questions introductives

Quel est votre métier et/ou votre structure ?

Réponse courte

Quelle(s) activité(s) de plein air concerne votre profession / mission d'encadrement ?

Randonnée pédestre

Trail

Vol libre

Escalade

Spéléologie

Ski de randonnée

Randonnée en raquettes

Domaine du tourisme en général

Questions sur les activités de plein air

1. Quels sont les principaux paramètres ou aléas climatiques pouvant affecter votre activité professionnelle, en rapport avec les activités de plein air ?

Température moyennes

Pluviométrie

Vent

Gel

Enneigement

Vague de chaleur

Sécheresse

Autre...

2. A quel point ces paramètres climatiques peuvent affecter (positivement ou négativement) votre activité professionnelle, en rapport avec les activités de plein air ?

Fortement affecté

Moyennement affecté

Faiblement affecté

Pas du tout affecté

Je ne sais pas

Vous avez identifié votre activité comme sensible à certains paramètres climatiques ? Avant de poursuivre le remplissage du questionnaire, veuillez consulter les évolutions locales du climat sur les Hauts de Chartreuse via la synthèse du récit climatique envoyée par mail.

3. En ayant en tête les évolutions possibles du climat local sur les Hauts de Chartreuse et concernant les activités de plein air (hors activité de neige), diriez-vous que votre activité professionnelle est impactée :

- Favorablement
- Défavorablement
- De manière contrastée
- N'est pas impactée
- Je ne sais pas
- Autre...

4. Pourquoi ?

Réponse courte ou longue

5. Suite aux évolutions du climat, avez-vous été amené à modifier votre activité professionnelle ou bénévole en lien avec les activités de plein air ?

- Oui
- Non

6. Si oui, quelle était cette modification ?

Réponse courte ou longue

7. Si oui, diriez-vous que cette modification a été :

(une ou plusieurs réponses possibles)

- Ponctuelle
- Permanente
- Subie
- Anticipée
- Autre...

8. Ainsi selon vous, votre activité professionnelle ou bénévole, en lien avec les activités de plein air, est-elle adaptable aux évolutions locales du climat ?

- Non, pas du tout
- Oui, faiblement
- Oui, moyennement
- Oui, fortement

9. Pensez-vous, indépendamment de votre domaine d'encadrement, que votre activité touristique ou sportive évolue :

- Favorablement
- Défavorablement
- De manière contrastée
- N'est pas impactée
- Je ne sais pas

10. Pourquoi ? Quels sont les facteurs limitant ou facilitant votre secteur d'activité à s'adapter au changement climatique ? (subventions, financement, réglementations, demande, offre concurrente, facteurs liés au terrain et/ou au climat, etc.)

Réponse longue

11. En ayant en tête ce contexte local climatique et les moyens humains pouvant être mis en œuvre, votre/vos activités est/sont :

- Pas du tout adaptable
- Faiblement adaptable
- Moyennement adaptable
- Fortement adaptable

12. Pour terminer, projetez vous en 2050 et dressez le récit de votre/vos activité(s) : organisation et conditions de travail, pénibilité ou facilité, demande, risques possibles.

Réponse longue

Merci pour vos réponses ! N'oubliez pas de cliquer sur Envoyer !

Annexe 6. Questionnaire 2 : « Changement climatique dans les Hauts de Chartreuse ». (Lochon, 2021).

« Le changement climatique dans les Hauts de Chartreuse »

Expérimentée dans plusieurs Réserves naturelles en France, la démarche Natur'Adapt consiste à élaborer un récit climatique et à appréhender le futur des activités humaines, du patrimoine naturel et des outils de gestion au prisme de ces évolutions.

C'est dans ce cadre que nous souhaitons recueillir votre expertise sur l'impact du changement climatique sur les activités humaines, le patrimoine naturel et les mesures de gestion de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse. Les informations collectées seront compilées pour dresser le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité du territoire de la réserve.

Merci d'avance pour votre temps et vos précieuses réponses.

Temps de remplissage estimé à 20 min par objet en moyenne.

Questions introductives

1. Quel est votre métier et/ou votre structure ?

Réponse courte

2. Quel est votre domaine d'expertise/de connaissance ?

Réponse courte

Choix d'un objet

Notre démarche vise à estimer la vulnérabilité « d'objets » caractéristiques des Hauts de Chartreuse (écologiques, socio-économiques, outils ou moyens de gestion de la réserve).

La vulnérabilité est étudiée au travers des concepts d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation face au changement climatique. Nous sommes conscients qu'il est parfois difficile de se positionner sur les conséquences du changement climatique, que nous manquons parfois d'informations scientifiques robustes sur la sensibilité ou la capacité d'adaptation de telle espèce ou de tel habitat. Toutefois notre démarche n'est pas une étude scientifique et vise à souligner « ce que l'on sait » pour pouvoir mettre en place une gestion adaptative éclairée par les connaissances et hypothèses actuelles et également à identifier « ce que l'on ne sait pas ». Le questionnaire vous proposera ainsi de donner un certain degré de confiance à vos réponses.

3. Quel objet souhaitez-vous évaluer ?

(Un seul choix possible à cette question, il vous sera possible de refaire le questionnaire pour un autre objet si vous le souhaitez)

N'hésitez pas à consulter la liste des objets envoyée par mail.

Élevage à l'herbe

Gestion forestière

Ressource en eau potable

Risque incendie
Hêtraie-sapinière
Pessière
Pinède de pins à crochets
Pelouse calcicole
Pelouse acidiphile des pâturages
Patrimoine géologique et géomorphologique
Bas marais alcalin
Espèces arctico-alpines
Aigle royal
Chouette chevêchette
Lynx
Chat forestier
Syrphe
Non-intervention

Sensibilité au climat

Sensibilité : propension d'un système humain ou naturel à être affecté favorablement ou défavorablement par des variations climatiques (ex. augmentation des températures moyennes annuelles, baisse du nombre de jours de gel, etc.) et leurs conséquences physiques (ex. augmentation des sécheresses, baisse des débits de cours d'eau, hausse du niveau marin, etc.).

Exemples :

- Pour une espèce : les besoins écologiques de l'espèce, conditions de présence, ressource alimentaire, interactions intra et interspécifique, périodes critiques du cycle de vie et l'influence des paramètres climatiques sur ces éléments.
- Pour un habitat ou un processus : les conditions climatiques conditionnant la présence de l'habitat ou du processus.

4. Quels sont les principaux paramètres ou aléas climatiques pouvant affecter l'objet étudié ?

Température moyenne atmosphérique
Cumul des précipitations
Répartition des précipitations
Intensité du vent
Gel
Enneigement
Vague de chaleur
Sécheresse
Autre...

5. A quel point ces paramètres climatiques peuvent affecter (positivement ou négativement) l'objet étudié ?

Fortement
Moyennement
Faiblement
Pas du tout
Ne sait pas
Autre...

6. Degré de confiance : 0 à 5 (5= très confiant)

0
1
2

3
4
5

7. Commentaires (précisions à apporter, ressources bibliographiques, etc.) :

Réponse longue

Effets de l'évolution du climat

8. Selon vous, pour l'objet étudié, les évolutions locales du climat sur les Hauts de Chartreuse sont :

Favorables

Défavorables

Neutres

Contrastées

Ne sait pas

Autre...

9. Degré de confiance : 0 à 5 (5 = très confiant)

0
1
2
3
4
5

10. Commentaires (précisions à apporter, ressources bibliographiques, etc.) :

Réponse longue

Capacité d'adaptation intrinsèque

Capacité d'adaptation intrinsèque : qualité intrinsèque qui permet à un système humain ou naturel de réduire les effets négatifs et/ou de tirer parti des effets positifs du changement climatique.

Exemples :

- Pour une espèce : la taille et la dynamique de la population, la plasticité phénotypique, la diversité génétique, la stratégie de reproduction, la mobilité ou la capacité de dispersion de l'espèce sur le massif (altitude maximale, connectivité entre les habitats, etc.).
- Pour un habitat : la taille et la dynamique de l'habitat (colonisation/régression), la connectivité actuelle à l'intérieur et avec l'extérieur de la réserve
- Pour un processus : effets de seuil pour la présence du processus.

11. Selon vous, l'objet étudié est-il intrinsèquement adaptable aux évolutions locales du climat ? :

Non, pas du tout

Oui, faiblement

Oui, moyennement

Oui, fortement

Ne sait pas

12. Degré de confiance : 0 à 5 (5 = très confiant)

0
1
2
3
4
5

13. Commentaires (précisions à apporter, ressources bibliographiques, etc.) :

Réponse longue

Capacité d'adaptation globale

Capacité d'adaptation globale : capacité d'adaptation tenant compte de la capacité d'adaptation intrinsèque de l'objet et des facteurs non climatiques pouvant limiter ou aider l'objet à s'adapter aux changements climatiques.

Exemples :

- Pour une espèce : changements dans les relations interspécifiques, nouvelles espèces concurrentes ou facilitatrices, évolution ou apparition de pratiques socio-économiques ayant un impact sur l'espèce, son habitat, sa ressource alimentaire, ses parasites ou maladies, etc.
- Pour un habitat ou un processus : évolution/apparition de pratiques socio-économiques ayant un impact sur l'habitat ou le processus.

14. Selon vous, quels sont les principaux facteurs non climatiques, qu'ils soient naturels ou anthropiques, présents ou à venir, pouvant limiter ou améliorer la capacité d'adaptation de l'objet étudié ?

Réponse longue

15. En prenant en compte la capacité d'adaptation intrinsèque et l'évolution des facteurs non climatiques, diriez-vous que la capacité d'adaptation globale de l'objet étudié est :

(Une seule réponse possible)

Nulle

Faiblement

Moyenne

Fortement

Ne sait pas

Autre...

16. Degré de confiance : 0 à 5 (5 = très confiant)

0

1

2

3

4

5

17. Commentaires (précisions à apporter, ressources bibliographiques, etc.) :

Réponse longue

Conclusion

18. Comment imaginez-vous l'évolution future de cet « objet » dans les Hauts de Chartreuse ?

19. Enfin, constatez-vous un impact du changement climatique sur vos activités techniques, naturalistes et/ou de recherches ?

20. Avez-vous des commentaires à ajouter ?

21. Souhaitez-vous recevoir les résultats de ce diagnostic ?

Merci pour vos réponses ! N'oubliez pas de cliquer sur Envoyer !

Si vous souhaitez traiter un autre objet cliquez sur « Envoyer » puis sur « Envoyer une autre réponse »

Annexe 7. Profils des répondants au questionnaire 1 soumis aux acteurs du tourisme

Profil des répondants (métier ou structure)	Nombre
Accompagnateurs en montagne	9
Moniteur de parapente	2
FFRP Isère (Fédération Française de Randonnée Pédestre)	1
FFCAM Isère (Fédération des Clubs Alpins et de Montagne)	1
FFME Isère (Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade)	1
Comité Départemental de Spéléologie et de Canyonisme de La Savoie	1
L'Estive du Haut (Plateau-des-Petites-Roches)	1
Retraité	1
TOTAL	17

Annexe 8. Profils des répondants au questionnaire 2 soumis aux chercheurs, experts naturalistes et techniciens.

Profil des répondants (métier ou structure)	Nombre	Détails	Domaine d'expertise
Enseignant et/ou chercheur	4	EDYTEM (1), INRAe (2), SciencesPo Grenoble (1),	Karst, Eau, Patrimoine géologique, Interactions filières agro-alimentaires/territoires, Pastoralisme et CC
Conservatoire d'espaces protégés Isère	1	Responsable scientifique (1)	Gestion, préservation milieux naturels
Parc naturel régional de Chartreuse	1	Chargé de mission (1)	Expertises et inventaires naturalistes
Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse	2	Garde-technicien (2)	Protection des milieux naturels montagnards, Faune vertébrée
ONF Isère	2	Chargé d'environnement (1) Technicien forestier territorial (1)	Écologie végétale, écologie forestière, Gestion forestière
TOTAL	10		

Annexe 9. Grilles d'entretiens semi-directifs.

Pédagogie (RNNHC)

Questions	Informations recherchées, réflexions à mener
Parler du changement climatique : discours, sollicitations, rigueur scientifique	
1. Comment la Réserve communique t-elle sur le changement climatique ?	- Actualités, modalités d'inclusion du CC dans les différentes missions. - Spécificités du « discours Réserve ».
2. Comment abordez-vous le changement climatique auprès des scolaires ?	- Actualités, modalités d'inclusion du CC dans la mission d'animation et d'éducation et sensibilisation à la nature.
3. Est-ce qu'il y a plus de sollicitations à ce sujet, et aussi sur la crise de la biodiversité ?	- La Réserve et le PNR sont-ils identifiés comme des acteurs du CC ? Freins et leviers éventuels à ce sujet. - Actualité des sollicitations sur le CC : qui, comment, combien et dans quel cadre ?
4. Comment parler des changements globaux, dont les effets sont encore difficile à percevoir ?	- Prise en compte de la rigueur scientifique. - Entrées privilégiées pour parler du CC : récit, émotions, vulgarisation scientifiques, jeux.
Perspectives de la mission de pédagogie en lien avec le changement climatique	
5. Au-delà de la sensibilisation dans les écoles, quelles peuvent être les autres perspectives d'actions pour la réserve naturelle en termes de pédagogie ? Médiathèque, production pédagogique, jeux, échanger avec d'autres publics ?	- Perspectives d'actions pour la réserve naturelle en termes de pédagogie et de sensibilisation à la nature et aux enjeux globaux. Idées d'outils et de mesures d'actions pédagogiques. - Insertion de l'approche intégrative dans la gestion de la RNNHC.
6. Devrait t-il y avoir des accompagnements de groupes à l'avenir ? Pour sensibiliser concrètement sur le site ? Voir possiblement d'observer les dépérissements, les suivis menés (Phénoclim), et intégrer davantage le public ?	- Voir actions possibles à réaliser sur le terrain : intérêt(s), faisabilité.

Bouquetin (OFB)

Questions	Informations recherchées, réflexions à mener
Actualité de la recherche	
1. Les résultats des études menées sont-ils toujours appuyés par vos observations : la diminution de la taille des cornes, la baisse de qualité de nourriture du fait des printemps précoces...	- Actualité de la recherche sur le sujet. - Continuité ou non dans les observations réalisées depuis 2016. - Saisir une potentielle évolution des phénomènes observés (fréquence, intensité).
2. Est-ce que les adaptations comportementales des bouquetins face à la chaleur affectent le temps dédié à la recherche de nourriture et à la recherche d'abris face aux prédateurs ?	- Appréhender le degré de sensibilité de l'espèce à la chaleur. - Voir les différentes formes d'adaptations comportementales : caractéristiques, limites dans le contexte des Hauts de Chartreuse et conséquences.

Impact du dérangement sur l'espèce	
3. La plupart des diagnostics de vulnérabilité réalisés dans des contextes de montagne supposent une hausse de la fréquentation tout au long de l'année, en particulier lors des périodes d'intersaison. Est-ce que cela constituerait une réelle menace, plus indirecte du CC, pour l'espèce ?	- Appréhender le degré de sensibilité de l'espèce à une potentielle hausse de la fréquentation. - Savoir si des études sont produites sur le sujet du dérangement du bouquetin lié à la fréquentation humaine.
Impacts sanitaires du changement climatique	
4. En lien avec la fonte précoce du manteau neigeux, le changement climatique favorise-t-il le contact entre le bouquetin et les troupeaux domestiques, les autres ongulés, les exposant à des risques de maladies et de brassage génétique ?	- Appréhender le degré de sensibilité et d'exposition de l'espèce aux maladies, favorisées directement ou indirectement par le CC. - Savoir si des études sont produites sur le sujet.
Appréciation de vulnérabilité	
5. En croisant plusieurs paramètres (exposition, sensibilité et capacité d'adaptation), quelle est la vulnérabilité de l'espèce ? Faible, moyenne, forte ?	- Avis d'expert suivant ses connaissances et ses retours d'expériences sur la question (observations, suivis, lectures...)

Gestion forestière (ONF, CRPF)

Questions	Informations recherchées, réflexions à mener
Effets du changement climatique sur les peuplements forestiers	
1. Depuis quelques années, il y a-t-il déjà des signes de dépérissement ?	- Informations sur la géographie des effets du changement climatique sur les forêts du massif (altitude, exposition, peuplements).
2. Est-ce différent selon l'altitude et quelles essences sont les plus touchées ?	- Temporalité des phénomènes.
3. Depuis combien d'années le phénomène de dépérissement se généralise-t-il ?	- Réflexion prospective sur les évolutions.
4. Risque de dépérissement massif dans les années à venir ?	- Sensibilité des forêts face aux aléas et phénomènes extrêmes : parasitisme, incendie, vents forts.
5. Il y a-t-il du parasitisme dans le périmètre de la Réserve ?	- Prise en connaissance d'autres facteurs environnementaux affectant positivement ou négativement les forêts (dans leur régénération et leur exploitation)
6. D'autres changements environnementaux affectent les forêts de Chartreuse ?	
Gestion forestière et changement climatique	
7. (forêts publiques). Il y a-t-il des études de prévues pour suivre les évolutions des forêts, en particulier au sein des RBI sur l'adaptation des	- Actualité des observations, suivis. - Pertinence ou non de la libre-évolution pour suivre la réponse des écosystèmes forestiers.

peuplements laissés en libre évolution ?	
7 bis. (forêts privées). Comment le changement climatique impacte votre mission de conseil auprès des propriétaires ?	- Quels conseils à destination des propriétaires privés dans un contexte de fortes incertitudes ? - Quelles nouvelles demandes des propriétaires dans le contexte du CC. - État d'esprit et moyens des propriétaires vis-à-vis de l'adaptation.
8. Alors qu'il y a de nombreuses incertitudes sur le devenir des forêts, quelles sont les perspectives d'adaptation envisagées ? - Mesures pro actives, comme la migration assistée, la plantation d'essences exogènes, voire exotiques ? - Laisser faire, la libre évolution ? - Allier les deux ?	- Quels choix de gestion envisagés ? (en Réserve et hors Réserve)
9. Quelles sont les modalités de la gestion du risque incendie sur votre périmètre d'action ?	- Quels choix de gestion envisagés face au risque incendie ? (en Réserve et hors Réserve) - Quels freins en Réserve pour la création des dessertes ?

Pastoralisme (acteurs locaux)

Questions	Informations recherchées, réflexions à mener
Effets du changement climatique : sensibilité, adaptation, exposition	
1. Par le passé, quels sont les événements/aléas climatiques qui vous ont le plus impacté ?	- Connaissance des aléas climatiques pouvant affecter l'activité. - Ressenti personnel du professionnel.
2. Avez-vous dû modifier votre activité, vos pratiques ?	- Quelles mesures d'adaptations déjà prises et envisagées ?
3. Quel est le scénario catastrophe en termes de conditions climatiques ? Quelle fut l'année la plus difficile ?	- Année type regroupant des facteurs climatiques défavorables à l'activité. - Saisir les craintes, les pressions et les menaces.
Contraintes locales et extérieures au site (hors changement climatique)	
4. Excepté le changement climatique, quelles sont les limites/contraintes extérieures à votre exploitation vous empêchant de vous adapter ou de mettre certaines pratiques ?	- Saisir les contraintes liées au système pastoral local et à l'activité d'élevage en France. - Qualifier des problématiques liées au revenus, au prix des produits et à la consommation locale.
5. Est-ce que vous pensez que ces contraintes climatiques, locales et extérieures vont évoluer ? Si oui, défavorablement, favorablement ?	- Ressenti du professionnel vis à vis de ces contraintes extérieures. - Perspectives dans le cadre d'une adaptation au changement climatique.

Annexe 10. Profils des répondants aux entretiens semi-directifs.

Profil des répondants (métier ou structure)	Nombre	Détails	Domaine d'expertise
OFB	1	Ingénieur	Écologie du bouquetin (<i>Capra ibex</i>) et effets du changement climatique
Berger	1		Compétences associées au métier de berger, Connaissance du système pastoral, Expérience du terrain
RNN des Hauts de Chartreuse	1	Garde animateur	Éducation et sensibilisation à la nature
RNN de Nohèdes	1	Conservateur	Expérience de la démarche Natur'Adapt, Connaissance des effets du changement climatique sur la gestion de réserve, dans un contexte montagnard exposé aux sécheresses.
ONF Isère	2	Responsable d'unité territoriale (1), Technicien forestier territorial (1)	Gestion forestière, Entretien des forêts, Expérience du terrain
CNPF Auvergne Rhône-Alpes	2	Ingénieur (1), Technicien forestier (1)	Gestion forestière, Conseil auprès de propriétaires privés
TOTAL	8		

Activités socio-économiques

Gestion forestière

Voir aussi : Hêtraie-sapinière, Chevêchette d'Europe

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
La production forestière de la Réserve est actuellement concentrée uniquement sur les flancs de celle-ci. Privées, domaniales ou communales, ces forêts, gérées par l'ONF via des plans d'aménagement forestier, sont exploitées en futaie irrégulière : pas de coupe à blanc, régénération naturelle, mélange d'arbres d'âges variés. Considérée comme une activité traditionnelle, l'exploitation forestière est autorisée dans le cadre de documents d'aménagements, à l'exception de la création de dessertes et des coupes rases. A cela s'ajoute le traitement du risque incendie. L'aléa incendie affecte les milieux forestiers exploités et non exploités ainsi que les landes et les milieux semi-ouverts et est accentué par la chaleur, le vent et le manque d'eau pour la végétation. Les incendies peuvent être déclenchés de façon naturelle, notamment par la foudre, ou bien par l'homme (de façon accidentelle ou criminelle). Quelques exemples : 2003 : incendie de la zone du Pas de la Rousse sur le versant oriental de la Réserve (25 ha), lié à la foudre et au contexte de sécheresse. 2021 : incendies isolés à l'Aulp de Seuil et Saint-Même, liés à des feux de bivouacs.	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> <i>Enneigement</i> (↘) <i>Température atmosphérique</i> (↗) <i>Pluviométrie</i> (→) <i>Sécheresse</i> (↗) - Le risque incendie doublerait d'ici à 2050 et dépendra des essences et de la gestion forestière (ONF). - Accentuation probable des dépérissements dans les altitudes les plus basses de la Réserve et selon l'exposition. Tâches de dépérissements visibles (sapin et épicéa) hors Réserve en Chartreuse à des altitudes similaires, autour des 1000-1200 m. De façon très localisée : dépérissements de l'épicéa dans le subalpin (1850 m). - Allongement de la période de végétation et favorisation de la photosynthèse. - En altitude : la disparition plus précoce du manteau neigeux et les conditions de relative fraîcheur en période estivale favorisent la présence régulière d'ongulés qui se nourrissent des jeunes pousses (ONF). - Du fait d'un couvert forestier dense : peu d'exposition aux conditions tempétueuses (ONF).				- Co-existence sur la réserve de deux modes de gestion : exploitation en futaie jardinée et non-intervention. - Possibilité de planter des espèces autochtones et non autochtones pour assister les migrations (non envisagé en Réserve). - Coupes sanitaires en cas de dépérissements et de parasitisme. - Ne plus placer l'épicéa comme espèce cible des projets d'aménagement forestier (DREAL AURA). Pressions/Facilitations - Des forêts mixtes et denses dotées d'une gestion prenant en compte l'ensemble des compartiments des écosystèmes forestiers. - Augmentation des moyens matériels et de sensibilisation à l'échelle départementale face au risque incendie. - Les forêts de la Réserve d'un intérêt économique moindre à l'échelle de la Chartreuse : moins accessibles, les forêts privées ne sont pas dotées de gestion forestière. Leur vulnérabilité n'exposerait pas la filière bois en Chartreuse. - Absence d'équipements de Défense des Forêts contre l'incendie (DFCI), excepté sur les flancs de la partie est/nord-est de la Réserve, en raison de la difficulté d'accès et de l'absence de gestion forestière.			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Les projections climatiques sont défavorables à l'économie forestière de la Chartreuse si le hêtre, le sapin et l'épicéa venaient à dépérir. Le risque de parasitisme et de dépérissement des peuplements forestiers situés en réserve et aux altitudes les plus basses (autour de 1000 m) exposent peu la filière (forêts peu accessibles, où l'on prélève peu). Le risque incendie reste relatif en cœur de Chartreuse, et les moyens matériels et de sensibilisation DFCI croissent à l'échelle des départements de l'Isère et de la Savoie, en particulier dans les parties externes du massif de la Chartreuse.					Parasitisme et dépérissement : risque sur les peuplements situés les plus bas en altitude, en particulier les épicéas. Risque incendie : peu vigoureux aujourd'hui en cœur de Chartreuse, le risque incendie serait favorisé à court terme et dépendra largement de l'augmentation de la fréquence, de la durée des périodes de sécheresse (dont les projections varient fortement selon les modèles), de l'augmentation de la fréquentation humaine et des efforts de sensibilisation. Maintien des deux principaux modes de gestion en cours mentionnés dans les documents d'aménagement forestiers : exploitation en futaie jardinée et libre évolution en RBI, sur les Hauts et certaines parties de flancs (en forêt privée dépourvue de gestion forestière).			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Activités de plein air

Voir aussi : Bouquetin, Aigle royal, Patrimoine géologique et géomorphologique, Glacières souterraines

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Les Hauts de Chartreuse offrent de nombreux attraits pour les pratiquants de sports et loisirs dits « de nature » : - proximité des grandes agglomérations (Grenoble, Chambéry, Lyon), - accès relativement aisé à un paysage ouvert et à des points de vue exceptionnels pour la randonnée familiale, à pied, à ski ou en raquettes, - vastes falaises localement propices à l'escalade, au vol libre (planeurs, parapente, paralpinisme) et aux parcours aériens sur certaines vires équipées ou non. - un réseau karstique qui favorise la pratique de la spéléologie.	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Pluviométrie (→) Vent (?) Brouillard (?) Enneigement(↘) Vagues de chaleur (↗) Température atmosphérique (↗) - Des conditions météorologiques plus clémentes au cours de l'année, mais plus incertaines / tempétueuses. - En été : limitation des activités avec les vagues de chaleur, report de la randonnée en altitude, tarissement des sources d'eau. - Davantage de modifications ponctuelles et/ou subies des activités menées par les acteurs du tourisme. - Élévation en altitude des couches d'inversion des températures.				- Diversification des activités de plein air. - Adaptations ponctuelles et permanentes des professionnels : horaires, évitement de secteurs à risques, anticipation du manque d'eau, fléchier les activités sur l'intersaison (Questionnaire Tourisme). - Communication pour limiter la surfréquentation. Pressions/Facilitations - Attractivité d'un environnement préservé, en altitude, associé à une recherche de nature et de fraîcheur. - Accès uniquement à pied. - Réglementation de la réserve. - Liberté d'accès limitée par la législation récente.			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Les effets du changement climatique sur les activités de plein air sont contrastés dans le contexte des Hauts de Chartreuse. Vulnérabilité forte des activités de neige : une diminution (déjà observée) à court terme et une disparition à long terme des pratiques du ski de randonnée et des raquettes (Questionnaire Tourisme). Vulnérabilité moyenne des activités de plein air : -Allongement de la période clémente, évitement de la période estivale ou adaptation des horaires. Fréquentation fléchée sur l'intersaison. Accès facilité en hiver avec la diminution de l'enneigement (Questionnaire Tourisme). -Une pratique du vol libre plus dangereuse, avec des conditions aérologiques plus instables. -La fonte des glacières souterraines limite ou facilite au cas par cas l'accès au réseau souterrain. Risques accrus, nécessité de davantage anticiper les sorties : tarissement des sources d'eau, déstabilisation des bouchons et planchers de glace (Questionnaire Tourisme).					Les activités de plein air seraient en augmentation sur les Hauts de Chartreuse et fléchées sur les périodes automnales et printanières, par rapport à des étés possiblement plus chauds. Le changement climatique accroît les risques associés aux pratiques (spéléologie, vol libre, randonnée, trail...) : diminution de la ressource en eau, conditions aérologiques plus instables, déstabilisation des sentiers et des parois calcaires en cas de surfréquentation. La réserve devra suivre l'évolution de ces pratiques et l'extension des périodes propices. L'augmentation et l'intensification des pratiques est susceptible d'occasionner une pression plus intense sur certains secteurs identifiés (dérangement de la faune et de l'activité pastorale, dépassement de la capacité de charge des sentiers, prélèvements...).			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Alimentation en eau potable

Voir aussi : Élevage à l'herbe, Glacières souterraines, Activités de plein air

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
La ressource en eau potable autour de la réserve est utilisée pour la consommation des habitants et pour les activités socio-économiques (agricoles et touristiques). D'après le SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse (Agence de l'eau RMC, 2003) le massif de Chartreuse est un " aquifère karstique à fort intérêt stratégique pour les besoins en eau actuels et futurs ". Les menaces potentielles peuvent affecter l'eau au niveau de sa qualité (paramètres influant : exploitation forestière, activité pastorale, actes de malveillance sur des sources accessibles) et au niveau de sa quantité (modification des usages).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Précipitations (→) Vent (?) Brouillard (?) Enneigement (↘) Vagues de chaleur (↗) - Aridification estivo-automnale avec assèchement progressif de sources karstiques. Passage d'un régime pluvio-nival à un régime pluvial. - Perte de soutien d'étiages karstiques estivaux avec la fonte des glacières souterraines. - Scénario le plus probable : disparition progressive et décalée d'un sous bassin à l'autre. Tassement estival de sources et de points d'eau d'une importance inédite. - Incertitude sur l'échéance et sur les effets de seuils pouvant mener à des conséquences rapides sur la ressource en eau (EDYTEM, 2024).				Du point de vue humain, l'objet est adaptable au changement climatique, mais cela dépend de la capacité des acteurs à se mettre autour de la table et d'amorcer un changement de pratique et d'usage de l'eau à l'échelle du massif. Selon la perspective d'une protection de la nature, une augmentation de la capacité d'approvisionnement en eau via des aménagements adaptatifs (poches à eau) irait à l'encontre des principes de préservation des milieux et des paysages. La RNN serait un frein à l'adaptation du socio-système et en même temps un élément favorable pour la préservation de ce qui reste de la ressource pour les usages écosystémiques. La marge d'adaptation dépend alors des usages (SciencesPo Grenoble, 2024). Pressions/Facilitations - Partage et concertation - Rationnement des activités gourmandes en eau - Changement des pratiques liées aux usages de l'eau - Les prémices d'une gestion concertée de la ressource en eau à l'échelle du massif (Concert'eau). - Absence de gestion concertée effective - Usages non adaptés et/ou motivés par des enjeux économiques ou de confort (SciencesPo Grenoble, 2024).			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
La ressource en eau est exposée à un large ensemble de facteurs climatiques qui évolueraient en sa défaveur, à l'exception des cumuls de précipitations (stagnants ou en légère hausse). La notion d'adaptabilité de la ressource est variable selon les points de vue, selon si l'on souhaite maintenir le fonctionnement du socio-système actuel (et alors augmenter les capacités d'approvisionnement en eau) ou si l'on souhaite empêcher la mise en place d'aménagements adaptatifs et préserver la ressource pour des usages écosystémiques. (EDYTEM, 2024).					- Ce n'est pas l'évolution potentielle de la quantité de précipitations (stable voire en augmentation), mais la hausse des températures (et l'augmentation de l'évaporation) qui conduirait à un assèchement qui affecte la quantité et la qualité d'eau disponible (pour les écosystèmes et les activités humaines). - Des perspectives négatives sont envisageables : augmentation des conflits d'usages, menace de la pérennité des activités présentes et des écosystèmes. Des pistes d'amélioration existent et trouvent lieu dans la gestion concertée et l'adaptation des pratiques gourmandes en eau. Or, l'adoption d'une nouvelle trajectoire d'usage et d'une réelle concertation à l'échelle du massif est particulièrement difficile (SciencesPo Grenoble, 2024). - En raison du contexte hydrographique (tête de bassin versant) et au regard des objectifs de protection de la nature, le maintien de la capacité d'approvisionnement en eau pour l'activité pastorale ne devra pas se faire au détriment des besoins des écosystèmes et des territoires situés en aval.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Pinède de pins à crochets

Voir aussi : Non-intervention, Gestion forestière, Patrimoine géologique et géomorphologique

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Forêts et boisements subalpins dominés par le pin à crochets. Il s'agit d'un habitat d'intérêt communautaire prioritaire. Surface occupée : 542 ha (12,27 % surface RNHC).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Température atmosphérique (↗) Cumul des précipitations (→) Enneigement (↘) Le pin à crochets face au changement climatique (ClimEssences) : - Risque de dépérissement en cas de sécheresse prolongée (moins important que pour l'épicéa). - A priori insensible aux gels précoces et tardifs.				Capacité d'adaptation intrinsèque forte (ClimEssences) : - Rusticité et plasticité : espèce rustique et frugale. - Espèce héliophile et résistante aux dégâts de vents. - Tolère les extrêmes thermiques. Pressions/Facilitations - Hausse potentielle de la fréquentation humaine, favorisant le risque incendie. - L'altitude relative du massif peut constituer un frein à la remontée de l'espèce en altitude. - Non confronté aux incendies dans son aire de distribution (Climessences). - Aire de distribution favorable : conditions édaphiques trop pauvres pour ses concurrents susceptibles de remonter en altitude : épicéa, sapin, hêtre...			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Peu de sensibilité de l'essence dominante de cet habitat (pin à crochets) à certains effets du changement climatique : ensoleillement, vents forts, manque d'eau. Néanmoins, l'étude Syrh The Net (Claude, Decoin, Tissot, 2020) pointe un manque de maturité, mais surtout un dysfonctionnement du recrutement forestier (pins à crochets et essences d'accompagnements) qui serait imputable aux modifications climatiques et à d'autres facteurs environnementaux (abrouissement, diminution du manteau neigeux, compétition au sein du couvert herbacé) (Béguin, 2007).					Les perspectives sembleraient plutôt contrastées pour les pinèdes de pins à crochets. Qualifié de frugale, le pin à crochets serait robuste face aux aléas climatiques. L'essence fixe les sols montagneux, et représenterait une opportunité face à une plus inégale répartition des pluies, favorisant les aléas gravitaires. En lien avec le rehaussement des étages de végétation, la menace de la progression de la pessière sur les pinèdes de pins à crochets est incertaine. Dans des conditions similaires (Haute chaîne du Jura), le pin à crochets ne semble pas subir la concurrence de l'épicéa (Béguin in Prunier & Boissezon, 2017).			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte				
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte				

Pessière

Voir aussi : Non-intervention, Gestion forestière

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Forêt subalpine dominée par l'épicéa (<i>Picea abies</i>). Les forêts subalpines ne sont plus exploitées depuis les années 1950 et ont atteint un degré de naturalité assez important. Surface occupée : 610 ha (13,81 % surface RNHC).	Paramètres climatiques principaux et évolutions Température atmosphérique (↗) Cumul des précipitations (→) Enneigement (↘) Sécheresse (↗)				- La forte sensibilité à la sécheresse couplée à une plus inégale répartition des précipitations limite l'adaptation de l'espèce sous l'étage montagnard. - L'altitude des pessières (1500 – 1700 m) et le climat associé sont encore favorables à l'habitat à moyen terme.			
	L'épicéa face au changement climatique (ClimEssence) : - Sensibilité aux fortes sécheresses et canicules : présence autour de 1000 m remise en cause. Exemple d'orientation de gestion : maintien de l'épicéa au-dessus de 1300 m et dans les stations fraîches supérieures à 1100 m (Forêt communale Plateau des Petites Roches). - Bonne résistance aux gels tardifs. - Risque de dépérissements en cas de sécheresse prolongée. - Dégradations possibles en cas d'augmentation de jours tempétueux. - Le site des Hauts de Chartreuse demeurerait une zone compatible avec l'espèce à l'horizon 2050 peu importe le scénario (modèle IKS).				Pressions/Facilitations - Progression des insectes campiphages (scolytes, agriles) dans le massif (ONF). - Hausse potentielle de la fréquentation humaine favorisant le risque incendie. - Présence de pessières laissées en libre-évolution de façon plus ou moins pérenne : abandon de l'exploitation forestière depuis les années 1950 (vallon de Pratcel, Aulp du Seuil, Combe des Arches) et classement en RBI de la forêt de l'Aulp du Seuil. - Habitat souvent doté de micro-stations (variantes fraîches et sèches), d'une diversité d'essences, favorisant sa résilience. - Habitat non confronté aux incendies dans son aire de distribution. - En cas de hausse des précipitations, l'essaimage des scolytes sera gêné (Dané, 2021).			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
L'épicéa, essence dominante de la pessière, est fortement sensible au changement climatique (sécheresse, attaques d'insectes ravageurs...), son dépérissement est observé dans le massif autour de 1000 m d'altitude (ONF). Pour autant, l'exposition des pessières semble atténuée en raison de l'altitude à laquelle elles sont présentes sur les Hauts de Chartreuse et de la présence de micro-stations favorisant la résilience de l'habitat. L'essence forestière serait compatible avec le site à horizon moyen et peu importe le scénario en raison de son besoin en eau et des températures fraîches maintenues en altitude. La hausse des températures moyennes et l'inégale répartition des précipitations menacent cet habitat à moyen et long terme, jusqu'à environ 1500 m (Labonne et al., 2019).					Laissée en libre évolution, la pessière de la RBI de l'Aulp du Seuil pourra renseigner sur l'adaptation intrinsèque des peuplements d'épicéas, face aux sécheresses et aux attaques d'insectes ravageurs.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Hêtraie-sapinière

Voir aussi : Gestion forestière, Non-intervention, patrimoine géologique et géomorphologique

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Milieu forestier de l'étage montagnard dominé par le Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) et le Sapin pectiné (<i>Abies alba</i>) qui occupe l'ensemble des flancs du synclinal perché. Cet objet rassemble les entités écologiques suivantes : les hêtraies-sapinières acidiphiles, les hêtraies-sapinières neutrophiles, les hêtraies-sapinières hygrophiles et les hêtraies mésoxérophiles. Surface occupée : 701 ha (16 % surface RNHC).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Cumul (→) et répartition (↕) des précipitations Sécheresse (↗) Vagues de chaleur (↗) Température moyenne de l'air (↗) Enneigement (↘) - Sensibilité du hêtre et du sapin à la sécheresse (notamment printanière), qui impacte le taux de survie des jeunes plants. Avec un déficit hydrique estival : perte de feuilles précoces pour le hêtre (ONF ; Dané, 2021) et perte de 3 mois de réserves de nutriments par année (CRPF). - Sensibilité des essences forestières aux vagues de chaleur intenses et à la répartition inégale des précipitations : risque de dépérissement, propagation du gui sur le sapin pectiné constatée en Chartreuse à plus de 1000 m (CRPF), observations de décentes de cimes du hêtre côté est (ONF). - Le site demeurerait une zone compatible au hêtre et au sapin à horizon 2050 peu importe le scénario. Les peuplements situés les plus bas en altitude et exposés sud seront les plus exposés à moyen terme (modèle IKS). - Pas de dépérissement du hêtre constaté au-delà de 1200 m sur les parcelles privées faisant l'objet d'une gestion forestière (hors Réserve) (CRPF).				- L'état actuel des connaissances sur les processus adaptatifs et d'acclimatation (migration, génétique, phénotypique) est limité (Landmann, et al. 2007). - Une remontée en altitude des essences feuillues de l'habitat est supposée. (INRAE LESSEM, 2024). - La colonisation en altitude sera drastiquement freinée par les barrières naturelles (parois calcaires précédant le pli du synclinal perché). Pressions/Facilitations - En Réserve : pas d'intervention forestière (plantation d'espèces autochtones de plus basse altitude ou non autochtones pour accompagner le renouvellement forestier en lien avec le rehaussement des étages bioclimatiques). - Abroutissement par la faune : limitation du renouvellement forestier, en particulier pour le sapin (ONF, CRPF). Pouvant conduire à un habitat dont la composition est déséquilibrée, en faveur du hêtre (ONF). - Progression des insectes campioxyphages (scolytes, agriles) dans le massif. Exemples : secteurs de Proveysieux / Quaix-en-Chartreuse et du Monastère de la Grande Chartreuse. - La hausse des précipitations favoriserait le chancre du hêtre (Dané, 2021).			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Les hêtraies-sapinières situées les plus haut en altitude seraient moyennement vulnérables au changement climatique si les cumuls de précipitations restent stables et avec un scénario d'émissions modérées (conservation d'une épaisseur de neige au cours de l'hiver). La répétition de sécheresses printanières et le déficit hydrique estival affecteraient l'habitat, situé sur des sols dont la réserve utile est faible en raison du contexte karstique. En cas de hausse des précipitations, l'essaimage des scolytes serait gêné, mais le chancre du hêtre serait favorisé.					De nombreuses incertitudes persistent quant aux perspectives des hêtraies-sapinières en lien avec le changement climatique. Ce manque de connaissance porte sur les conséquences futures des choix de gestion -non intervention et intervention forestière-, et les processus adaptatifs génétiques et d'acclimatation des peuplements. Des apports de connaissances sur les prévisions climatiques et le fonctionnement hydrique (permettant de mieux appréhender la mortalité des arbres) permettraient de mieux évaluer la vulnérabilité de ces habitats forestiers. Les forêts de la RBDI de Malissard pourront renseigner sur l'adaptation intrinsèque des peuplements, en particulier la plasticité des essences en réaction aux changements.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Glacière souterraine

Voir aussi : disponibilité en eau potable, activités touristiques et sportives, patrimoine géologique et géomorphologique.

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Cavités karstiques englacées en permanence dont la fonte est déjà observée sur le territoire de la Réserve sur plusieurs décennies (Grand Glacier dans le secteur du Pinet).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Température atmosphérique (↗) Cumul des précipitations (→) Enneigement (↘) Gel (↘) Aérologie souterraine (?) - Fonte des glaciers dans les zones d'entrée de gouffre et des glaciers souterraines, alors en voie de disparition sur le territoire de la Réserve. - Déstabilisation des bouchons et des planchers de glace (exemple : Grand Glacier vers le Pinet) (EDYTEM, 2024)				Pas de capacité d'adaptation intrinsèque. Pressions/Facilitations - Suivi de la variation de glace déjà mené sur deux glaciers souterraines (Grand glacier, glacier du gouffre Alain Daniel). (RNHC, Club de Spéléo de Savoie). - Désobstructions spéléologiques modifiant l'aérologie et favorisant la fonte, non envisagées en Réserve (EDYTEM, 2024). - Des soins palliatifs existent, mais ne sont pas envisagés en réserve : bouchage de cavités, recharge de neige volontaire en période hivernale (pratiques pastorales anciennes). (EDYTEM, 2024)			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Les glaciers souterrains sont très fortement impactés par le changement climatique. D'autant que la fonte des glaciers favorise la pénétration d'air au sein des réseaux karstiques, ce qui accroît l'exposition de l'objet à l'échelle de la Réserve.					L'évolution des glaciers souterrains en lien avec le changement climatique est négative du fait d'un processus de fonte continue. Des risques se créent (déstabilisation des bouchons et des planchers de glace), rendant le suivi des glaciers plus risqué. De plus, cette fonte de la glace permanente impacte certaines sources karstiques d'eau (EDYTEM, 2024).			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte				
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte				

Patrimoine géologique et géomorphologique

Voir aussi : disponibilité en eau potable, glaciers souterraines, activités touristiques et sportives, hêtraie-sapinière

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Les Hauts de Chartreuse sont caractérisés par des objets géologiques à forte valeur patrimoniale. Les milieux rupestres et de souterrains correspondent à quatre unités écologiques de formes d'érosion : les grottes et gouffres, les falaises et rochers calcaires, les éboulis et chaos rocheux, les lapiaz et dalles rocheuses. Les mouvements gravitaires, d'origine humaine et/ou anthropique modifient constamment ce patrimoine. Il s'agit des déplacements de terrains (crues, laves torrentielles, chutes de blocs, glissements de terrain). Ces aléas naturels peuvent menacer des activités humaines et former des risques. Quelques exemples : 2010 : Éboulement pilier Sud de la Dent de Crolles. 2016 : Éboulement de la face Ouest du Mont Granier. 2021 : Crue torrentielle à Saint-Hilaire-du-Touvet liée à de fortes précipitations et à une fonte nivale brutale (hors réserve). Surface occupée : 759 ha (17,21 % surface RNHC).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Température atmosphérique (↗) Cumul (→) et répartition (↕) des précipitations Gel (↘) Enneigement (↘) - La dynamique érosive évolue à la marge pour les phénomènes karstiques. - Evolution un peu plus importante des phénomènes d'érosion liés au ruissellement et aux instabilités gravitaires. - La biostasie stabilisatrice peut être menacée si la forêt venait à perdre en surface à cause des effets du changement climatique (parasitisme, dépérissement, instabilité météorologique, sécheresse, etc.). - Augmentation des dangers et d'instabilités pour les humains pratiquant le site : parois rocheuses, torrents et glaces souterraines. (EDYTEM, 2024).				Pas de polarité négative et positive aux effets du changement climatique pour cet objet. Pressions/Facilitations - Dégradations anthropiques liées à du vandalisme. - Sur-tourisme indélicat ou mal géré. (EDYTEM, 2024). - La possible montée en altitude du hêtre sur les flancs, limiterait les processus érosifs. Cette essence offre au versant une meilleure protection face à la chute de pierre que les résineux. (INRAE-LESSEM, 2024).			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
En dehors des glaciers souterraines, les composantes du patrimoine géologique et géomorphologique ne sont pas menacées de disparition par le changement climatique. Du point de vue de l'objet : optimisation ou diminution des phénomènes érosifs morphogènes, n'affectant pas positivement ou négativement l'objet. Du point de vue humain : L'augmentation possible des phénomènes d'instabilité gravitaire et de ruissellement sera perçue négativement, puisqu'elle affecterait davantage la fréquentation du site et les activités humaines (risque d'éboulement, déstabilisation des sentiers, interdiction de zones). (EDYTEM, 2024).					- Evolution à la marge et invisible à l'échelle des temps humains. - Exception de la dynamique gravitaire des flancs du synclinal perché : bouleversements sensibles qui s'inscrivent dans le fonctionnement normal du système, exacerbés par une répartition plus inégale des précipitations. - Incertitudes au sujet du franchissement possible de seuils qui conduiraient à une intensification des phénomènes gravitaires, conduisant vers une rhéxistasie (cercle vicieux alimenté par la dégradation du couvert végétal d'origine humaine et/ou climatique et l'érosion hydrique du sol et son appauvrissement). (programme de recherche ERC « Crack The Rock, IsTerreUGA). - Limiter et gérer le sur-tourisme potentiel qui occasionnerait une dégradation du patrimoine géologique. (EDYTEM, 2024).			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Bas marais alcalin

Voir aussi : non-intervention

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Les surfaces occupées par les milieux humides sont très localisées en raison de la nature karstique du sous sol de la Réserve. Présent dans la zone humide de la Grenouille (1000 m), située sous la face nord du Granier, le bas marais alcalin représente un « confetti humide » dont la conservation représente un enjeu en soi en raison des espèces remarquables qu'il abrite. Cet habitat est notamment occupé par des petites laïches (<i>Carex spp.</i>), le Cordulégastre bidenté (<i>Cordulegaster biden tata</i>) et le Sabot de Vénus (<i>Cypripedium calceolus</i>) Les zones humides sont rares en Chartreuse et leur état de conservation est peu favorable. Surface occupée : 0.60 ha (0,01 % surface RNHC).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Cumul des précipitations (→) Répartition des précipitations (?) Enneigement (↘) Vague de chaleur (↗) Sécheresse (↗) - Les épisodes de pluies plus intenses et des périodes de sécheresse pourraient induire un tarissement plus ou moins important des sources de dépôts de versant, perturbant l'alimentation en eau du bas marais alcalin et entraînant des modifications irréversibles des propriétés de la tourbe (CEN Isère, 2024).				Capacité d'adaptation intrinsèque nulle. Pressions/Facilitations - Fermeture du milieu observée par les gardes RNHC : processus de colonisation par le pin sylvestre. (RNHC, 2024). - Un suivi scientifique et une surveillance réduite à l'échelle de la RN. (RNHC, 2024). - Un milieu exempté d'engraisement et de drainage. - Rajeunissement ponctuel du milieu, associé aux éboulis.			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Vulnérabilité très forte du bas marais alcalin, dont l'alimentation en eau et la composition floristique sont sensibles et exposés à deux changements environnementaux : la fermeture du milieu et le changement climatique.					Le bas marais alcalin – comme toutes les zones humides du site – est directement exposées aux effets du changement climatique, qui affecte l'alimentation en eau et accentue son évaporation. Deux orientations de gestion statueront sur le devenir du bas marais alcalin, dont le contexte de fermeture constituerait une menace plus directe que le changement climatique en tant que tel (dont les impacts mentionnés plus haut s'inscrivent à moyen terme) : - Maintenir le milieu en libre-évolution. - Une réouverture partielle, sans intervention mécanique, en réaction à un contexte de fermeture et au risque associé de banalisation du milieu.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Espèces arctico-alpines

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Un taxon arctico-alpin se caractérise par une distribution naturelle qui comprend les régions arctiques et les chaînes de montagne, plus au sud. Sur les Hauts de Chartreuse, c'est le cas du Sizerin flammé (<i>Carduelis flammea</i>), du Merle à plastron (<i>Turdus torquatus</i>), de la Véronique des Alpes (<i>Veronica alpina</i> L.) et de l'Orpin rose (<i>Rhodiola rosea</i> L.). Les espèces arctico-alpines sont menacées par le changement climatique en raison de l'augmentation des températures et de la diminution de l'enneigement.	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> - Enneigement (↘) - Gel (↘) Température moyenne atmosphérique (↗) - Sensibilité forte de ces espèces inféodées au milieu alpin (non présent en Réserve) et subalpin en raison de leurs besoins écologiques, dont le changement climatique est défavorable : besoin de la présence d'un manteau neigeux et de températures froides.				- Adaptations comportementales pour la faune : recherche de zones fraîches et accroissement des dépenses énergétiques. Pressions/Facilitations - La présence de secteurs frais, notamment exposés nord, jouant un rôle de refuge. (PNRC, 2024). - Absence d'un réel étage alpin à l'échelle de la Chartreuse (point culminant : 2082 m) : surfaces sommitales restreintes. - Isolement géographique par rapport à l'arc alpin et aux chaînons pré-alpins. (RNHC, 2024).			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
La niche climatique des espèces arctico-alpines sort progressivement des limites altitudinales du massif de la Chartreuse. Des secteurs jouant un rôle de refuge, disposés selon l'altitude, l'habitat et l'exposition, sont présents en Réserve et leur reste favorable.					Poursuite du déclin des espèces arctico-alpines : tendance de régression de l'abondance et de l'aire de répartition.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Bouquetin des Alpes

Voir aussi : activités de plein air, surveillance, pédagogie

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
L'espèce est réintroduite en 2010 et 2011 sur le site de la Plagne. La population actuelle est dispersée en deux noyaux (femelles reproductrices) sur le versant ouest du Granier et sur le versant ouest du Pinet. Priorité de conservation : 1 Risque d'extinction : Quasi menacé (N).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Température moyenne atmosphérique (printemps, été) (↗) Enneigement (↘) Vague de chaleur (↗) Sécheresse (↗)				- Faible diversité génétique de l'espèce, limitant la capacité d'adaptation intrinsèque. - Adaptations comportementales et stratégies de thermorégulation en lien avec la hausse des températures (recherche de zones fraîches, ombragées ou exposées nord). (Toïgo et al., 2016 ; OFB, 2024). Pressions/Facilitations - Avec la hausse de la fréquentation et l'étalement de la période clémente pour les activités touristiques : dérangement lors de la période de reproduction et de mise-bas (OFB, 2024 ; RNHC, 2024). - Accroissement de la période de rencontre entre bouquetins et animaux domestiques / autres ongulés. - Disparition plus précoce des névés, affectant les stratégies de thermorégulation. - Absence d'un réel étage alpin à l'échelle de la Chartreuse (point culminant : 2082 m) : surfaces sommitales restreintes (OFB, 2024). - Actions sur la fréquentation et les pratiques anthropiques pouvant déranger l'espèce (sensibilisation, réglementation). (RNHC, 2024 ; Toïgo et al., 2016 ; OFB, 2024).			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
Des études sur les effets du changement climatique sur les bouquetins pointent une forte vulnérabilité de l'espèce. Le changement climatique affecte la nourriture de l'espèce, qui influe sur la condition physique des femelles en périodes de gestation puis de lactation et sur la qualité des individus de bouquetins (dont le marqueur est la taille des cornes, plus réduite avec la hausse des températures). La production de jeunes après des étés plus chauds serait plus faible (Toïgo et al., 2016). Le changement climatique impacterait donc l'abondance et l'état sanitaire d'une espèce dont la faible diversité génétique limite sa capacité d'adaptation.					Les perspectives pour le bouquetin des Alpes semblent pessimistes en raison de son exposition et de sa sensibilité aux effets directs et indirects du changement climatique. - Stress thermique - Baisse du taux de survie - Désynchronisation entre les ressources et les besoins nutritifs - Réduction de la taille des cornes - Migrations journalières vers des altitudes plus élevées - Dépenses énergétiques (déplacements + thermorégulation) - Baisse du nombre de cabris suite à des printemps / étés chauds Sensibilisation accrue auprès du public afin de limiter le plus possible le dérangement de l'espèce par les pratiques anthropiques (drone, trail, photographie animalière...), en lien avec le potentiel allongement de la période clémente pour les activités touristiques (RNHC, 2024).			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Chevêchette d'Europe

Voir aussi : Gestion forestière

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
La Chevêchette d'Europe a une importante plasticité d'habitat, plutôt situé en altitude ou dans des combes froides. L'existence de cavités dans les arbres matures et morts créées par le Pic noir favorise grandement sa présence. Ce rapace se nourrit de micro-mammifères, d'oiseaux, et son régime alimentaire est opportuniste. La Réserve compte 7 mâles territoriaux connus présents sur 7 secteurs de contact connus. Priorité de conservation : 2 Risque d'extinction : Quasi menacé (N).	- La Chevêchette d'Europe n'est pas affectée directement par le changement climatique. - Sa sensibilité est liée à la modification de son habitat (milieu forestier, nourriture) par le changement climatique et aux modalités de la gestion forestière (Dané, 2021).				Forte plasticité alimentaire et d'habitat. Pressions/Facilitations - Les effets de la sécheresse sur les sapinières favoriseraient les chablis, des espaces de chasse pour l'espèce. - Si la pessière remonte en altitude → formation de pré-bois favorables à l'espèce. - La non-intervention : le bois mort non évacué favorise la nourriture de l'espèce (micro-mammifères et insectivores). - En cas de fortes précipitations printanières : moins bonne fructification du hêtre, moins favorable aux espèces dont se nourrit la Chevêchette. - En lien avec les effets du CC sur la santé des forêts des flancs, l'extraction du bois scolyté susciterait une suppression de perchoirs et niches.			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives			
La population de la Chevêchette d'Europe ne figure pas directement menacée par le changement climatique en raison de sa plasticité alimentaire et d'habitat. Le possible dépérissement des pessières pourrait diminuer le nombre de loges pour l'espèce. Sa vulnérabilité dépend avant tout des modalités de gestion forestière et de la fréquentation humaine en Réserve. Les zones de non-intervention favorisant une forêt riche, mature et présentant des arbres morts représentent une opportunité pour l'espèce (LPO ; MEEDDAT, MNHN ; Dané, 2021).					Compte tenu des évolutions climatiques et des facteurs non climatiques, la Chevêchette d'Europe semble moyennement vulnérable au changement climatique en raison de sa forte plasticité alimentaire et d'habitat. Sa bonne préservation relève avant tout de la gestion forestière. La Réserve abrite des forêts en cours de maturation qui lui sont favorables, l'habitat idéal de l'espèce présentant des zones de clairières, des arbres matures et des arbres morts.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Patrimoine naturel

Aigle royal

Voir aussi : activités de plein air

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation				
Situé en bout de chaîne alimentaire, l'Aigle royal est un prédateur et un charognard, qui régule les populations d'oiseaux et de mammifères. La Réserve compte deux couples nicheurs sur son périmètre. La population est relativement isolée et est fortement soumise à la pression des activités humaines autour des falaises (notamment survol motorisé, vol libre, escalade...). Priorité de conservation : 1 Risque d'extinction : Vulnérable (V).	Paramètres climatiques principaux et évolutions Cumul des précipitations (→) Pluies intenses (→) - Une potentielle hausse des précipitations affecterait l'espèce : les oisillons sont sensibles à l'humidité, qui favorise les maladies (Dané, 2021).				- L'aigle royal est intrinsèquement adapté à une variété de climats. Les parois rocheuses ne vont pas changer radicalement sous l'effet du changement climatique. - Forte plasticité alimentaire. Pressions/Facilitations - L'intensification des pratiques humaines qui agissent sur l'espace aérien et les parois rocheuses : drone et vol libre, survol motorisé et escalade. (Biodiv'sports ; Dané, 2021 ; FFME Savoie). - La concurrence avec de nouvelles populations de grands rapaces est peu probable (circaète, vautours fauves) (RNHC, 2024 ; Dané, 2021).				
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives				
Adapté à une diversité de contextes climatiques, l'Aigle royal est faiblement vulnérable au changement climatique. L'opportunité pour la population d'aigles royaux paraît nulle. La vraie menace qui pèse sur l'espèce est le dérangement possible par les activités de plein air (survol, drone).					Compte tenu des évolutions climatiques et des facteurs non climatiques, l'Aigle royal semble faiblement vulnérable au changement climatique en raison de sa forte plasticité alimentaire.				
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte				
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte				

Diptère syrphidé

Voir aussi : pinèdes de pins à crochets

Description		Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Les Diptères syrphidés sont des mouches pollinisatrices indicatrices de biodiversité. Étudiés sur les secteurs de la Dent de Crolles et du Mont Granier entre 2008 et 2020, les syrphes sont de bons « bioindicateurs » de l'état du recrutement forestier et de la fonctionnalité des habitats. La diminution de leur abondance et de leur diversité spécifique est observée sur les Hauts de Chartreuse et peut être associée à des conditions plus chaudes et sèches dans l'étage subalpin.		Paramètres climatiques principaux et évolutions Température moyenne atmosphérique (7)				Migration en altitude. Pressions/Facilitations -Diminution de la fonctionnalité des habitats fermés et semi-ouverts subalpins (déjà estimée sur le site entre 2008 et 2020). (Claude, Decoin et Tissot, 2021). -Expansion lente des habitats forestiers sur des milieux plus pâturés (Mont Granier, Dent de Crolles). (Ochando, 2023).			
		Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et Opportunité					Perspectives				
La vulnérabilité de la syrphidofaune est considérée comme moyenne. Elle dépend des espèces selon leur affinité à certains étages bioclimatique. Les plus exposées seraient celles inféodées aux milieux subalpins. La désynchronisation entre la migration de l'espèce en altitude et la formation d'habitats propices à son maintien constitue une réelle menace.					L'étude Syrph The Net révèle que la syrphidofaune connaît une dégradation fonctionnelle, en particulier dans le subalpin, avec la diminution d'abondance et de diversité génétique des espèces. Cette dégradation est en lien direct avec un manque de maturité forestière et un déficit de recrutement forestier et des essences d'accompagnement. On s'interroge encore sur la mise en lien des résultats de cette étude avec le changement climatique (Claude, Decoin et Tissot, 2021). Des tendances similaires sont observées ailleurs dans les Alpes. La Réserve devrait reconduire une étude « Syrph The Net » avant 2030, comme recommandé par Claude, Decoin et Tissot (2020).				
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte				
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte				

Surveillance

Voir aussi : Activités touristiques et sportives

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
La mission de surveillance s'effectue dans un contexte montagnard accidentogène qui présente de nombreuses difficultés pour les trois agents commissionnés. Le travail de police renvoie en priorité au rappel à la loi et à la sensibilisation.	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Ensoleillement (?) Enneigement (↘) Température atmosphérique et vagues de chaleur (↗) Vent et brouillard (?)				Expérience de l'équipe dans l'adaptation aux conditions météorologiques. Le déploiement d'agents nature sur le terrain en appui à la mission de surveillance lors des saisons à forte fréquentation.			
	- Modification des pratiques du public dans le temps et dans l'espace (période allongée avec la diminution de l'enneigement, nouvelles activités et nouveau public). - Une augmentation potentielle des pressions exercées sur le site (allongement de la période de fréquentation, intensification des pratiques dans certains secteurs - déjà observée). - Une pénibilité au travail de terrain plus importante lors de périodes de chaleur + intersaison (forte fréquentation à surveiller).				Pressions/Facilitations - Dynamique de baisse du nombre d'infractions et d'acculturation du public à la réglementation = progression de l'ancrage territorial depuis le début des années 2000. - Financements Fond vert pour le recrutement d'agents nature, en appui à la mission de surveillance du fait d'une présence sur l'ensemble du site. - Incertitudes liées aux prévisions météorologiques.			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et/ou Opportunité				Perspectives				
Les impacts directs du changement climatique (vagues de chaleur) affecteront peu les missions de surveillance, les gardes étant habitués à s'adapter à des conditions climatiques instables. En revanche, des impacts indirects (surfréquentation, intensification des pratiques socio-économiques) affecteront la surveillance. Bien que le nombre d'infractions soit en baisse depuis une vingtaine d'années avec la mise en place de la mission police (hormis à la sortie de la période Covid-19), une vigilance doit être portée sur l'allongement de la « bonne saison ». Une présence humaine plus importante sur le site tout au long de l'année (en particulier lors des intersaisons) serait envisageable.				Face à la hausse potentielle de la fréquentation tout au long de l'année, la pression anthropique (dérangement d'espèces, piétinement...) serait accentuée, en particulier sur les secteurs les plus visités aujourd'hui et où la pression de surveillance par les agents commissionnés à l'année est déjà importante à l'échelle du site.				
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Suivis scientifiques

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
Les suivis scientifiques s'inscrivent dans la mission d'amélioration des connaissances pour la préservation et la gestion du patrimoine naturel et culturel. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse est un site de recherche fortement utilisé. Les suivis scientifiques s'effectuent le plus souvent en partenariat avec des laboratoires de recherche qui obtiennent un financement de la Réserve. Les projets de recherche touchent à des thématiques variées : habitats, flore, faune, cosmologie, géomorphologie, archéologie, karstologie et paléontologie. Depuis une dizaine d'années, le site fait l'objet de recherches sur le changement climatique et de ses effets sur les écosystèmes montagnards. Les suivis scientifiques dépendent des financements et des partenariats et nécessitent données de terrain, pose de matériel et travail en extérieur.	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Sécheresse (↗) Aléas climatiques (?) Vagues de chaleur (↗) Température de l'air (↗) Enneigement (↘) - Les recherches se focalisent davantage sur des thématiques : partage de l'eau, adaptation des activités pastorales, recherche sur des pratiques de gestion favorisant l'amélioration de l'alimentation hydrique des zones humides. - Prise en compte du CC indispensable pour la réalisation des suivis en cours (modification de phénologie, assèchement de la flore, niveau d'activité de la faune). Les conditions d'études seraient affectées de façon contrastée : - L'adoucissement du climat et la diminution de l'enneigement et du gel favorisent l'accès au site (en altitude et sous terre) et les suivis hivernaux. - Des difficultés sur le terrain pour les personnes et le matériel (chaleur, aléas, torrents et crues, instabilité des parois rocheuses, risques liés à la fonte des glaciers souterrains du fait de la déstabilisation des bouchons et planchers de glace).				- Anticipation des nouveaux besoins : matériel, études, partenaires. - Adaptabilité des calendriers de terrain, des protocoles en lien avec les conditions météorologiques supposément plus instables. Pressions/Facilitations - Une trop forte focalisation sur le changement climatique comme « clé d'explication » unique des changements environnementaux. - L'arrêt du suivi « Alpage sentinelle ». - Des suivis axés sur le changement climatique déjà en place : CIMAE, Phénoclim, suivi des glaciers souterrains du gouffre Alain Daniel et du Grand glacier. - Une demande croissante de la part des acteurs sur le sujet. Besoin d'estimation des effets du changement à vulgariser et à diffuser.			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et/ou Opportunité					Perspectives			
Les activités de recherche se trouvent affectées par le changement climatique de manière contrastée et à différents niveaux : sur le terrain, avec des conditions plus douces favorables à l'accès au site au cours de l'année et un accroissement des risques dans les milieux souterrains. Le contexte peut être perçu comme une opportunité au développement et à la poursuite de suivis axés sur le CC, notamment sur la phénologie, les glaciers souterrains, l'évolution des milieux et les zones humides. Cela doit s'accompagner d'une vigilance de ne pas considérer le changement climatique comme seul facteur explicatif des changements environnementaux observés.					Des besoins en hausse de suivis et d'études orientés sur l'eau et le pastoralisme, l'évolution des milieux et des paysages, l'impact de la fréquentation et le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes (dynamiques, fonctionnalité). Vers plus de partenariats de recherche ? Favoriser les suivis axés sur les dynamiques des éléments du patrimoine naturel sur le temps long. Anticiper les évolutions en l'état des connaissances actuelles : réfléchir à une gestion adaptative dans un contexte d'incertitude.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Non-intervention

Voir aussi : Hêtraie-sapinière, Pessière

Description	Sensibilité au changement climatique				Capacité d'adaptation			
La non-intervention humaine renvoie à laisser en libre évolution les milieux naturels. Cette orientation de gestion concerne : - La réserve biologique de Malissard (84 ha en RBI et 3 ha en RBD). - La réserve biologique domaniale intégrale de l'Aulp du Seuil (165 ha). - Les forêts subalpines situées dans le pli du synclinal, plus exploitées depuis les années 1950. L'objectif de la RBI est la libre expression des processus d'évolution naturelle d'écosystèmes forestiers. L'objectif de la RBD est la conservation d'un marais alcalin.	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Sécheresse (↗) Aléas climatiques (?) - La remontée des ligneux en altitude, plus rapide dans l'étage montagnard et collinéen que dans le subalpin. - La sensibilité des espaces de non intervention au CC : richesse pour l'amélioration de la connaissance sur la plasticité des essences face au changement climatique.				Les outils réglementaires existent pour protéger des zones de non intervention : arrêtés préfectoraux (zones de quiétude), document d'aménagement forestier, plan de gestion RBI. Certains déjà en place assurent la pérennité du mode de gestion. Pressions/Facilitations - Réaffirmer le rôle des réserves et des dynamiques spontanées face au changement climatique. - Des premières connaissances développées sur les dynamiques d'origine spontanée et anthropique des milieux et des paysages (2023). - Des suivis botaniques avec supports photographiques en place. - Pression sociale et économique (entretien des milieux ouverts, besoins en ressource fourragère, exploitation forestière dans le cadre de la transition énergétique). - Des pressions sur la biodiversité, en lien avec la fermeture de la ZH de la Grenouille.			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et/ou Opportunité					Perspectives			
L'intérêt scientifique des dynamiques spontanées, permettant de suivre la réponse des écosystèmes aux changements climatiques, manifestant l'adaptation intrinsèque des milieux. La vulnérabilité de ce mode de gestion semble moyenne au regard des potentielles réflexions/demandes sur l'ouverture de milieux (pour le pâturage, les zones humides et le risque incendie).					Se donner les moyens de bien suivre ces évolutions spontanées pour une gestion adaptative et argumentée suivant le type de milieux. A long-terme, la question de la colonisation forestière des milieux ouverts actuels, de la fermeture du paysage et de l'acceptation sociale se posera t-elle ? (dynamique à 50/70 ans..). La réserve souhaite promouvoir la non-intervention.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

Pédagogie

Description	Sensibilité au changement climatique				Pressions/Facilitations			
Les outils de sensibilisation des différents publics de la Réserve : - Panneaux pédagogiques aux abords et à l'entrée du site (exemple : entrée de Réserve à Perquelin). - Sensibilisation auprès des touristes et des usagers du site lors des tournées de surveillance. - Animations ESN à destination des scolaires et du grand public. - Animation de la fresque du climat auprès d'un public adulte. - Communications diverses (site internet, vidéos YouTube, film, flyers, sollicitations pour des articles de presse, journaux télévisés, podcasts...).	<i>Paramètres climatiques principaux et évolutions</i> Vagues de chaleur (↗) Température atmosphérique (↗) Enneigement (↘) - Vers une inclusion de nouveaux messages à transmettre dans le discours de la réserve : faits généraux sur le climat et ses effets sur le site, plus d'écoresponsabilité, plus de militantisme, renforcement de l'engagement individuel et collectif face aux enjeux. - Une prise en compte du public grandissant du fait de phénomènes intenses en montagnes : vagues de chaleur, sécheresses, éboulements, crues torrentielles, diminution de l'enneigement. - Vers plus de demandes d'informations de la part du public et des socio-professionnels sur le changement climatique et l'érosion de la biodiversité ?				- Moyens à disposition pour démultiplier les personnes sur le terrain pour sensibiliser. Exemple : Fond Vert pour les agents nature. - Orientations du PNRC en matière de communication sur le changement climatique. Nécessité d'une culture commune PNRC – Réserve, en cours de construction. - La persistance d'une communication intégralement scientifique. Manque de vulgarisation du contenu scientifique. - Des manquements au niveau du PNRC : absences de réunions publiques sur le sujet, de diagnostic de vulnérabilité, d'élus chargé de la question climat, peu de présence physique. Parc et Réserve ne sont pas identifiés comme acteurs du climat. - Intérêt grandissant pour la thématique CC : effets déjà perçus individuellement à l'échelle du massif (vagues de chaleur, incendies, restrictions sur la ressource en eau...). - La présence d'études portées par la Réserve axées sur le climat sur lesquelles communiquer (Syrph The Net, Phénoclim, suivi grand glacier).			
	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Vulnérabilité et/ou Opportunité					Perspectives			
Malgré l'intérêt croissant du public pour s'acculturer au changement climatique et à la crise de la biodiversité, le PNR et la RNN ne sont pas identifiés en tant qu'acteurs du changement climatique. Pour autant, les sollicitations émanant d'acteurs extérieurs sur le CC augmentent, notamment sur la disponibilité de l'eau sur les Hauts. Les deux structures sont des acteurs pédagogiques structurants à l'échelle du territoire, et le contexte représente une opportunité pour diversifier les outils pédagogiques en y intégrant le changement climatique. La vulnérabilité des animations saisonnières dépend des moyens mis à disposition pour accroître la présence sur le terrain et de la hausse probable de la fréquentation lors des périodes d'intersaison.					Maintenir, voire renforcer le lien avec les écoles du territoire et inclure davantage la question du changement climatique dans les missions d'éducation et de sensibilisation à la nature : exposer des éléments dynamiques visuels liés au cas de la Réserve (exemple : la fonte du grand glacier, les rephotographies paysagères), organiser des réunions publiques, diffuser le film de la RNN avec un temps de discussion, festivals sur la question. Entrée facilitatrice pour accrocher le public d'après l'expérience du garde animateur RNHC : inviter au partage des perceptions, des émotions et des inquiétudes du public et favoriser les exercices de récit. Point de vigilance : rigueur scientifique de l'information communiquée.			
V	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			
O	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte			

LE PATRIMOINE NATUREL ET LES ACTIVITÉS HUMAINES DES HAUTS DE CHARTREUSE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

CONTEXTE DE LA MISSION

Depuis quelques années, les effets que l'on semble pouvoir attribuer au changement climatique commencent à s'observer sur les Hauts de Chartreuse : diminution de l'enneigement, hausse des températures et intensification des sécheresses, remontée d'espèces à affinité montagnarde et collinéenne en altitude, assèchement des sources d'eau plus tôt dans la saison et baisse du niveau de glace dans les glaciers souterrains. Ces impacts du changement climatique se font indirectement ressentir à travers les activités socio-économiques, par exemple concernant la demande de stockage d'eau supplémentaire ou de réfection de captages d'eau préexistants sur les alpages.

Au regard de ces constats, le gestionnaire souhaite s'engager dans une démarche prospective lui permettant d'avoir une vision plus globale de scénarios climatiques qui peuvent affecter le site. Ces différents scénarios permettraient un recueil de données estimatives et l'amorçage de pistes de réflexion et/ou actions, suivis à mener, afin notamment d'engager des concertations avec les usagers du site.

MÉTHODOLOGIE

PHASE DE CADRAGE

Cadrage de l'étude : théorie, bibliographie de terrain, choix des objets d'analyse
Présentation de la démarche à l'équipe : validation, ajustements...

RÉCIT CLIMATIQUE DE L'AIRE PROTÉGÉE : ANALYSE DU CLIMAT PASSÉ, PRÉSENT ET FUTUR

Collecte de données climatiques
Analyse des données et synthèse

ANALYSE DES OBJETS D'ÉTUDE

Cadrage et description des objets
Questionnaires : préparation, diffusion, collecte de données et traitement des résultats
Entretiens semi-directifs : préparation de grilles d'entretien, réalisation, traitement des résultats
Réalisation des « fiches objets »

Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité, composé d'un récit climatique et d'un récit prospectif alimenté par la bibliographie, les dires d'experts et l'expérience des acteurs du site

LA RÉSERVE



Réserve Naturelle
HAUTS DE CHARTREUSE

DATE DE CRÉATION

Le 01/10/1997

RÉGION

Auvergne-Rhône-Alpes

DÉPARTEMENTS

Isère, Savoie

COMMUNES

Apremont, Chapareillan, Entremont-le-Vieux, Plateau-des-Petites-Roches, Porte-de-Savoie, Sainte-Marie-du-Mont, Saint-Pierre-de-Chartreuse, Saint-Pierre d'Entremont (Isère), Saint-Pierre-d'Entremont (Savoie)

SUPERFICIE ET MILIEUX

4420.40 hectares

Roches nues (202,62 ha)

Forêts mélangées (268,58 ha)

Forêts de conifères (1739,70 ha)

Pelouses et pâturages naturels (640,80 ha)

Forêts de feuillus (318,45 ha)

PRÉSENTATION DU SITE

Légende

- Hêtre
- Sapin
- Bouleau
- Épicéa
- Pin à crochets
- Calcaires à crinoides
- Calcaires récifaux urgoniens
- Calcaires marneux hauteriviens



LES PRINCIPAUX MILIEUX

- 1 PELOUSES ACIDOPHILES DES PÂTURAGES
- 2 PELOUSES CALCICOLES
- 3 PINÉDES DE PINS À CROCHETS
- 4 PESSIÈRES
- 5 HÊTRAIES-SAPINIÈRES
- 6 LAPIAZ
- 7 PAROIS CALCAIRES
- 8 ÉBOULIS ET CHAOS ROCHEUX

L'étage montagnard (de 900 à environ 1600 m) est principalement composé de milieux forestiers. La hêtraie-sapinière est le milieu forestier le plus présent dans l'étage montagnard. Cet habitat est dominé par le Hêtre (*Fagus sylvatica*) et le Sapin pectiné (*Abies alba*), et occupe l'ensemble des flancs du synclinal perché.

L'étage subalpin (d'environ 1600 m à 2062 m) présente une alternance entre des milieux ouverts, semi-ouverts et fermés. Les forêts subalpines sont dominées par l'épicéa (*Picea abies*) et, à plus haute en altitude, par le pin à crochets (*Pinus uncinata*). Les forêts subalpines ne sont plus exploitées depuis les années 1950 et ont atteint un degré de naturalité assez important.

Le pastoralisme, la sylviculture pratiquée sur les flancs et les activités cynégétiques (interdites par décret sur 30 % du site) constituent les trois principales activités et maîtrises d'usages présentes sur la Réserve naturelle. À ces activités s'ajoutent les pratiques touristiques et sportives favorisées par la proximité des grandes agglomérations à l'image de Grenoble, Chambéry et Lyon.

LE CLIMAT LOCAL : ÉVOLUTIONS RÉCENTES ET PROJECTIONS

Le récit climatique traite les évolutions récentes et les projections futures du climat, paramètre par paramètre (température atmosphérique, précipitations, enneigement) et à différentes échelles, régionale et locale. Les données de projections climatiques sont extraites de graphiques proposés par DRIAS, Les futurs du climat¹, et sont visualisées à l'échelle du massif de la Chartreuse, à 1500 m d'altitude via 2 modèles différents et une comparaison multi-modèles. Entre les étages montagnard et subalpin, cette altitude semble la plus représentative de la réserve naturelle. La synthèse ci-dessous restitue les évolutions récentes mesurées dans des stations météorologiques et nivo-météorologiques et les projections futures modélisées par un des modèles du Centre National de Recherches Météorologiques.

Les évolutions récentes du climat de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse



L'augmentation des températures moyennes annuelles²

Sur la période 1991-2020, la température moyenne a **augmenté** de plus de **1,5°C** par rapport à la période 1961-1990 (945 m).



La stabilité relative des cumuls de précipitations

A l'échelle régionale, les précipitations sont en **légère hausse** depuis 30 ans.

A l'échelle de la Chartreuse, l'évolution des cumuls de précipitations n'affiche **pas de tendance significative** au cours du XXe siècle. Une importante **variabilité interannuelle**, soit l'alternance entre périodes arrosées et sèches.



La diminution de l'enneigement³

Entre les hivers 1960-1961 et 2012-2013, au col de Porte (1325 m) :

Diminution de la hauteur de neige moyenne de **12 cm** par décennie, soit une perte de **40 %** du manteau neigeux entre 1960 et 2013.

Diminution de la durée d'enneigement supérieure à 1 mètre de **15 jours** par décennie.

Diminution de la durée d'enneigement de **6 jours** par décennie, soit près d'un mois d'enneigement en moins entre 1960 et 2013.

Les projections climatiques sur la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse⁴

1976-2005

Normales climatiques modélisées

Température moyenne annuelle



5.5 °C

Printemps : 4.1 °C
Été : 12.8 °C
Automne : 6.5 °C
Hiver : -1.2 °C

Cumul annuel des précipitations



1739 mm

Printemps : 443 mm
Été : 396 mm
Automne : 454 mm
Hiver : 446 mm

Hauteur de neige moyenne novembre - avril



67 cm

Nombre de jours de gel/an



131 jours

RCP4.5

RCP 4.5 : avec politique climatique mondiale

Hausse des températures moyennes

+1.1°C pour l'horizon proche⁵
+1.6°C pour l'horizon moyen
+2.2°C pour l'horizon lointain

Stabilité relative des cumuls de précipitations et forte variabilité interannuelle

+66 mm pour l'horizon proche
+128 mm pour l'horizon moyen
+85 mm pour l'horizon lointain

Diminution de l'enneigement

-28 cm pour l'horizon proche
-35 cm pour l'horizon moyen
-40 cm pour l'horizon lointain

Diminution du nombre de jours de gel

Horizon moyen : **- 34 jours/an**
Horizon lointain : **- 49 jours/an**

RCP8.5

RCP8.5 : sans politique climatique mondiale

Forte hausse des températures moyennes

+1.2°C pour l'horizon proche
+2.1°C pour l'horizon moyen
+4.1°C pour l'horizon lointain

Légère hausse des cumuls de précipitations et forte variabilité interannuelle

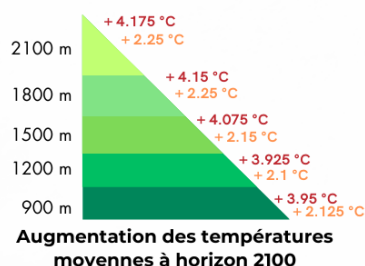
+233 mm pour l'horizon proche
+210 mm pour l'horizon moyen
+103 mm pour l'horizon lointain

Forte diminution de l'enneigement

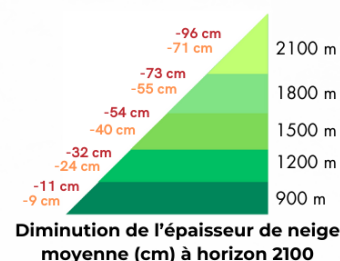
-31 cm pour l'horizon proche
-42 cm pour l'horizon moyen
-54 cm pour l'horizon lointain

Diminution du nombre de jours de gel

Horizon moyen : **- 48 jours/an**
Horizon lointain : **- 76 jours/an**



Des changements climatiques plus importants avec l'altitude



¹ DRIAS : Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements

² Climat HD pour les données à l'échelle régionale ; station Météo France de la Grande-Chartreuse (945 m) pour les données à l'échelle locale.

³ Station nivo-météorologique du col de Porte (1325 m).

⁴ CNRM-CMS / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020. Données projetées pour le massif de la Chartreuse à 1500 m.

⁵ Horizon proche : entre 2021 et 2050 ; Horizon moyen : entre 2041 et 2070 ; Horizon lointain : entre 2071 et 2100.

LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES HAUTS DE CHARTREUSE

Elevage à l'herbe

L'activité est fortement sensible au changement climatique, en particulier à l'augmentation des températures printanières et des sécheresses estivales qui affectent la ressource fourragère et les bêtes. Ces changements peuvent conduire à une baisse de la qualité du foin et à un stress thermique et hydrique élevé pour les bêtes, en particulier les bovins. Le niveau de vulnérabilité dépend de l'alimentation en eau et de la topographie de l'alpage. Le changement climatique induit des choix d'adaptation pour l'activité, touchant à la sélection des races, à l'alimentation en eau et aux effectifs et à la conduite des troupeaux.

Eau

Des effets sont attendus et déjà perceptibles :
- L'orridification estivo-automnale avec assèchement progressif de sources karstiques, aggravé par la fonte des glaciers souterraines.
- la perte de soutien des étiages karstiques estivaux avec le passage d'un régime pluvio-nival à un régime pluvial et, plus secondairement, la fonte des glaciers souterrains.
La notion d'adaptabilité de la ressource est variable selon les points de vue, selon si l'on souhaite maintenir le fonctionnement du socio-système actuel (et alors maintenir les capacités d'approvisionnement en eau) ou si l'on souhaite empêcher la mise en place d'aménagements adaptés et préserver la ressource pour les usages écosystémiques.

La fonte déjà observée des glaciers souterrains est due à l'augmentation des températures moyennes et, en conséquence, à la modification de l'aéologie souterraine. Ces éléments du patrimoine géologique sont menacés de disparition par les dérèglements climatiques. Sans être un phénomène majeur, cette fonte mène à une perte du soutien d'étiages karstiques estivaux de certaines sources.

Glaciers souterrains

Ochando, 2024.

2000 m

1500 m 1800 m

1100 m



Espèces arctico-alpines

Poursuite du déclin des espèces arctico-alpines : répartition de régression de l'abondance et de l'aire de répartition. En raison de son altitude maximale relative (2082 m) et de la surface réduite des parties sommitales, le massif de la Chartreuse semble défavorable à la montée en altitude des espèces.

Activités de plein air

Les activités de plein air seraient en augmentation sur les Hauts de Chartreuse et fléchées sur les périodes automnales et printanières, en lien avec des été plus chauds. Le changement climatique accroît les risques associés aux pratiques (spéléologie, vol libre, randonnée, trail...) : tarissement des sources en eau accentué en été, conditions aéologiques plus instables, déstabilisation des sentiers et des parois calcaires (due à la fréquentation et à une répartition des précipitations plus concentrée dans le temps). Cette évolution des pratiques est susceptible d'accroître le dérèglement d'espèces et le risque de conflits d'usage avec l'activité pastorale.

Patrimoine géologique et géomorphologique

L'évolution future du patrimoine géologique est à la marge et invisible à l'échelle des temps humains. Pour autant, la dynamique gravitaire des flancs du synclinal perché pourrait connaître des bouleversements sensibles qui s'inscrivent dans le fonctionnement normal du système. Incertitudes au sujet du franchissement possible de seuils qui conduiraient à une intensification des phénomènes gravitaires.

Gestion forestière

Incertitudes sur la vulnérabilité des forêts de la Réserve face au changement climatique. Des effets sont observables en réserve, dans le montagnard et, de façon plus localisée, dans le subalpin, dans des secteurs exposés au sud : plus de dépérissements du sapin et de l'épicéa liés au parasitisme. Les plans d'aménagement forestier mettent en avant la vulnérabilité de l'épicéa face à ces risques, en dessous de 1000 m à 1300 m selon le contexte. Les orientations de gestion convergent vers le maintien de la coexistence de deux modes de gestion de la forêt sur les Hauts de Chartreuse : l'exploitation en hôte irrégulière et la non-intervention.

Syrphes

L'étude Syrph The Net révèle que la syrphidofaune connaît une dégradation fonctionnelle, en particulier dans le subalpin, avec la diminution d'abondance et de diversité génétique des espèces. Cette dégradation est en lien direct avec un manque de maturité forestière et un déficit de recrutement forestier et des essences d'accompagnement sur ces milieux. On s'interroge encore sur la mise en lien des résultats de cette étude avec le changement climatique. Des tendances similaires sont observées ailleurs dans les Alpes.

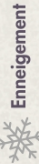
Les milieux forestiers

De nombreuses incertitudes persistent quant aux perspectives des hétéroscopiques en lien avec le changement climatique. Ce manque de connaissance porte sur les conséquences des choix de gestion non intervention et mesures proactives, et les processus adaptatifs génétiques et d'acclimatation des peuplements. Pour autant, certains effets du changement climatique sont observés : dépérissement de l'épicéa et du sapin associés aux sécheresses et aux parasites, progression des ouragans en altitude en lien avec la diminution de l'enneigement qui perturbe le renouvellement forestier ou encore le risque incendie qui serait favorisé par la hausse de la fréquentation et les sécheresses. Les forêts de la RBN de Malsard pourront renseigner sur l'adaptation intrinsèque des peuplements, en particulier leur plasticité en réaction aux changements.

Bouquetin des Alpes

La hausse des températures affecte la qualité de la nourriture (ou printemps) et sa quantité (en été) et peut augmenter les dépenses énergétiques de l'espèce : thermorégulation, adaptations comportementales telles que la recherche de zones fraîches ou d'enneigement pour se rafraîchir.

Le déneigement précoce expose davantage les bouquetins au contact avec les autres ouragans et troupeaux domestiques et donc aux risques de maladie et de brassage génétique. Le bouquetin serait encore plus exposé au dérèglement, avec la hausse probable de la fréquentation humaine toute l'année.



Enneigement

Entre 1960 et 2014 à 1300 m :

- La durée des enneigements stables depuis le début du siècle diminue.
- Plus d'un mois d'enneigement en moins.

D'après les projections climatiques à 1500 m :

- Poursuite d'une dynamique de diminution constante à court terme.
- Renforcement du rythme de diminution à moyen et long terme.



Précipitations

Par rapport à la référence de 1961-1990 :

- Les précipitations annuelles stables depuis le début du siècle diminuent.
- Une importante variabilité interannuelle.

D'après les projections climatiques à 1500 m :

- Un climat plus arrosé, sans grandes différences entre scénarios d'émissions.
- Une répartition plus inégale des précipitations dans l'année.



Température atmosphérique

Par rapport à la référence de 1961-1990 :

- La variation des températures aux échelles régionales et locales de 1,5°C à 2,5°C.
- Une augmentation plus marquée au printemps et en été (+2°C).
- Baisse du nombre de jours de gel et l'augmentation du nombre de journées chaudes et des extrêmes thermiques.

D'après les projections climatiques à 1500 m, une poursuite des évolutions mesurées :

- Baisse constante des températures (RCPI4.5).
- Une hausse des températures qui s'accroît aux horizons 2050 et 2100 (RCPI4.5).

ZOOM SUR LES ACTIVITÉS TOURISTIQUES CONSTATS ET RÉCITS DES PROFESSIONNELLS DU TOURISME

LES EFFETS PERÇUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE	HIVER
Une durée des saisons bouleversée : printemps précoce, automne tardif, allongement de la période de végétation.			
Retrait plus précoce du manteau neigeux et températures clémentes Propice à la pratique des activités de plein air (hors neige).	Fortes chaleurs et conditions plus tempétueuses Adaptations ponctuelles, subies et anticipées, des activités : évitement de certaines horaires, conditions plus tempétueuses, difficultés à observer la flore...	Températures clémentes après la période de chaleur estivale Propice à la pratique des activités de plein air (hors neige).	Diminution de l'enneigement et températures plus douces Adaptions permanentes, mettant à l'écart la pratique d'activités de neige au profit de la randonnée. Meilleure accessibilité du massif.

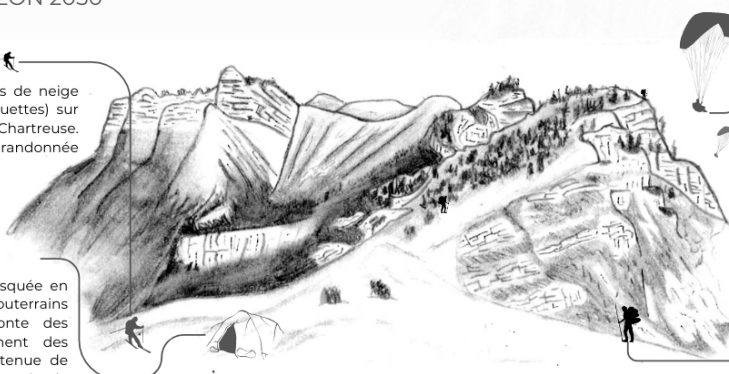
RÉCITS À HORIZON 2050

Activités de neige

Disparition des activités de neige (ski de randonnée, raquettes) sur les Hauts de Chartreuse. Remplacement par la randonnée pédestre.

Spéléologie

Activité un peu plus risquée en lien avec des souterrains déstabilisés par la fonte des glaciers. Le tarissement des sources complique la tenue de camps scientifiques. Attrait de l'activité pour la recherche de fraîcheur.



Vol libre

Pratique plus difficile et engagée. Des conditions aérologiques plus instables et fortes, accentuant le risque d'accidents. Plus de vols l'été depuis les Hauts de Chartreuse, au-dessus des couches d'inversion des températures qui progresseront en altitude.

Randonnée et trail

Pratiques fléchées sur l'intersaison et devenues difficiles à pratiquer l'été, sauf avec des horaires aménagés.

Ochando, 2024.

VERS L'ADAPTATION DE LA GESTION DE LA RÉSERVE

Au regard des résultats du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité et dans la continuité des missions menées, l'équipe de la Réserve devra probablement :

- Anticiper les potentielles tensions dans le cadre de la conciliation des usages, en particulier autour de la ressource en eau et de la fréquentation touristique.
- Accroître la pression de surveillance lors des périodes d'intersaison et sur les entrées du site les plus fréquentées.
- Déterminer un discours au fait des enjeux, tenant compte des limites de l'état des connaissances, de l'évolution du milieu naturel, de la modification de la fréquentation et des nouvelles demandes du public.
- Créer de nouveaux outils pédagogiques et vulgariser les suivis scientifiques menés en lien avec le changement climatique.
- Suivre les réponses du patrimoine naturel et des activités socio-économiques face aux changements environnementaux, y compris climatiques.
- Maintenir son choix de la non-intervention et, en parallèle, se positionner sur la gestion du bas marais alcalin au regard de son contexte de fermeture tout à fait spécifique à l'échelle de la RNNHC.

Les variations climatiques et leurs effets interagissent avec d'autres changements environnementaux qui sont susceptibles d'affecter ou qui impactent déjà l'état actuel de la Réserve plus ou moins indépendamment des modifications climatiques : érosion de la biodiversité, hausse de la fréquentation humaine, maintien ou modification de la gestion forestière, des pratiques pastorales et cynégétiques. C'est l'articulation de ces multiples sources de pressions, qui peuvent ou non s'alimenter entre elles, qui fait l'objet de toute l'attention de l'équipe de l'aire protégée.



Index des figures

Figure 1: Situation de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse dans le réseau d'aires protégées en Chartreuse.....	11
Figure 2: Les principaux milieux de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse. Données : Conservatoire Botanique National Alpin (CBNA), 2003.....	12
Figure 3: Diagramme ombrothermique - station Saint-Pierre-Les Égaux - 950 m (2005-2020).....	13
Figure 4: Les principaux habitats de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.....	15
Figure 5: État des milieux de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse entre 1949, 2003 et 2021.....	17
Figure 6: Portrait de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse (RNF).....	18
Figure 7: Schéma de gouvernance de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.....	19
Figure 8: Station Phénoclim de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse (1526 m). Août 2024.	21
Figure 9: Évolution de la hauteur de glace du Gouffre du Grand Glacier (Chapareillan) entre avant 1985 et mai 2017. Source : Spéléo-Club de Savoie, Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse....	22
Figure 10: Températures moyennes annuelles entre 1900 et 2015 à l'échelle des Alpes françaises. Source : Observatoire du climat - Mission Développement Prospective, 2015. Données : Histaip, Météo-France, traitement OBSCAN ASADAC/MDP.....	25
Figure 11: Dépérissement d'arbres vers les rochers du Mollard (hors Réserve) entre 1000 et 1200 m d'altitude. Août 2024.....	27
Figure 12: Synthèse des impacts du changement climatique sur le bouquetin des Alpes. Source : Parc national de la Vanoise, 2021.....	28
Figure 13: Le projet LIFE Natur'Adapt : objectif, budget, partenaires et étapes (d'après Natur'Adapt, 2023).....	30
Figure 14: Sites du projet LIFE Natur'Adapt. Source : Lacroix, B. (RNF), 2021.....	31
Figure 15: Périodes couvertes par les données climatiques mesurées et modélisées sur les températures, les précipitations et l'enneigement.....	37
Figure 16: Schéma du socio-écosystème de la RNNHC. (D'après Dané, 2021 ; Teyssèdre, 2010)....	38
Figure 17: Matrice de vulnérabilité et d'opportunité. Source : LIFE Natur'Adapt.....	42
Figure 18: Structure générale du récit climatique pour un paramètre.....	43
Figure 19: Température moyenne annuelle : écart à la référence 1961-1990 (Grande-Chartreuse, 954 m). Source : ClimatHD (Météo France).....	44
Figure 20: Evolution des températures moyennes annuelles en Chartreuse (1500 m), aux horizons 2050, 2070 et 2100 suivant deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.....	45
Figure 21: Évolution des températures moyennes annuelles (horizon lointain 2071-2100) par rapport aux normales (1976-2005) selon l'altitude (Chartreuse). Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.....	46
Figure 22: Évolution du nombre de jours de gel en Chartreuse (1500 m) aux horizons proche, moyen et lointain. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.....	46
Figure 23: Évolution de la hauteur de neige moyenne (en cm) au col de Porte (du 1 ^{er} décembre au 30 avril). Source : Météo-France. Données : CNRM.....	48
Figure 24: Évolution de l'épaisseur de neige moyenne (horizon lointain 2071-2100) par rapport aux normales (1976-2005) selon l'altitude. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.....	49

Figure 25: Les activités de plein air sur les Hauts de Chartreuse en 2050 : constats et récits des professionnels du tourisme.....	52
Figure 26: Zone humide de la Grenouille (950 m). Juin 2024.....	57
Figure 27: Dépérissements d'épicéas dans l'étage subalpin (1850 m). Source : Lebret, S. (RNNHC), août 2024.....	59
Figure 28: Le couple biostasie-rhexistasie (d'après Cossart, 2018).....	61
Figure 29 : Synthèse des effets du changement climatique sur les Hauts de Chartreuse.....	65
Figure 30 : Relations entre les composantes socio-écosystémiques et rôle de la Réserve face au changement climatique.....	69

Index des tableaux

Tableau 1: Chronogramme du stage sur une période de cinq mois et demi.....	35
Tableau 2: Objets abordés et nombre de réponses apportées par les différentes formes de recueil d'informations.....	41
Tableau 3: Fiche d'analyse Natur'Adapt (Lochon, 2021).....	42
Tableau 4: Évolution des températures moyennes annuelles et saisonnières en Chartreuse (1500 m), aux horizons proche, moyen et lointain suivant deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Données : CNRM-CM5 / ALADIN53, correction ADAMONT. DRIAS 2020.....	45
Tableau 5: Projection de l'évolution des cumuls de précipitations à court, moyen et long terme en Chartreuse (1500 m). Comparaison entre modèles (DRIAS, 2020).....	47
Tableau 6: Évolution de la hauteur de neige moyenne en Chartreuse (1500 m), aux horizons proche, moyen et lointain suivant deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Comparaison entre modèles (DRIAS, 2020).....	49
Tableau 7: Synthèse des observations des bergers/éleveurs sur les alpages du col du Coq et de l'alpette de Chapareillan (Alpes Sentinelles, 2013-2016).....	54

Table des matières

Résumé.....	3
Introduction.....	9
1. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : la nécessité d'étudier les effets du changement climatique et de réfléchir à l'adaptation.....	11
1.1. Un territoire de moyenne montagne soumis au changement climatique.....	11
1.1.1. Situation de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.....	11
1.1.2. Caractéristiques et évolutions du climat local à l'échelle de la Chartreuse.....	13
1.1.3. Le socio-écosystème des Hauts de Chartreuse : patrimoine naturel et activités socio-économiques.....	14
1.2. La Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse : gouvernance, objectifs et missions.....	18
1.2.1. La gouvernance de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse.....	18
1.2.2. Objectifs et outils de la protection de la nature.....	20
1.3. Le suivi du patrimoine naturel et le lancement d'une démarche d'adaptation face au changement climatique.....	21
1.3.1. Mesurer les effets du changement climatique : les suivis de phénologie, des variations de glace et de la biodiversité des zones humides.....	21
1.3.2. Mener un travail de prospective pour s'adapter au changement climatique.....	23
2. Les impacts du changement climatique en contexte montagnard : vers l'adaptation des aires protégées.....	24
2.1. Les changements climatiques : mécanismes et impacts sur les socio-écosystèmes montagnards.....	24
2.2. La démarche LIFE Natur'Adapt pour répondre au défi de l'adaptation des aires protégées.....	30
2.2.1. Historique de la démarche, étapes et cadre conceptuel.....	30
2.2.2. Retours d'expériences des sites tests : quels apports et limites à la démarche ?.....	31
2.3. Quelles stratégies de gestion pour l'adaptation de la biodiversité ?.....	32
3. Produire le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité : un cadre méthodologique à adapter au territoire d'étude.....	34
3.1. Découpage chronologique et principales missions.....	34
3.2. Dresser un récit climatique : méthodologie, sources et services climatiques.....	36
3.2.1. Étudier le climat passé et présent.....	36
3.2.2. Étudier le climat futur.....	36
3.3. Définition et méthode d'analyse des objets représentatifs de la Réserve.....	38
3.3.1. L'approche par objet pour analyser la vulnérabilité.....	38
3.3.2. Le cadre conceptuel Natur'Adapt.....	39
3.3.3. Sélection des objets et formes de recueil d'informations.....	40
4. Les effets du changement climatique sur le socio-écosystème des Hauts de Chartreuse.....	43
4.1. Les évolutions contemporaines du climat et les projections à proche, moyen et long terme.....	43
4.1.1. L'augmentation des températures moyennes.....	43
4.1.2. La stagnation relative des cumuls et la forte variabilité interannuelle des précipitations.....	47
4.2.3. La diminution de l'enneigement.....	48
4.2. Récit prospectif : les activités socio-économiques et le patrimoine naturel de la Réserve naturelle des Hauts de Chartreuse face au changement climatique.....	50

4.2.1. Les effets contrastés du changement climatique sur les activités de plein air.....	50
4.2.2. Pastoralisme et changement climatique : une perte de lisibilité pour la conduite de l'activité.....	52
4.2.3. La gestion de l'eau et les zones humides.....	56
4.2.4. Les milieux forestiers et la gestion forestière.....	58
4.2.5. Patrimoine géomorphologique et changement climatique : des effets teintés d'incertitudes.....	60
4.2.6. La plasticité des espèces faunistiques et floristiques des Hauts de Chartreuse à l'épreuve du changement climatique.....	61
4.2.7. Synthèse des effets du changement climatique et mise en avant des interactions.....	63
4.3. Les outils et moyens de gestion de la Réserve : des enjeux clés pour penser l'adaptation...	66
4.3.1. Les vulnérabilités et les opportunités des moyens de gestion face au changement climatique.....	66
4.3.2. Le rôle de la RNNHC dans l'adaptation du territoire.....	67
5. Apports, limites et perspectives de la démarche.....	70
5.1. Les apports et les limites de la méthodologie LIFE Natur'Adapt.....	70
5.1.1. Les clés méthodologiques transmises par les retours d'expériences.....	70
5.1.2. L'ajustement continu de l'approche « par objet ».....	70
5.1.3. Parler climat : composer avec les incertitudes et l'état actuel des connaissances.....	72
5.2. La mobilisation des acteurs locaux : acquis, difficultés et perspectives.....	73
5.2.1. Aspects facilitant lors de la mobilisation d'acteurs.....	73
5.2.2. Aspects limitant lors de la mobilisation d'acteurs.....	74
5.3. Perspectives : vers la finalisation du DVO et l'animation de la démarche.....	74
Conclusion.....	76
Bibliographie.....	78
Annexes.....	86
Résumé.....	130



Résumé

Réserve naturelle, changement climatique, adaptation, diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité

Les effets du changement climatique commencent à s'observer sur les Hauts de Chartreuse, un territoire de montagne classé en réserve naturelle nationale (RNNHC) situé dans les Pré-Alpes calcaires du Nord. Ces effets se manifestent notamment à travers la baisse du niveau de glace dans les glaciers souterrains et les demandes de stockage d'eau supplémentaire ou de réfection de captages d'eau préexistants sur les alpages. Face à ces constats, la RNNHC se saisit de la méthodologie issue du projet LIFE Natur'Adapt (LNA), destinée aux gestionnaires d'aires protégées qui souhaitent se lancer dans une démarche prospective. Le stage se concentre sur l'étape de l'analyse prospective, qui consiste à réaliser un récit climatique qui dresse les grandes trajectoires du climat passé, présent et futur et une analyse de vulnérabilité et d'opportunité du patrimoine naturel, des activités humaines et des outils et moyens de gestion de la RNNHC. Ce diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité (DVO) est alimenté par des recherches bibliographiques et la mobilisation des acteurs techniques, scientifiques et du tourisme. Dans la continuité des tendances déjà mesurées, les modèles climatiques visualisés projettent une augmentation des températures, une diminution de l'enneigement et une stagnation relative des cumuls de précipitations en Chartreuse (1500 m) à horizon lointain (2071-2100). Ces évolutions climatiques et d'autres sources de pression font émerger des vulnérabilités sur le site. Les usages écosystémiques et humains de l'eau sont menacés par le tarissement de certaines sources en été. La forte variabilité des conditions météorologiques d'une année à l'autre sort du domaine de flexibilité des éleveurs et les forêts sont exposées de façon accentuée aux sécheresses et à l'attaque de parasites. De façon moins importante, des opportunités peuvent émerger en lien avec le changement climatique. L'allongement de la période clémente dans l'année est favorable aux suivis scientifiques, aux activités de plein air et à la remontée de certaines espèces en altitude. Cependant, les opportunités pour certains éléments du socio-écosystème peuvent devenir des sources de vulnérabilité pour d'autres. L'accès facilité au site en hiver et la concentration de la fréquentation humaine vers les périodes d'intersaison sont susceptibles d'accentuer le dérangement des espèces. Eux-mêmes sensibles aux évolutions climatiques, les outils et moyens de gestion de la RNNHC devraient connaître des modifications. Celles-ci se manifesteraient par un accroissement de la pression de surveillance lors des périodes d'intersaison et à travers la création de nouveaux outils pédagogiques. La perspective de la mission du stage est le partage du DVO sous différentes formes auprès de l'équipe de l'aire protégée, des acteurs mobilisés et du public.



Abstract

Nature Reserve, climate change, adaptation, diagnosis of vulnerability and opportunity

The effects of climate change are beginning to be felt in the Hauts de Chartreuse, a protected area located in the collinean, montane, and subalpine levels of the northern limestone Pre-Alps. These effects can be seen in the falling ice levels in the underground glaciers and in the demands for additional water storage or the refurbishment of existing water catchments on the mountain pastures. In the light of these observations, the Hauts de Chartreuse National Nature Reserve (RNNHC) wishes to embark on a forward-looking approach that will give it a more global view of the effects of climate change and ways of adapting to them. To this end, the RNNHC is using the methodology developed by the LIFE Natur'Adapt (LNA) project, aimed at managers of protected areas. The internship focuses on the prospective analysis stage, which is based on two productions : a climate narrative outlining the main characteristics and trajectories of the climate in the past, present, and future, and a vulnerability and opportunity analysis of the natural aspects, human activities, and management tools of the RNNHC. This diagnosis of vulnerability and opportunity (DVO) is based on bibliographical research and the mobilization of technical, scientific, and tourism players. In line with the trends already measured, climate models reveal a projected increase in temperatures, a decrease in snow cover, and a relative stagnation in cumulative rainfall in the Chartreuse (1500 m), in the distant future (2071-2100). These climatic changes and other sources of pressure are creating vulnerabilities on the site. Ecosystemic and human uses of water are threatened by the drying up of certain springs in summer. The high degree of variability in weather conditions from one year to the next is beyond the flexibility of livestock farmers, and the forests are more exposed to drought and attacks by parasites. To a lesser extent, opportunities may emerge in connection with climate change. The lengthening of the mild period of the year is favorable to scientific monitoring, outdoor activities, and the return of certain species to higher altitudes. However, opportunities for certain elements of the socio-ecosystem can become sources of vulnerability for others. Easier access to the site in winter and the concentration of human activity between seasons are likely to increase disturbance to species. The RNNHC's management tools and resources, which are themselves sensitive to climate change, are likely to undergo changes. These would take the form of increased monitoring pressure during the off-season, the creation of new educational tools. The main aim of the internship is to share the DVO in various forms with the RNNHC team, the stakeholders involved, and the public.