



# Diagnostic de vulnérabilité



Démarche d'adaptation au changement climatique des réserves naturelles du massif du Madres-Coronat : **Nohèdes, Conat et Jujols**





## Auteurs

---

Quélenec Céline (coord.)- Fédération des réserves naturelles catalanes  
Contributeurs : Céline Quélenec, David Morichon, Claude Novoa, Raúl Pimenta

## Mise en page

---

Céline Quélenec – Fédération des réserves naturelles catalanes

## Citation de l'ouvrage

---

Quélenec Céline, coord. — 2022 —Diagnostic de vulnérabilité. Démarche d'adaptation au changement climatique des réserves naturelles du massif du Madres-Coronat, Conat, Jujols, Nohèdes. Rapport d'étude. Prades, Fédération des réserves naturelles catalanes, 58 p.



# TABLE DES MATIÈRES

---

## Table des matières

INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1. les Réserves naturelles de Jujols, Conat et Nohèdes.....	3
Géologie.....	3
Acteurs du territoire et activités humaines.....	3
Climat du massif du Madres.....	5
A. Climat régional.....	5
B. Climat du massif du Madres.....	6
B.1 Cycle de l'eau.....	7
Pluviométrie selon la méthode Aurhely.....	7
Enneigement.....	8
Réseau hydrographique.....	9
B.2 Températures.....	9
C. Climat de référence du projet Drias.....	10
D. Étages phytoclimatiques du massif du Madres.....	13
Discussion.....	15
Chapitre 2. Climat du massif du Madres au fil du changement.....	18
A. Évolutions régionales du climat.....	18
A.1. Évolution du climat dans les Pyrénées.....	18
A.2. Évolution du climat en région méditerranéenne.....	18
B. Évolutions du climat en versant sud du massif du Madres.....	21
B.1. Évolutions constatées.....	21
B.2. Évolutions projetées.....	22
B.3. Interprétation phytoclimatique du changement climatique.....	27
B.4. Analyse des paramètres climatiques.....	29
B.4.1. Températures moyennes.....	30
B.4.2. Précipitations.....	31
B.4.3 Nombre de jours de gel et de fortes chaleurs.....	32
B.5. Évolution de l'hydrographie.....	33
Conclusion.....	34
Chapitre 3. Biocénoses du massif du Madres au fil du changement.....	36
A. Biodiversité des réserves naturelles du mont Coronat.....	36
B. Esquisse biogéographique des réserves naturelles du mont Coronat.....	38
Chapitre 4. Analyse de la vulnérabilité.....	40
A. choix des « objets » traités dans l'analyse de la vulnérabilité.....	40
B. Milieux forestiers.....	41
B.1 Les milieux forestiers actuels.....	41
B.2 La gestion et les suivis forestiers.....	41
B.3 Les forêts et le changement climatique.....	42
La hêtraie.....	42
La pineraie de pins sylvestres.....	44
Les pineraies de pins à crochet.....	44
B.4 Espèces d'altitude et en situation de refuges glaciaires.....	45
C. Galliformes de montagne & changements climatiques.....	47
C.1 Déterminisme du succès de la reproduction chez le lagopède alpin.....	47
C.2 Tendances des variables clés du succès de la reproduction au cours de la période récente.....	48
C.3 Phénologie de la reproduction Lagopède alpin.....	49
C.4 Autres espèces.....	50
C.5 Migration altitudinale des habitats de reproduction.....	51
C.6 Replacer cette problématique dans le contexte géographique du massif du Madres.....	52
C7. Autres menaces sur les galliformes de montagnes.....	52

Grand Tétras et ongulés sauvages.....	52
Chasse.....	53
Parasitisme.....	53
D. Milieux aquatiques & changement climatique.....	55
D.1 Impact du changement climatique sur le <i>Gorg Estelat</i> .....	55
D.2 Impact du changement climatique sur le réseau hydrologique.....	57
D.3 Impact du changement climatique sur la faune aquatique.....	58
Les amphibiens.....	58
Le Calotriton des Pyrénées.....	58
Ecologie.....	59
Influence des paramètres climatiques.....	59
Impact des activités humaines sur le calotriton.....	60
Autres amphibiens.....	61
Les poissons.....	62
Impact de l'évolution du climat sur les populations de poissons.....	62
Le trio activités humaines-changement climatique et poissons.....	62
Mammifères aquatiques ou semi-aquatiques.....	63
Le vison d'Amérique.....	63
Les micro-mammifères aquatiques : exemple du desman des Pyrénées.....	63
Les activités humaines, la biodiversité aquatique et le changement climatique.....	65
Activités de loisirs.....	65
Le pastoralisme.....	65
Chapitre 4. Les activités humaines.....	67
Le pastoralisme.....	67
Les principaux impacts du changement climatique sur le pastoralisme en estive.....	67
L'hydro-électricité.....	70
Les captages d'eau.....	70
La fréquentation touristique et les manifestations sportives.....	71
La pêche.....	71
Chapitre 5. Les moyens de gestion.....	72
Conclusion.....	73
Bibliographie.....	74
Index des illustrations.....	79





## INTRODUCTION

---

Le site choisi pour la présente analyse climatique rassemble trois réserves naturelles nationales contiguës, Conat, Jujols et Nohèdes. Elles occupent le versant sud du massif du Madres, contrefort pyrénéen situé dans la partie septentrionale du département des Pyrénées-Orientales, au nord-ouest de Prades (Conflent). Elles sont usuellement nommées *réserves naturelles du mont Coronat*, car leur centre géographique est situé sur le mont Coronat, prolongement calcaire méridional du massif du Madres.

L'intérêt de ce choix réside dans le fait que les trois réserves naturelles font l'objet d'une gestion concertée. Tout regard transversal permet de révéler l'originalité de chacune et ainsi sa contribution à l'ensemble. En l'occurrence, la continuité géographique n'entraîne d'homogénéité ni climatique ni bioclimatique. Cela tient en premier lieu à la complexité morphologique de tout milieu montagnard ; cela tient ensuite à la morpho-structure régionale très fragmentée bien décrite par Calvet (1996) ; cela tient enfin à la situation péri-méditerranéenne du massif. C'est ainsi que sur le plan climatique, selon Vigneau (1986, p. 43) « le Madres [...] constitue un lieu de contraste vigoureux, un nœud où viennent au contact les domaines atlantiques et méditerranéen ainsi que la nuance intérieure ».

Il est donc proposé ici de restituer au massif sa singularité climatique en décrivant schématiquement le jeu des « influences » : le rôle des barrières montagneuses, l'orientation et l'importance des flux aérologiques, la proximité de la Méditerranée, etc. Succédant à cette approche qualitative, il sera tenté de quantifier l'amplitude climatique du massif, à partir des éléments disponibles et du jeu de données de référence du modèle Drias-2020. Le chapitre se clôt sur une description phytoclimatique permettant de rendre plus sensible la physionomie et la diversité du climat local.

À la frontière entre domaines méditerranéen et pyrénéen, le massif suit le sillage de leur dérive climatique. En préambule de la deuxième partie, un panorama des évolutions, récentes et pressenties, des climats régionaux est donc dressé. Il lui succède l'examen de l'ampleur et des caractéristiques de la dérive sur le massif du Madres, tel que la prévoit le modèle de Drias-2020, sous divers scénarios et à différents horizons de temps. À nouveau, une présentation de l'évolution phytoclimatique associée donne un aspect plus concret au changement.

Quels seront les effets de ce bouleversement climatique sur les écosystèmes ? La dernière partie en donne une illustration en examinant le cas des galliformes de montagne, des crêtes d'altitude, de la forêt, du réseau hydrographique et des espèces associées, des activités humaines et des modes de gestion.



Illustration 1 : Versant nord du mont Coronat vue depuis la haute vallée de Nohèdes ; au fond, les crêtes du massif du Canigou, au premier plan, un plan d'eau artificiel, l'Estany del Clot (cliché D. Morichon).

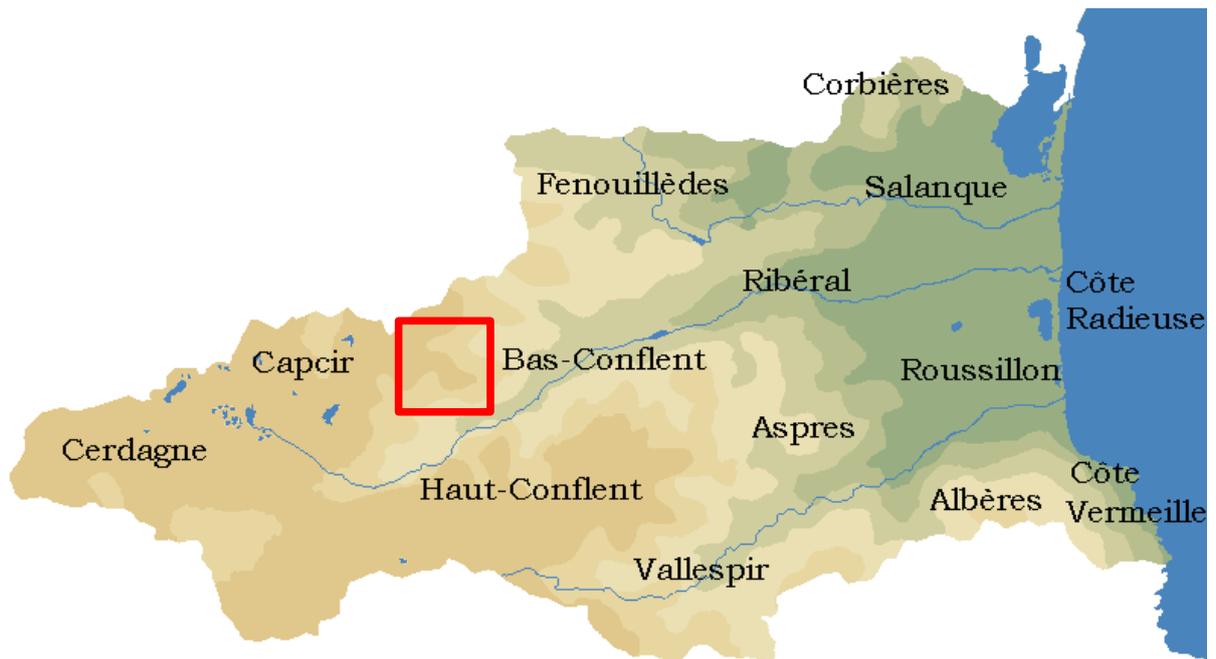


Illustration 2 : Régions géographiques des Pyrénées-Orientales (en rouge, emplacement des réserves naturelles du mont Coronat).

# CHAPITRE 1. LES RÉSERVES NATURELLES DE JUJOLS, CONAT ET NOHÈDES

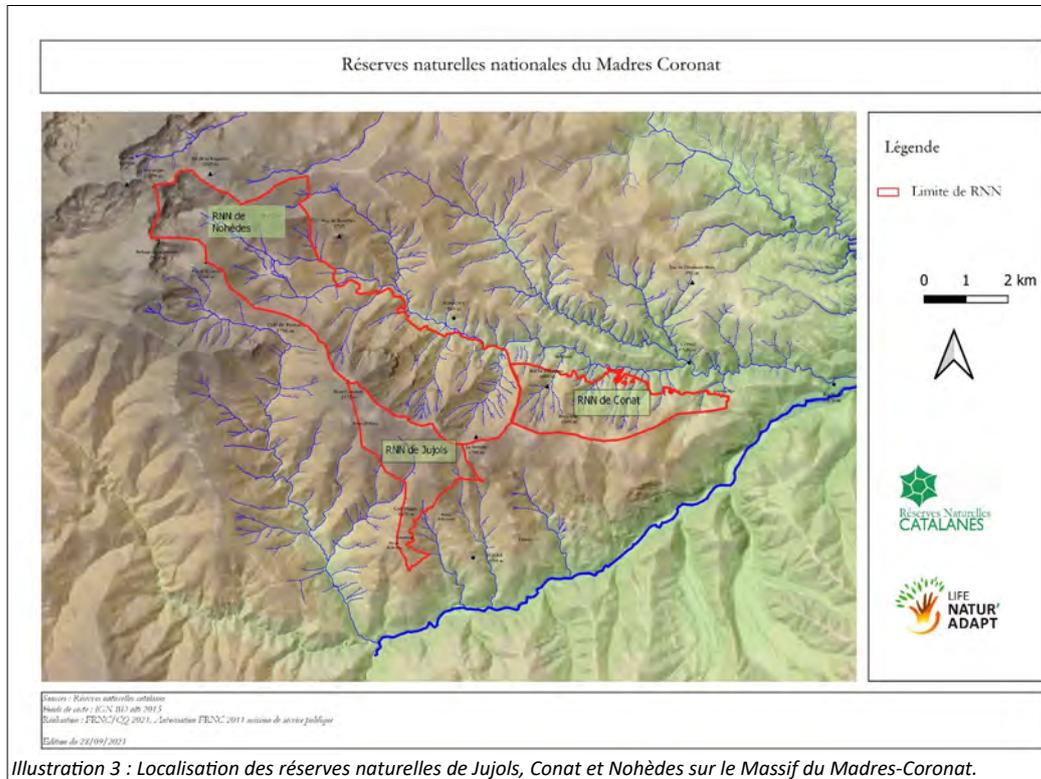


Illustration 3 : Localisation des réserves naturelles de Jujols, Conat et Nohèdes sur le Massif du Madres-Coronat.

## Géologie

Les réserves naturelles du Madres-Coronat forment un ensemble géographique de 3159 hectares s'étagant de 742 m à 2459 m au niveau du pic du Madres. Le chaînon satellite, le Coronat, culmine à 2179 m. Le versant sud-est du Madres est concerné par le territoire classé de la réserve de Nohèdes qui se poursuit sur le versant nord très abruptes et rejoint la réserve de Conat. Sur le versant sud du Mont-Coronat, la réserve de Jujols s'accroche aux deux autres.

Les parties culminantes du Madres forment un plateau vestige d'une surface d'érosion oligo-miocène constituée de granodiorites qui s'ouvrent sur des cirques de moraines formés par les glaciations.

Le chaînon du mont Coronat est essentiellement composé de roches carbonatées plus ou moins karstifiables.

Le couvert forestier protège dans une large part le massif. Seuls quelques marques d'érosion récentes sont lisibles, comme des glissements de terrain à Jujols et à Nohèdes, des couloirs d'avalanche surtout présents sur le versant nord du mont Coronat, ou encore le résultat du surpâturage sur les soulans.

## Acteurs du territoire et activités humaines

Les trois réserves ont des situations très différentes. La réserve naturelle nationale de Conat subit actuellement très peu les activités anthropiques. Seule une petite partie de la réserve est empruntée par les chasseurs. La situation très inaccessible de la réserve de part sa pente forte a permis sa préservation

de la fréquentation touristique. La réserve a orienté son plan de gestion autour de l'étude de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes et les espèces, puisque c'est la seule activité anthropique qui s'exerce sur la majeure partie du territoire.

Inversement, en réserve de Nohèdes, de nombreux acteurs sont présents, tous seront impactés par la baisse de la ressource en eau et plus précisément par l'augmentation des périodes de sécheresse. Les éleveurs pâturent en réserve naturelle et nous observons déjà une présence importante au niveau des points d'eau et sur les zones humides. L'élevage est à la fois ovins et bovins. Avec les éleveurs ovins, le travail de médiation a porté ses fruits avec notamment la création d'une convention pastorale.

Une centrale hydro-électrique construite à la fin des années soixante-dix, fonctionne grâce à une chute d'environ 700 m. La dérivation capte une part importante des écoulements aux alentours de 1 700 m d'altitude et la conduit vers la retenue d'eau, l'Estany del Clot. Les rejets sont situés à 1 000 m d'altitude après un parcours de 4 km en conduite forcée. Cet ouvrage a été construit en amont d'une diffluence naturelle, les écoulements se répartissant à l'origine entre la *Ribera de l'Home Mort* et la *Ribera de Camps Reals*. Avec la configuration actuelle du répartiteur, l'essentiel de la lame d'eau non turbinée est dirigé vers la *Ribera de l'Home Mort*.

Le village de Nohèdes s'alimente en eau potable à partir d'une source présente sur le mont Coronat.

La réserve de Jujols est pâturée par des ovins et quelques vaches. La difficulté d'approvisionnement en eau potable de la commune se fait sentir depuis une vingtaine d'années. Une retenue collinaire est présente pour l'arrosage des jardins. La ressource en eau sur la commune de Jujols est une denrée qui devient rare et de nombreuses sources s'assèchent.

Nous pouvons citer également la présence de pêcheurs récréatifs, de chasseurs et d'une importante fréquentation touristique, attirée notamment par la présence des deux lacs et des paysages diversifiés de la réserve.

La présentation de la faune et la flore sera faite dans le chapitre sur la bioclimatie.

## CLIMAT DU MASSIF DU MADRES

(DAVID MORICHON, CÉLINE QUÉLLENNEC)

## A. Climat régional

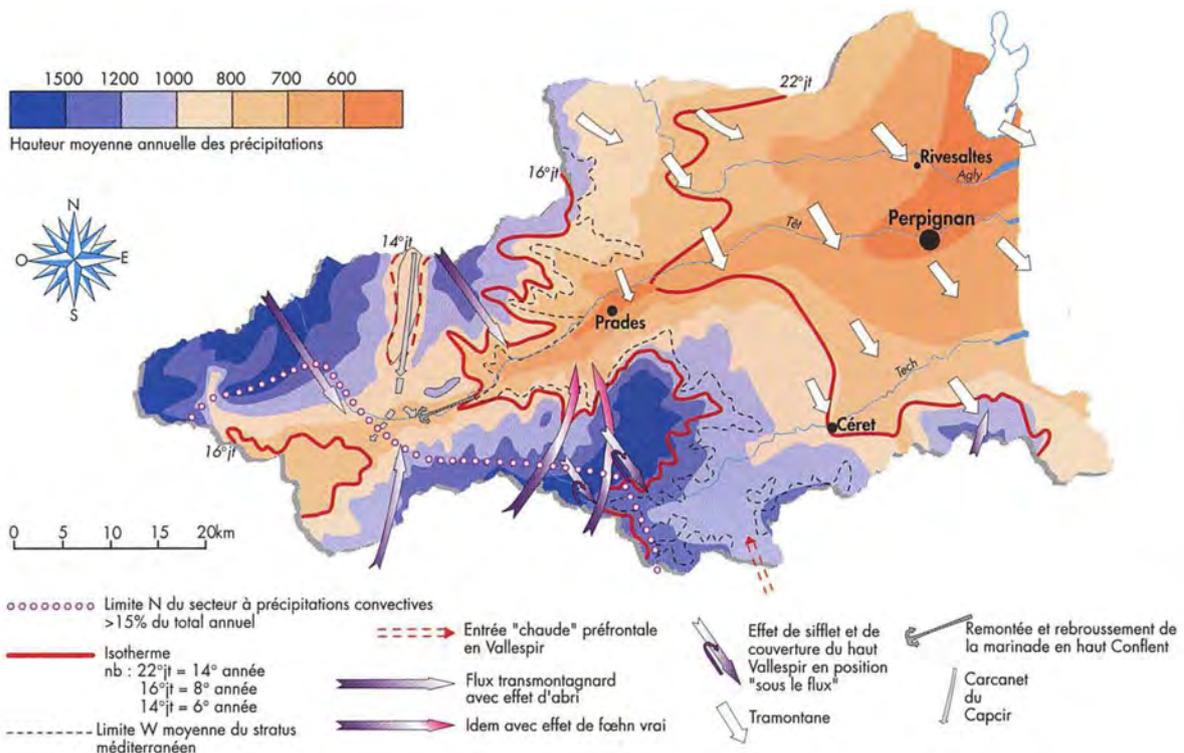


Illustration 4 : Carte thermo-pluviométrique du département des Pyrénées-Orientales, d'après Vigneau, 1986.

La carte thermo-pluviométrique du département (illustration 4) met en évidence l'existence d'une « diagonale sèche », d'orientation sud-ouest–nord-est, qui s'étend de la plaine littorale méditerranéenne du Roussillon jusqu'à la plaine de Cerdagne, à l'ouest, d'une altitude moyenne de 1 300 m. Cet axe est formé par l'alignement du bassin versant du Sègre, affluent de l'*Ebre* espagnol, et du bassin versant de la Têt, fleuve côtier qui rejoint la mer en aval de Perpignan. La ligne de partage des eaux des deux cours d'eau passe par le col de la Perche (1 580 m), point de rencontre entre la Cerdagne et le Conflent.

Au nord de la diagonale sèche s'élèvent les massifs du Madres et du Carlit, dont les plus hauts sommets sont respectivement le pic Madres (2 469 m) et le pic Carlit (2 921 m) ; les deux massifs sont séparés par la plaine de Capcir, d'une altitude moyenne de 1 500 m. Au sud, l'axe est surplombé par le chaînon catalan, d'orientation similaire, long d'une centaine de kilomètres, culminant au Puigmal (2 910 m) et qui s'étend de la *serra del Cadí* en Espagne au massif du Canigou en France. Le fleuve côtier du Tech prend sa source en Vallespir, au versant sud du massif du Canigou, et longe la bordure sud de la plaine roussillonnaise, au pied septentrional de la chaîne frontalière des Albères où culmine le pic Néoulous (1 265 m).

Le creux pluviométrique du moyen Conflent, en amont de Prades, contraste avec la forte pluviométrie du moyen Vallespir, en amont d'Amélie-les-Bains. Cela s'explique par l'orientation et le sort des différents flux pluviogènes qui traversent le département.

Venant du nord-ouest, les flux océaniques rencontrent les premiers contreforts du Madres et du Carlit et y déversent d'abondantes précipitations, pluie ou neige suivant la saison, créant une zone d'ombre

pluviométrique au-dessus du versant sous le vent, un effet d'abri. Ces flux se réactivent en versant sud du massif du Canigou, au-dessus du Vallespir.

Les flux venant du sud connaissent un sort semblable, répandant leurs pluies sur le versant méridional du chaînon catalan, particulièrement en Vallespir, tandis que l'air asséché produit un effet de foehn sur le versant conflentais. Aucune précipitation ne vient du sud-ouest, par la Cerdagne, car celle-ci appartient au secteur centro-oriental de la chaîne pyrénéenne, à tonalité continentale.

La Méditerranée apporte un air chargé d'humidité qui produit des précipitations automnales, parfois d'une intensité spectaculaire, appelés « épisodes méditerranéens », responsables d'inondations qui le sont tout autant, les *aiguats*. Plus régulièrement, l'humidité se condense en nuages bas qui baignent la plaine jusqu'à atteindre le piémont montagnard : c'est le stratus méditerranéen (illustration 5). Les précipitations méditerranéennes sont en moyenne moins abondantes que celles océaniques. La plaine du Roussillon est aussi le domaine de la tramontane, vent froid et violent venant du nord-ouest, desséchant par beau temps, parfois porteur de pluie, mais qui perd de son influence lorsqu'on pénètre le territoire pyrénéen.



Illustration 5 : Le stratus méditerranéen s'étendant sur toute la plaine des Pyrénées-Orientales, vu depuis la pointe orientale du mont Coronat (cliché E. Hornsperger).

La carte figure les isothermes du mois de juillet, globalement plus fidèles que la pluviométrie au découpage altitudinale, qui délimitent de grandes unités géographiques. À l'est, la basse plaine du Roussillon, où la moyenne du mois de juillet dépasse 16 °C ; la haute montagne, dont la base est limitée par l'isotherme 12 °C ; les collines et le piémont, encadré par les deux valeurs précédentes. Le gradient thermique s'étend d'est en ouest, comme le gradient pluviométrique. Cela signifie que l'indice xérothermique de Gausson (rapport mensuel P/T, des précipitations sur les températures) augmente également d'est en ouest : à Perpignan les mois de juin, juillet et août sont secs, au sens de Gausson.

La carte figure les isothermes du mois de juillet, globalement plus fidèles que la pluviométrie au découpage altitudinale, qui délimitent de grandes unités géographiques. À l'est, la basse plaine du Roussillon, où la moyenne du mois de juillet dépasse 16 °C ; la haute montagne, dont la base est limitée par l'isotherme 12 °C ; les collines et le piémont, encadré par les deux valeurs précédentes. Le gradient thermique s'étend d'est en ouest, comme le gradient pluviométrique. Cela signifie que l'indice xérothermique de Gausson (rapport mensuel P/T, des précipitations sur les températures) augmente également d'est en ouest : à Perpignan les mois de juin, juillet et août sont secs, au sens de Gausson.

## B. Climat du massif du Madres

Le massif du Madres, d'une superficie d'environ 200 km<sup>2</sup>, est donc délimité à l'ouest et au nord-ouest par la haute vallée de l'Aude, fleuve côtier qui prend sa source dans le massif du Carlit et traverse le plateau du Capcir avant d'entrer dans le département du même nom ; au sud et au sud-ouest, il est bordé par la vallée de la Têt ; au nord-est et à l'est, il se fond dans le Fenouillèdes. Le pic Madres, ou plus exactement le



Illustration 6 : Vue tridimensionnelle du mont Coronat depuis l'ouest ; en rouge sont figurées les limites des trois réserves naturelles.

pic Negre (2 459 m), 600 m environ plus au sud, est à la frontière entre les départements de l'Aude et des Pyrénées-Orientales. Il est convenu d'appeler *versant sud du massif du Madres* la partie du massif ayant son emprise dans les Pyrénées-Orientales, celle qui accueille les trois réserves naturelles.

La rivière de Nohèdes, affluent de la Têt, prend sa source au pied du roc *Negre* et a creusé un bassin-versant orienté vers le sud-est, environ d'une surface de 67 km<sup>2</sup> et d'une longueur de dix-huit km pour un dénivelé de 2 100 m, ouvert sur la plaine de Prades. La rivière délimite la bordure nord du mont Coronat. Culminant à 2 172 m, la montagne du Coronat a une forme schématiquement triédrique, allongée dans le sens est-ouest. Sa face sud-est est longée par la Têt, tandis que sa face sud-ouest l'est par la rivière d'Évol. Le mont Coronat est le centre de gravité des réserves naturelles de Conat (550 ha), Jujols (470 ha) et Nohèdes (2 100 ha), mais cette dernière s'étend vers le haut bassin-versant de la rivière de Nohèdes (illustration 6) : il s'agit d'un cirque glaciaire dont la forme en auge contraste avec le profil inférieur de la rivière, en V.

La morpho-structure régionale est donc responsable de l'existence d'un gradient pluviométrique orienté d'ouest en est suivant l'axe de la vallée de Nohèdes, décroissant depuis les hauts sommets occidentaux, qui reçoivent la majeure partie des précipitations océaniques, jusqu'à l'entrée orientale de la vallée, placée sous l'influence méditerranéenne. En d'autres termes, la situation péri-méditerranéenne du massif du Madres le situe dans une zone de transition entre le domaine climatique méditerranéen et le domaine eurosibérien. Une conjonction d'effets d'abri sur la marge sud du massif du Madres procurent à ce secteur la « nuance intérieure » évoquée par Vigneau, qui est un discret prolongement de la tonalité continentale qui règne en Cerdagne.

## B.1 Cycle de l'eau

### *Pluviométrie selon la méthode AURHELY*

La modélisation pluviométrique AURHELY de Météo-France permet de quantifier la description jusqu'à présent qualitative (illustration 7). Il corrobore de manière satisfaisante la description de Vigneau : les précipitations moyennes annuelles varient du simple au double entre l'entrée de la vallée (600 mm) et le pic Madres (1 250 mm). Le versant nord du Coronat reçoit moins de précipitations que les régions plus occidentales de même altitude : au sommet du mont Coronat, la différence est de l'ordre de 300 mm.

Gottardi (2009) a développé un outil d'interpolation des précipitations en montagne qui révèle une sous-estimation par la méthode AURHELY des précipitations en altitude. Cuxac (2019) en a donc déduit que les précipitations dans le haut bassin versant de la rivière de Nohèdes seraient donc sous-évaluées. Il produit à l'appui de son analyse un fragment de la carte de Gottardi (*op. cit.*, p. 234) montrant la différence entre les estimations de précipitations de celui-ci et celles de la méthode AURHELY (illustration 8). Cependant, si on en croit cette carte, la vallée de Nohèdes présente une inversion de la règle : par rapport à la méthode de Gottardi, la méthode AURHELY sur-évalue ici les précipitations aux plus hautes altitudes et les sous-évalue aux altitudes plus basses. Suivant les secteurs, la différence de précipitations est de plus ou moins 100 à 200 mm.

La méthode de Gottardi réduit donc le gradient de précipitation indiqué par AURHELY, ce qui pourrait mieux représenter la réalité. En effet, Cuxac observe que la moyenne annuelle trentenaire des précipitations

### Aperçu géologique du massif du Madres

Le massif est situé dans la partie axiale de la chaîne pyrénéenne. Ses formes, récentes à l'échelle des temps géologiques, sont sculptées dans les roches paléozoïques du vieux socle hercynien, débarrassé par l'érosion des dépôts mésozoïques.

Le mont Coronat est le cœur d'une vaste structure synclinale. Son sommet et son versant nord, et c'est là sa singularité, sont parcourus par un compartiment calcaire du Dévonien, bordé septentrionalement par une faille majeure (faille de Merens) d'axe parallèle à la vallée de Nohèdes. La RN de Conat est entièrement située dans ce calcaire.

De part et d'autre s'empilent une série de schistes d'âge cambrien à silurien. Ils occupent une large partie inférieure de la RN de Jujols, qui n'est traversée qu'à son sommet par les calcaires du Dévonien.

La réserve de Nohèdes, en s'élevant vers le haut bassin-versant de la vallée, quitte la série dévonienne du versant nord du mont Coronat et pénètre dans les schistes, puis dans des granites d'âge fini-hercynien qui occupent le sommet du Madres. Dans la haute vallée de Nohèdes se sont accumulés d'importants dépôts morainiques du Quaternaire.

collectées par le pluviomètre installé au village de Nohèdes, 789 mm, est supérieure à celle prévue par AURHELY, 712 mm, et plus en accord avec celle prévue par la méthode de Gottardi (762 à 812 mm).

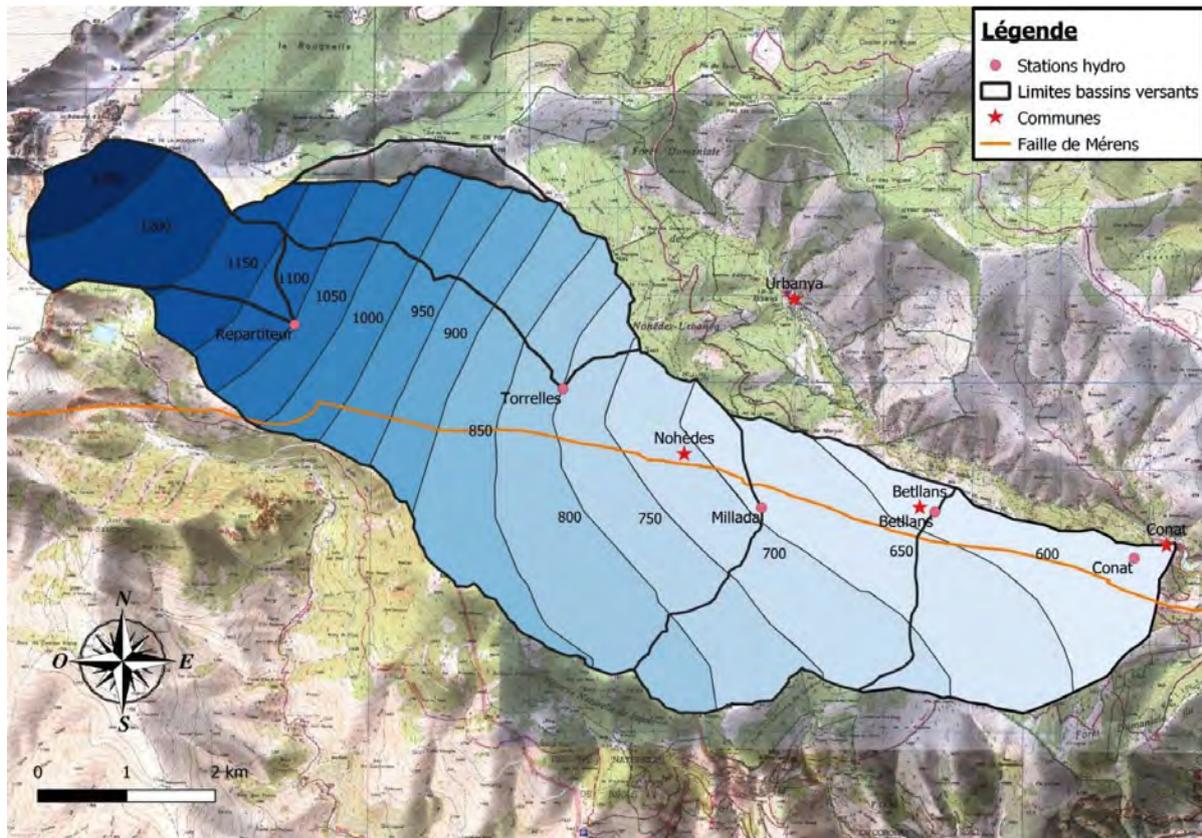


Illustration 7 : Projection des isohyètes du modèle AURHELY sur le bassin versant de la rivière de Nohèdes (in Cuxac, 2019)

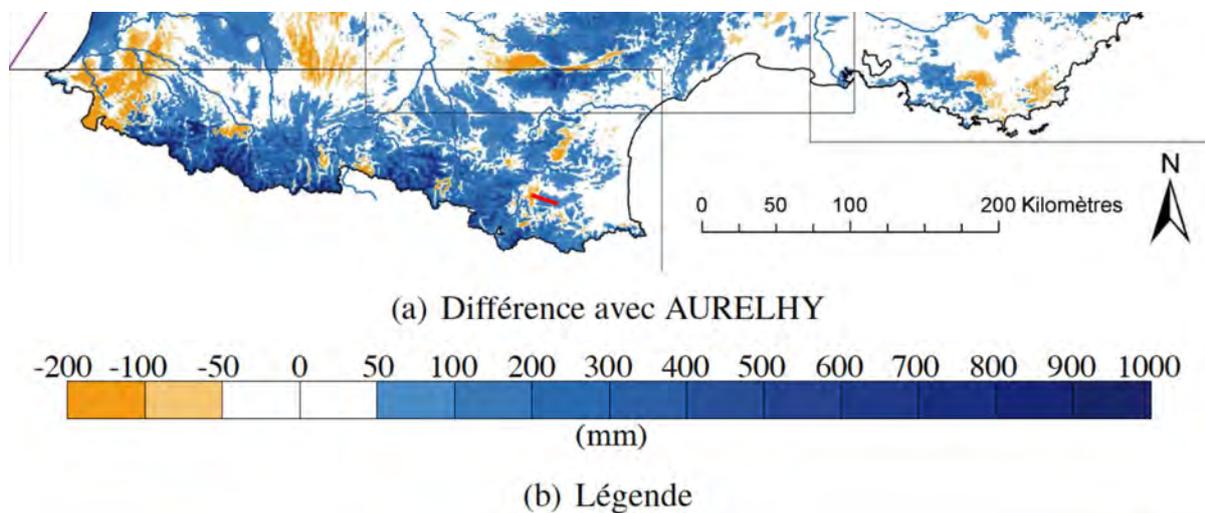


Illustration 8 : Différence entre les estimations de précipitations de Gottardi (2009) et celle de la méthode AURELHY (précipitations annuelles moyennes sur la période 1971-2000) ; l'emplacement de la vallée de Nohèdes (un peu plus de 18 km) est figuré par un trait rouge (d'après Gottardi, 2009).

## Enneigement

La durée et l'importance de l'enneigement varient conformément au régime des précipitations et à la variation altitudinale. Au village de Conat, à 500 m d'altitude, les chutes de neige sont rares, quelques jours par an en moyenne, irrégulières, peu abondantes et la neige ne tient pas. Le village de Nohèdes connaît en moyenne 18,5 jours de neige par an. En revanche, la neige s'accumule aux étages supérieurs,

de manière d'autant plus importante que les vents de secteur nord-ouest, dominants, balayent en direction du haut bassin-versant la neige tombée sur les plas environnants qui s'établissent vers 2 300 m. Lors du dégel, ce stock d'eau hivernal alimente le réseau hydrographique de la vallée du Callan. Le régime des crues printanières est modulée par la présence dans la haute vallée de Nohèdes d'arènes granitiques de vastes épaisseurs, au travers desquelles percolent les eaux de fonte et de pluie.

### Réseau hydrographique

La gouttière karstique du mont Coronat perturbe la circulation de l'eau et rend son trajet difficile à identifier. Il n'y a pas d'écoulement superficiel permanent en versant nord. L'eau infiltrée constitue un vaste réservoir dont Rio (2015) estime la ressource accumulée à onze millions de mètres cubes, soit l'alimentation annuelle d'une population de 130 000 habitants : le département des Pyrénées-Orientales compte 480 000 habitants ; actuellement, cette eau est captée pour l'alimentation en eau potable de la commune de Ria (1 350 habitants). Malgré tout, des résurgences se manifestent lorsque le calcaire rencontre les schistes sous-jacents. Pour cette raison, de nombreuses sources jaillissent en versant sud dans la réserve de Jujols, mais ce sont des ruisseaux au débit faible avec un étiage estival sévère. Le village de Jujols est confronté en permanence à la rareté de l'eau.

Du côté de la vallée de Nohèdes, le réseau naturel comprend en altitude, dans l'ancien cirque glaciaire, deux lacs dont un majeur, le *gorg Estelat*, et de nombreuses tourbières, topogènes ou soligènes. Située sur le toit du front morainique würmien, une tourbière a été ennoyée il y a une quarantaine d'années pour créer une retenue artificielle, l'*estany del Clot*, qui alimente une microcentrale hydroélectrique. La haute-vallée est le château d'eau de ce secteur du massif. Un canal d'altitude, aujourd'hui abandonné, emportait une partie de l'eau hors du bassin-versant pour approvisionner en eau le village de Jujols. Un autre canal, lui toujours en activité, alimente le village d'Urbanya situé dans le bassin-versant mais dans une vallée adjacente ; à l'eau de la source captée s'ajoute celle d'une tourbière de pente drainée par le passage du canal. Cette eau retourne au réseau hydrographique lorsqu'elle gagne finalement la rivière d'Urbanya, le principal affluent de la rivière de Nohèdes : il la rejoint juste en aval du village de Conat édifié à la confluence. La rivière prend alors le nom de rivière du *Callan*.

Lorsque son trajet l'amène à longer le mont Coronat, la rivière de Nohèdes recoupe en plusieurs endroits la faille de Merens. Il s'ensuit des pertes d'eau qui alimentent le réseau karstique du mont Coronat. Ainsi, une partie de l'eau recueillie par le bassin versant quitte la rivière dont le débit, globalement, n'augmente pas dans les proportions attendues. Les multiples prélèvements humains s'ajoutant à cela tout au long de la vallée, le Callan est en déficit à son exutoire dans la Têt, selon les seuils définis par l'Agence de l'eau (De Bentzmann, 2020).

Ces faits sont connus entre autre grâce à l'installation, depuis douze ans pour les plus anciennes, de cinq sondes hydrologiques, disposées entre 550 m et 1 700 m d'altitude le long de la rivière principale et d'un affluent secondaire, la rivière de Toreilles. Ses sondes fournissent des mesures quotidiennes de température de l'eau et du débit. Le recul n'est pas suffisant pour permettre une analyse diachronique de ces paramètres, ni pour établir des corrélations entre le changement climatique en cours et l'évolution du régime hydrologique, mais des projections ont été réalisées, qui seront exposées dans la seconde partie.

## B.2 Températures

Les altitudes extrêmes de la vallée de Nohèdes, qui sont d'une part la confluence du Callan et de la Têt, à 349 m d'altitude, et d'autre part le sommet du roc Negre, à 2 459 m, fournissent une mesure de l'amplitude altitudinale du versant sud du massif du Madres, qui atteint donc 2 100 m. Les réserves naturelles du mont Coronat ont quant à elle leur emprise sur un dénivelé de 1 800 m environ : Conat s'étend de 600 à 1 670 m, Jujols de 1 050 à 2 170 m, Nohèdes de 770 à 2 460 m. Si l'on retient un refroidissement moyen de la troposphère de 6 ° C par tranche de 1 000 m, on en déduit que le gradient moyen de température, pour 2 100 m de dénivelé, est de 12 ° C environ d'amplitude.

On peut également estimer cette amplitude d'après les températures moyennes à ces points extrêmes que permet de calculer la formule de régression en fonction de l'altitude (h) établie par Ascensio pour le département (1984, in Auvray & Jappiot, 1990) :  $T = 15,28 - 0,0053 \times h$ . La température serait de 13,4 ° C à la confluence et de 2,2 ° C au sommet du pic Negre, soit une amplitude de 11,2 ° C. Selon la même formule, la

température moyenne annuelle au village de Nohèdes, à 970 m, serait de 10,1 °C ; or, Cuxac (2019) indique que la moyenne annuelle des températures relevées au village pendant la période 1962-1983, soit 22 années, est de 11,8 °C, Roux *et al.* (2008) indiquent de leur côté 10,8 °C pour la période 1970-2000. Ces différences interrogent.

La station de Météofrance est demeurée à Nohèdes (917 m) jusqu'en 2004 ; Elle a été déplacée plus en altitude depuis. L'illustration 9 montre l'évolution des températures sur la période 1958-2004. Le test sur la pente de la droite de régression est significatif et montre une diminution de 0,58 °C. Cela s'oppose aux tendances départementales observées par exemple dans la réserve naturelle de la Forêt de la Massane, où les températures ont augmenté de 1,5 °C entre 1976 et 2018 (Heas, 2019). À Perpignan (Météo-France, période 1961-1990) comme à l'échelle du massif pyrénéen (Terradez *et al.*, 2018, période 1949 à 2010), dès 1980 presque toutes les années présentent des écarts positifs à la référence (moyenne trentenaire 1961-1990), qui plus est croissants. Ne sachant rien des conditions de ces relevés, il n'y a pas de raison de les remettre en cause ; une hypothèse à examiner serait que la fermeture progressive des anciens milieux pastoraux aux altitudes moyennes engagée depuis le début du xx<sup>e</sup> siècle, en d'autres termes la reforestation de la vallée, aurait localement plus que compensé le réchauffement global ! À défaut d'être ici-même vérifiable et vérifiée, cette hypothèse invite à réfléchir au rôle de la renaturalisation dans la résilience des écosystèmes.

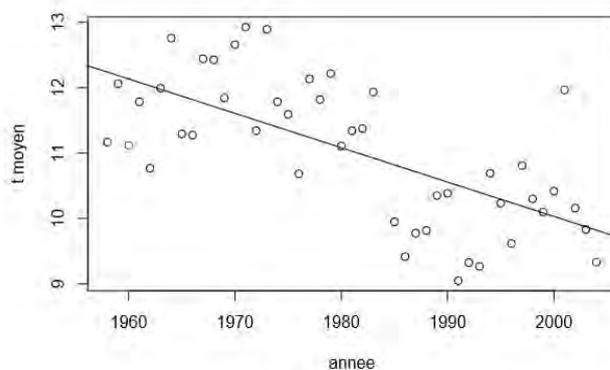


Illustration 9 : Températures moyennes annuelles relevées à Nohèdes de 1959 à 2008 et droite de régression de la série.

## C. Climat de référence du projet Drias

Le jeu de données Drias-2020 a été utilisé pour connaître la dérive climatique attendue sur le massif du Madres. Le jeu d'observations de référence du projet Drias, qui fournit pour notre territoire une modélisation du climat local pour la période 1976 à 2005, est la base Safran. Sa résolution étant de 8 km, trois mailles ont été retenues pour couvrir le territoire (illustration 10). Le recours à la maille 2213, immédiatement à l'est de la maille 2212, aurait permis de mieux encadrer le climat du massif.

Nous disposons ainsi de trois physionomies climatiques du massif, même si elles simplifient la réalité des contrastes qui s'expriment sur place, compte tenu de la brutalité du gradient altitudinal à certains endroits. Par exemple, la pente moyenne du versant nord du mont Coronat est de près de 50 % ; en versant sud, elle est d'environ 35 %, pour des dénivelés qui peuvent atteindre 1 200 m. En d'autres termes, une seule maille de 8 km de côté couvre aisément deux étages climatiques, voire trois. Nous reviendrons plus loin sur cette notion d'étage climatique.

La maille 2211 est centrée approximativement sur le pic Madres, elle a son emprise sur les plus hautes altitudes du massif. La maille 2212 a son centre non loin du village d'Urbanya, elle recouvre approximativement la moyenne vallée de Nohèdes et de Conat. Le centre de la maille 2069 est situé peu en aval du village de Jujols, et englobe une grande partie du versant sud du mont Coronat ; elle s'étend au sud en rive droite de la Têt. À chaque maille sont assignées des données mensuelles de précipitation et de température. Il est donc possible de représenter le climat moyen de chacune d'elle par sa précipitation

moyenne annuelle P, sa température moyenne annuelle T et son amplitude thermique moyenne annuelle

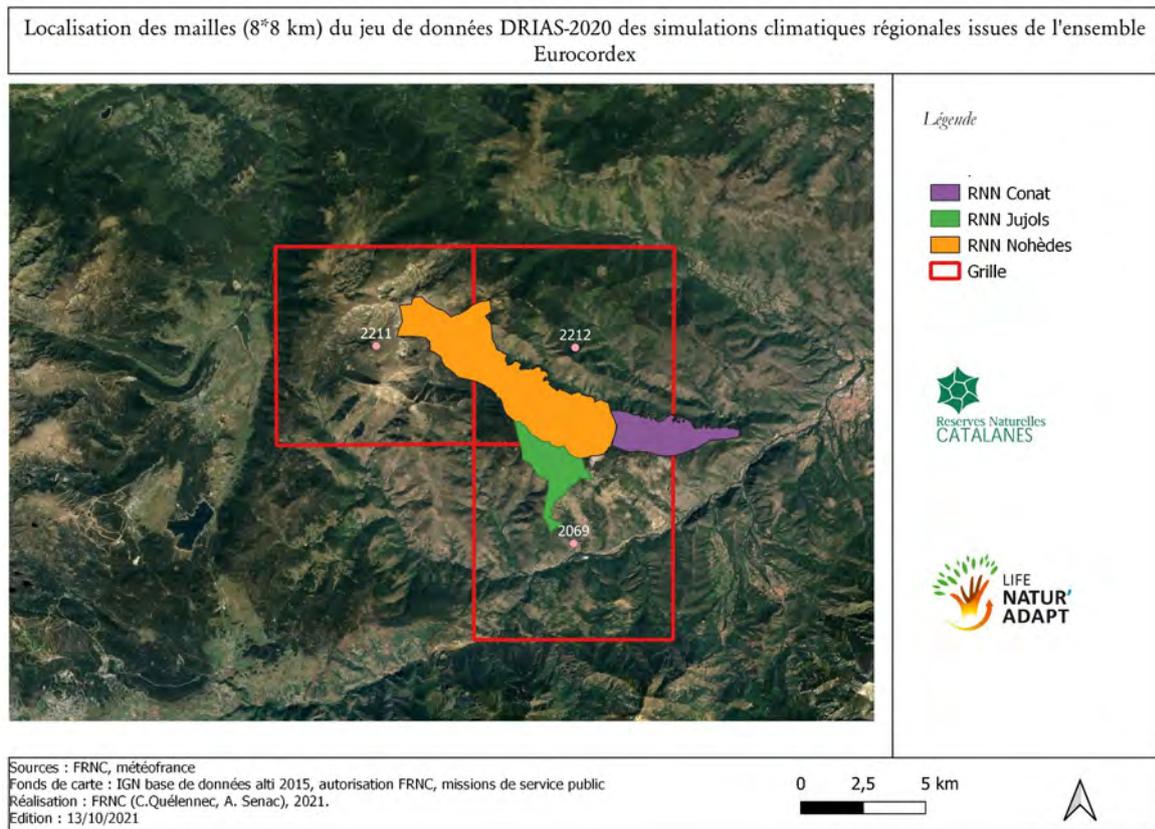


Illustration 10 : Les trois mailles retenues pour couvrir la zone d'étude.

Tc-Tf (tableau 1 et illustration 11).

Ces valeurs soulignent à nouveau l'existence d'un gradient pluviométrique décroissant ici du nord-ouest vers le sud-est, tandis que le gradient, inverse, des températures manifeste les différences d'altitude moyenne de chaque maille, la maille 2211 étant centrée sur la région de plus haute altitude, donc d'un climat plus froid que les autres.

Tableau 1. Paramètres climatiques des mailles.

	Maille 2069	Maille 2212	Maille 2211
P (en mm)	784	860	1 434
T (en °C)	10,3	8,3	4,4
Tc-Tf (en °C)	15		

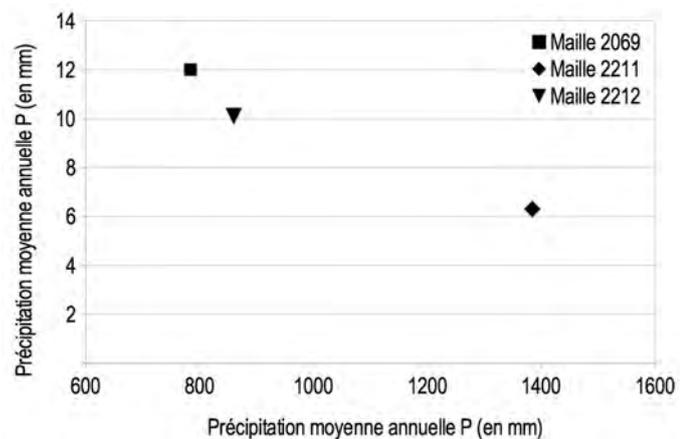


Illustration 11 : Climogramme des trois mailles du jeu de données Drias-2020.

Les climatogrammes ombrothermique de Gausсен et Banyuls (illustrations 12 à 14) montrent le caractère bimodale, discontinu, des précipitations pour les mailles les plus orientales, 2212 et 2069, les pluies étant concentrées au printemps et à l'automne (régime PAEH ou PAHE, avec un découpage saisonnier : H = déc.-jan.-fév, P = mars-avr-mai, E = jun-jul-août, A = sep-oct-nov). C'est le régime climatique déjà noté par Roux

et al. (op. cit.) à Nohèdes et Olette. Si les climogrammes de ces deux mailles sont d'allure similaire, celui de la maille 2069 révèle un climat plus chaud et plus sec.

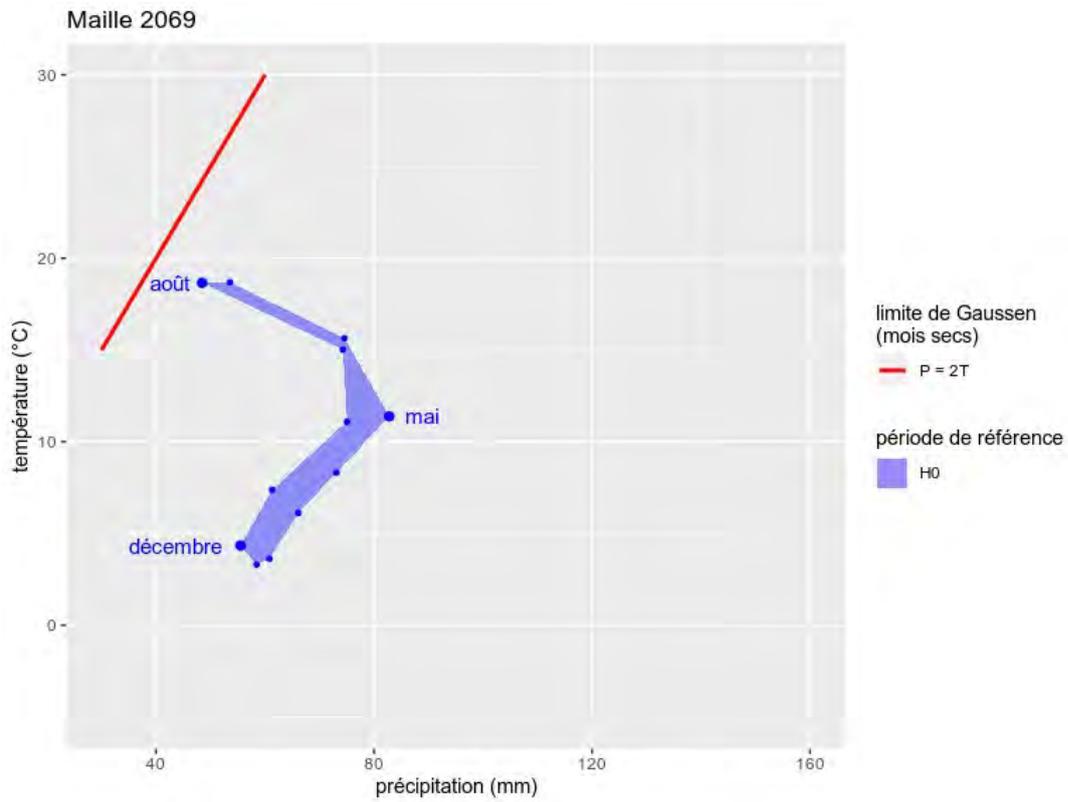


Illustration 12 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2069.

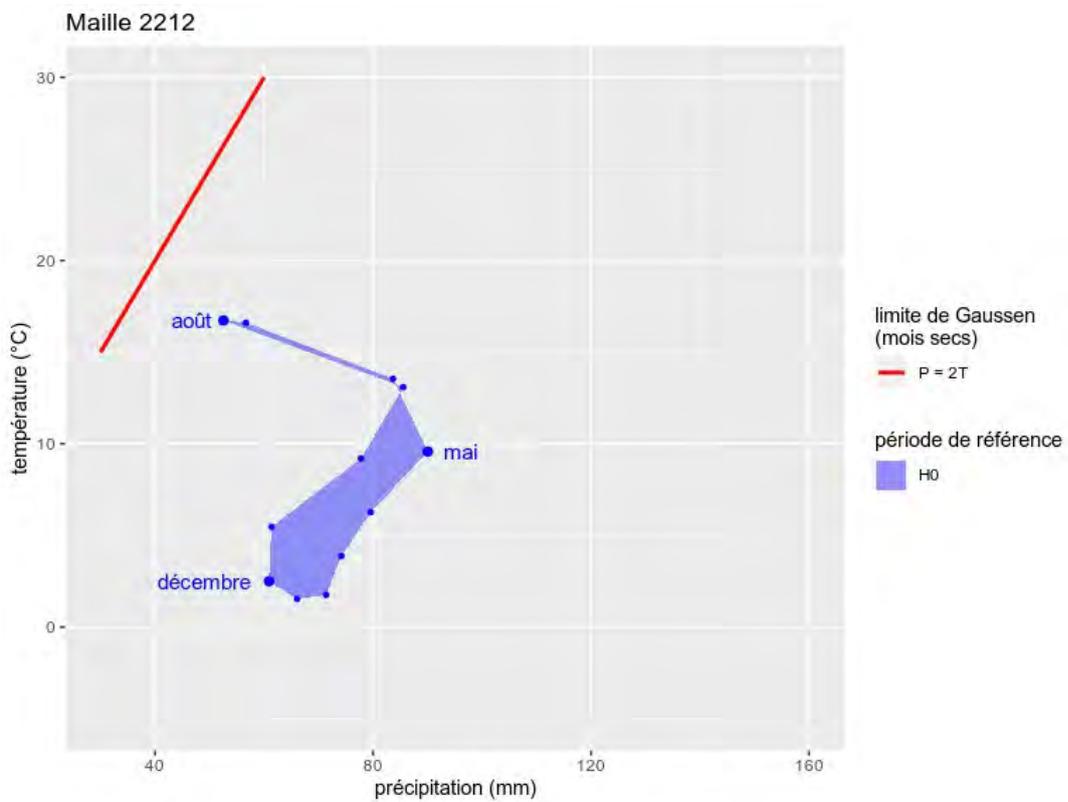


Illustration 13 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212.

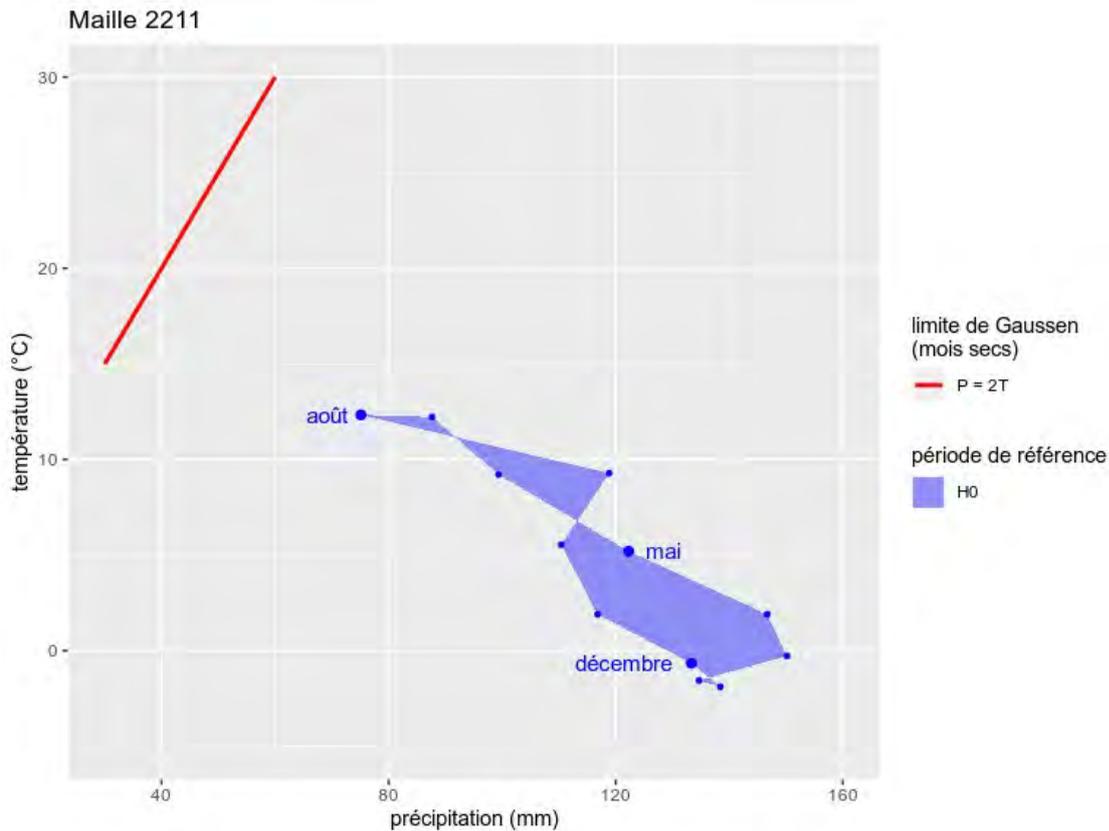


Illustration 14 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2211.

Par contre, pour la maille 2211, le maximum pluviométrique est centré sur l'hiver et le début du printemps (régime HPAE). Le climatogramme ombrothermique est nettement décalé vers des températures plus basses et une pluviométrie plus forte ; son allure tranche avec les deux précédents. Cependant, pour aucune des mailles, il n'y a de mois secs, au sens de Gausсен, c'est-à-dire que le rapport P/T n'est jamais inférieur ou égal à 2.

Il résulte de ces gradients thermo-pluviométriques un étagement de la végétation qu'il est maintenant proposé d'évoquer pour compléter la vision du climat du massif.

## D. Étages phytoclimatiques du massif du Madres

On entend ici par étage phytoclimatique l'étage virtuel de végétation dans des conditions stationnelles moyennes. La terminologie retenue est celle de Defaut (1996)<sup>1</sup>, les équivalences avec celle d'Ozenda (1975) sont données dans le tableau 2. Les étages phytoclimatiques ont une épaisseur de 600 m environ, ce qui correspond à un gradient moyen de température de presque 4 °C d'amplitude ; par rapport aux soulanes, les étages climatiques sont en ombre décalés d'environ 100 m à 150 m vers le bas.

La transition entre le climat méditerranéen et le climat eurosibérien qui règne sur le massif, jointe au fait que les formations climaciques sont altérées par l'activité humaine, rend délicates la délimitation et la caractérisation des étages. L'étage mésoméditerranéen pénètre peu dans les réserves naturelles du mont Coronat ; les irradiances les plus fortes s'observent dans l'Est de la réserve naturelle de Conat. À l'étage supraméditerranéen, la chênaie blanche pure est présente de façon fragmentaire, elle affiche souvent un faciès de chênaie verte dans sa partie inférieure et un faciès de pin sylvestre dans sa partie supérieure. À l'étage montagnard supérieur, la soulane du mont Coronat, à Jujols, est dominée par la pinède sylvestre,

1 Voir également Botti (2018), pour l'application du système de Defaut aux phytoclimats européens.

tandis que la partie inférieure est dégradée en pelouses et landes xérophiles ; le climax du versant nord à l'étage montagnard est la hêtraie, mais le pin sylvestre règne encore dans bien des secteurs de Conat et de Nohèdes, le plus souvent comme essence de substitution.

L'étage subalpin est dominée par le pin à crochets et, lorsqu'on sort du calcaire, par des formations secondaires de landes à genêt purgatif ; les pelouses, à nard, à fétuque paniculée ou à *gispet* (*Festuca eskia*) occupent une bonne partie du haut bassin-versant de la rivière de Nohèdes ; l'ordre des Piceetalia excelsae, bien présent dans les Pyrénées, n'occupe le massif du Madres que dans les secteurs les plus arrosés et les plus froids et sa présence dans les réserves du mont Coronat n'est pas affirmée. Quant à l'étage alpin, son existence dans le massif fait encore l'objet de débat ; son extension semblerait marginale.

Tableau 2. Nomenclature et définition des bioclimats potentiels sur le massif du Madres.

Nomenclature des étages phytoclimatiques (Defaut (1996))	Correspondance adaptée d'Ozenda (1975)	Tranche altitudinale approximative (en soulane)	Définition phytocénotique (nomenclature de Bardat <i>et al.</i> , 2004)	
<b>Série d'étages axériques</b>	AA, arctico-alpin (= AX6, axérique très froid)	alpin	2 400-...	Caricetalia-curvulae et Carici-Kobresietea
	BS, boréo-subalpin (= AX5, axérique froid)	subalpin	1 800-2 400	Piceetalia excelsae
	BM, boréo-montagnard (= AX4, axérique frais)	montagnard	1 200-1 800	Fagenalia sylvaticae et Cephalanthero-Fagenalia
	C, collinéen (=AX3, axérique tempéré)	collinéen	800-1 000 m ?	Quercetalia-robori-petraeae
<b>Série d'étages subxériques</b>	SX5, subxérique froid	subalpin (variante septentrionale de l'altiméditerranéen)	1 800-2 400	Cytision oromediterranei
	SX4, subxérique frais	montagnard à dominante sèche (variante septentrionale de l'oroméditerranéen)	1 200-1 800	Buxo-Pinetalia et Pino-Juniperetea
	SX3, subxérique tempéré	supraméditerranéen	600-1 200 m	Quercetalia-pubescenti-sessiliflorae
<b>Série d'étages xériques</b>	SH3, xérique subhumide	mésoméditerranéen	350-600 m	Quercetalia ilicis

## Discussion

Il y a une incertitude quant au fait de rapporter le *Cytision oromediterranei* au phytoclimat SX5, il pourrait s'agir d'une variante sèche, méridionale, de l'étage subalpin. Ozenda (1975), examinant les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen, a bien posé le problème : « Ici encore, comme à l'étage [oroméditerranéen], il faut commencer par délimiter une zone septentrionale où on doit parler de subalpin plutôt que d'altiméditerranéen. Mais le problème est relativement simple car parmi les essences arborescentes qui peuplent le subalpin de l'arc alpino-carpatique deux seulement, *Pinus mughus* et *P. uncinata*, passent dans les montagnes sud-européennes [...]. *Pinus uncinata* : [...] c'est dans les Pyrénées qu'il atteint son plus beau développement en peuplant tout le subalpin. Il manque plus au sud. ».

Pour le reste, la description résumée dans le tableau 2 s'accorde avec celle, quoique plus détaillée, réalisée par Thouvenot pour la réserve naturelle de Jujols, en soulane du mont Coronat. Par contre, le lichénologue Roux *et al.* (*op. cit.*) se livrent à une analyse climatique qui établit qu'en versant sud du mont Coronat, à Jujols, entre 800 m et 1 100 m règne l'étage collinéen (eurosibérien) et que le climax, masqué par la pression anthropique millénaire exercée sur le milieu, doit être la chênaie « caducifoliée » (les *Quercetalia-robori-petraeae*). À l'appui de leur analyse, ils indiquent que la flore lichénique de Jujols ne possède pas de marqueur méditerranéen. Le point de départ de leur réfutation est l'inexistence de mois secs à Jujols qui exclue l'appartenance au domaine méditerranéen. Il faut noter qu'à l'inverse, le lichénologue Coste (2013) a constaté la présence, dans la réserve de Conat, de lichens réputés méso- et supraméditerranéens, comme par exemple *Caloplaca subochraceae* (M. Choisy et Werner) Clauzade et Cl. Roux.

Globalement, la végétation du mont Coronat possède un caractère xérophile marqué, car à la faiblesse de la pluviométrie s'ajoutent la pente forte qui accroît le ruissellement, et un vaste compartiment calcaire, karstique, qui draine les eaux superficielles, qui occupe tout le versant nord et la crête du mont Coronat. Thouvenot (2004) note d'ailleurs qu'à Jujols le peuplement muscinal ne s'enrichit pas en altitude de manière attendue compte tenu de l'augmentation des précipitations et de la diminution

des températures. Aux explications d'ordre édaphique données ci-dessus, il ajoute la forte irrégularité inter-annuelle des précipitations « qui favorise les espèces plastiques et banales », la sécheresse de l'air et la forte luminosité. Par conséquent, en raison de ces corrections édaphiques, les étages de végétation (c'est-à-dire, la végétation réelle) ne coïncident pas exactement avec les étages phytoclimatique. C'est peut-être une explication de la différence d'interprétation de Roux *et al.*. D'autant que les lichens, saxicoles, corticoles, foliicoles, lignicoles, muscicoles, terricoles, sont peut-être plus sensibles à l'ambiance climatique, à l'humidité atmosphérique, et à la chimie de leur support qu'à l'aridité édaphique.

À défaut de pouvoir trancher définitivement, il est possible de localiser les paramètres climatiques moyens des trois mailles du jeu de données Drias-2020, pour la période de référence, sur le climagramme de Defaut (illustration 15) qui prend en compte :

1. En abscisse, un indice d'aridité  $Qn_2$  (Defaut, 1991), répondant à la formule suivante,

$$Qn_2 = 10 \sqrt{\frac{50(P + 10P')}{(T + 30)(tc - tf)}}$$

ou P est la pluviométrie moyenne annuelle, P' la pluviométrie cumulée des trois mois consécutifs les plus secs (au sens de Gaussen), T la température moyenne annuelle, tc la température moyenne du mois le plus chaud, tf la température moyenne du mois le plus froid. Plus la valeur de  $Qn_2$  est faible, plus l'aridité est importante.

2. En ordonnée, la température moyenne annuelle T relayée, pour les phytoclimats les plus froids, par la température moyenne du mois le plus chaud (tc).

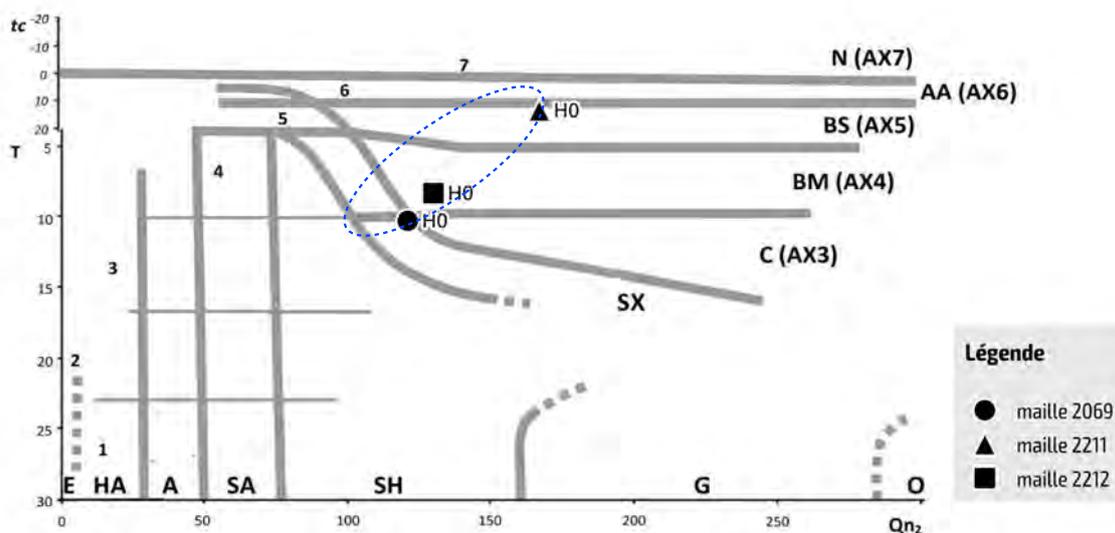


Illustration 15 : Localisation des mailles climatiques de référence sur le climagramme de Defaut ; en tirets bleus, l'emprise climatique hypothétique du massif du Madres.

Les trois postes climatiques, par aridité décroissante ( $Qn_2$  croissant), se placent : pour la maille centrée sur le village de Jujols, au sommet de l'étage SX3 (supraméditerranéen) en limite de l'étage collinéen ; pour la maille centrée sur la moyenne vallée de Nohèdes, à la base de l'étage BM (boréo-montagnard) et dans le secteur le plus aride ; enfin, pour la maille centrée aux environs du pic Madres, au sommet de l'étage BS (boréo-subalpin).

Compte tenu des éléments qui nous permettent par ailleurs de cerner le climat du massif, ces résultats sont assez satisfaisants. Ils rendent compte de la trajectoire climatique qui règne sur le Madres, traversant la frontière qui sépare le climat méditerranéen du climat eurosibérien ou, au sens de Defaut, la transition entre les climats xérique, subxérique et axérique. L'amplitude climatique importante fournit une échelle si on veut se représenter l'emprise hypothétique du climat du massif. Le recours à la maille 2213, qui borde le massif à l'est, révélerait probablement la pénétration du climat mésoméditerranéen (SH3). Par contre, compte tenu de la simplification qu'apporte l'analyse par mailles, l'incertitude concernant le climat qui règne à l'altitude de Jujols demeure, à la frontière entre le supraméditerranéen et le collinéen ; une autre

incertitude demeure, concernant le climat arctico-alpin des hautes altitudes du Madres et l'extension de ce dernier étage.

L'intérêt de cette représentation est de figurer un encadrement du climat de référence. Elle peut également montrer de manière éloquente l'amplitude de la dérive des points  $H_0$ , qui traduira le changement climatique en cours sur le massif du Madres, objet du chapitre suivant.

## CHAPITRE 2. CLIMAT DU MASSIF DU MADRES AU FIL DU CHANGEMENT

(DAVID MORICHON, CÉLINE QUÉLENNEC, RAÚL PIMENTA)

Comme on a pu le constater, les sources disponibles pour aider à caractériser le climat actuel ou tout au moins récent qui règne sur le massif du Madres sont peu nombreuses, asynchrones et pas toujours cohérentes entre elles. Il est d'autant plus difficile de préciser les évolutions locales du climat depuis le début de l'essor industriel ou plus récemment.

Les évolutions régionales du climat sont, elles, mieux documentées, à l'échelle soit des Pyrénées, soit de la région méditerranéenne, deux domaines auquel se rattache le massif du Madres. Elles sont ici brièvement retracées et complétées par les projections qui ont été faites pour les décennies à venir.

Il y a matière désormais dans les réserves naturelles du mont Coronat pour réaliser des études diachroniques de la flore ou de la faune, mais le travail est à peine esquissé : au moins un exemple d'évolution manifestée par la faune sera donné. Dans un second temps, grâce aux projections réalisées par le projet Drias, sera examinée l'évolution du climat du versant sud du massif du Madres à deux horizons de temps, le milieu et la fin de ce siècle.

### A. Évolutions régionales du climat

#### A.1. Évolution du climat dans les Pyrénées (Terradez *et al.*, 2018)

Entre 1959 et 2010, par rapport à la période 1961-1990, on constate une augmentation de la température annuelle et saisonnière : la moyenne glissante décennale est en constante augmentation depuis 1981, la dernière décennie étant la plus chaude jamais enregistrée. ; au cours des cinq dernières décennies, l'augmentation moyenne annuelle est de 0,2°C par décennie ; elle est de 0,4 °C pour la température estivale et de 0,2 °C pour la printanière.

Dans le même temps, la baisse de la pluviométrie annuelle est de 2,5 % par décennie, en raison d'une diminution des précipitations surtout en été et en hiver. L'évaluation de l'évolution du manteau neigeux à l'échelle des Pyrénées est impossible, mais dans les Pyrénées centrales, il a été constatée sa diminution au cours de la période 1950-2010.

Les projections concernant le climat futur prédisent une augmentation progressive des températures maximales aussi bien que minimales. Cela s'accompagnera d'une diminution de l'épaisseur du manteau neigeux et de la durée de l'enneigement. La projection est incertaine concernant les précipitations.

#### A.2. Évolution du climat en région méditerranéenne

1. Le site météo France (<http://www.meteo.fr/meteonet/temps/clim/ClimatHD/>) indique pour l'ancienne région Languedoc-Roussillon une hausse des températures moyennes de 0,3 °C par décennies pour la période 1959 à 2009. Le réchauffement s'est accentué depuis 1980, il est plus marqué au printemps et en été<sup>2</sup>. Dans le même temps, les précipitations ont diminué, les sécheresses ont progressé, les gelées sont moins fréquentes. Dans les Pyrénées-Orientales, la durée de l'enneigement a diminué en moyenne montagne de 18 % par décennie.

---

2. Entre 1976 et 2018, dans la réserve de la Forêt de la Massance, c'est en automne que les températures ont le plus augmenté, de 2,87 °C. L'été, le printemps et l'hiver montrent une augmentation respective de 2,77 °C, 2,64 °C et 2,07 °C » (HEAS, 2019).

Vingt-huit vagues de chaleur ont été recensées entre 1947 et 2019 (illustration 16) : dix-huit ont eu lieu depuis 2000, soit les deux tiers, concentrées sur le dernier quart de la période. Elles sont aussi parmi les plus longues (elles sont cinq parmi les sept vagues dépassant douze jours) et les plus intenses (elles sont cinq parmi les huit vagues dépassant 27 °C). C'est l'inverse concernant les trente-quatre vagues de froid recensées pendant la même période : celles ayant eu lieu depuis 2000 sont comparativement moins nombreuses, parmi les moins intenses et les plus courtes (illustration 17).

Le réchauffement annuel se poursuivra inéluctablement jusqu'en 2050, la suite dépendra des mesures qui auront été prises entre temps. Si rien n'est fait, le réchauffement pourrait atteindre 4 °C d'ici la fin du siècle par rapport à la période 1976 à 2005. Le régime des précipitations évoluera peu, mais les étés pourraient être cependant plus secs. Le nombre de jours de gel ira en diminuant, celui de jours de chaleur ira en augmentant, jusqu'à 50 jours dans le pire scénario envisagé. L'assèchement des sols se poursuivra.

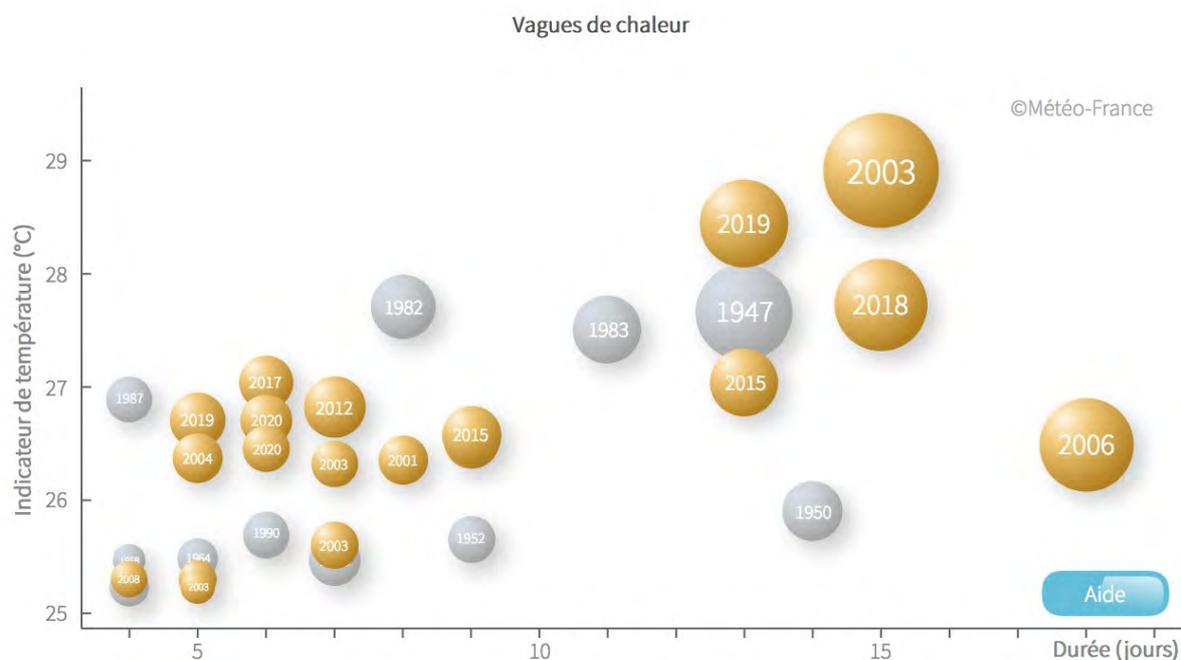


Illustration 16 : Durée et intensité des vagues de chaleur observées en Languedoc-Roussillon entre 1947 et 2019 (en brun, celles qui ont eu lieu depuis l'année 2000) (Météo France).

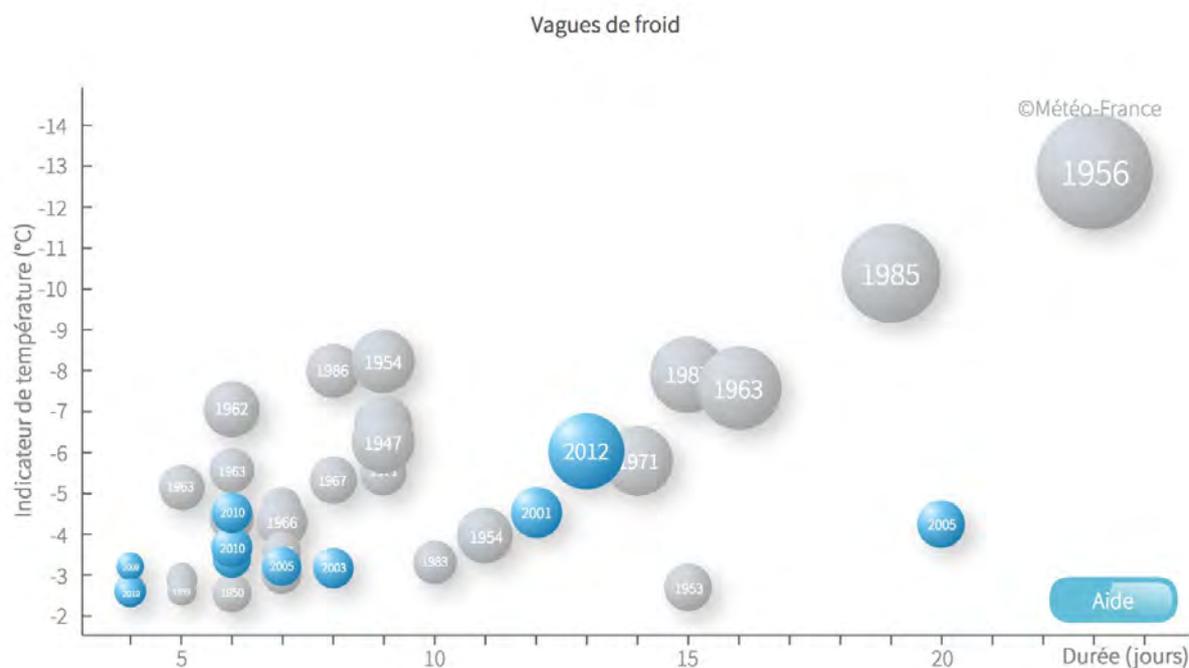


Illustration 17 : Durée et intensité des vagues de froid observées en Languedoc-Roussillon entre 1947 et 2019 (en bleu, celles qui ont eu lieu depuis l'année 2000) (Météo France).

2. Pour le Sud de la France, Lelièvre *et al.*, (2011) indique que depuis 1980, il y a une augmentation significative de la température moyenne annuelle de 0,5 °C environ par décennie. La saison de mai à août, chaude et sèche, s'est réchauffée trois à quatre fois plus vite que la saison froide et humide, étalée de novembre à février. Le nombre de journées chaudes a augmenté de six à sept jours par décennies.

Le climat moyen de toutes les stations de référence évolue vers plus d'aridité (un indice d'aridité est ici défini comme le rapport entre l'espérance mathématique de la pluviométrie annuelle et l'espérance mathématique de l'évapotranspiration végétale). Depuis 1979, la limite des étages climatiques méditerranéens a migré vers le nord et l'ouest.

Les auteurs concluent : « Les climats méditerranéens (déficit en eau > 400 mm) recouvriront 25 à 30 % du territoire métropolitain dès 2040 et pourraient arriver à la Loire (ligne Nantes-Orléans-Mulhouse) en fin de siècle » (illustration 18).

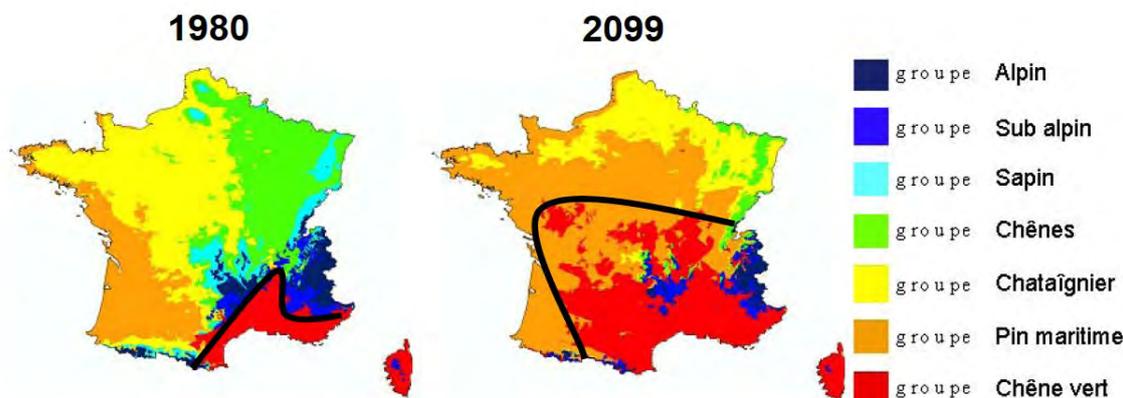


Illustration 18 : Cartes de l'évolution prévue des formations végétales en France entre 1980 et 2099 (d'après Lelièvre *et al.*, 2011).

3. Cramer *et al.* (2018) ont étudié l'évolution du domaine méditerranéen : « les températures annuelles moyennes sont aujourd'hui 1,5 °C au-dessus des moyennes avant la révolution industrielle

(1880-1899) et supérieures aux tendances mondiales en matière de réchauffement (+ 1,1 °C) ». Cette augmentation des températures moyennes pourrait atteindre 2,2 °C en 2040 et 3,9 °C en 2100. Elle serait plus marquée en été qu'en hiver. Les canicules et fortes chaleurs seront probablement plus fréquentes et plus intenses.

Les précipitations, très hétérogènes suivant les lieux, tendront à diminuer dans les décennies à venir (de 10 à 15 % de baisse des précipitations en été dans le Sud de la France), ce qui entraînera un assèchement du climat et une réduction de la disponibilité en eau douce, exacerbée par une demande croissante. L'actuelle région sténo-méditerranéenne française sera exposée à la désertification.

En conclusion, que ce soit pour le domaine pyrénéen ou méditerranéen, les évolutions sont très similaires, marquée par une augmentation des températures et une diminution de la pluviométrie. Ces analyses régionales laissent prévoir une évolution sensiblement identique dans le massif du Madres.

## B. ÉVOLUTIONS DU CLIMAT EN VERSANT SUD DU MASSIF DU MADRES

### B.I. Évolutions constatées

Le cas du refroidissement local à Nohèdes, qui va à l'encontre des tendances régionales, a déjà été évoqué (voir page 10). C'est la seule indication fondée sur des paramètres climatiques physiques réellement mesurées. Néanmoins, il est incontestable que les aléas régionaux affectent aussi le massif. À la suite de la canicule de 2003, la plus violente au cours de la période 1947 à 2019, la sapinière de Conat a vu environ la moitié de ses grands sapins périr (illustration 19). L'effet de tendances climatiques sur la flore ou la faune reste aujourd'hui peu démontrées. Cependant, une étude diachronique 2001-2021 en cours d'achèvement des synusies orthoptérique des milieux ouverts de la réserve naturelle de Jujols révèle la remontée d'espèces en altitude : les sites de reproduction de *Oedaleus decorus* (Germar, 1825) se sont élevés en vingt ans de 300 m environ, jusque vers 1 400 m d'altitude. À ces endroits, les cortèges révèlent d'autres changements : *Tylopsis lilifolia* (Fabricius, 1793) manifeste un caractère envahissant, tandis que des espèces montagnardes ne sont plus revues depuis plus d'une décennie, comme *Decticus verrucivorus* (Linnaeus, 1758). Les zones humides, de faible extension à Jujols, manifestent un assèchement progressif et le criquet *Chrysochraon dispar* (Germar, 1834) qui en est un hôte semble en avoir disparu. Ce sont des indices qu'il conviendra toutefois de consolider.



Illustration 19 : Sapinière de Conat en 2011 ; quelques arbres morts sur pied portent encore leurs aiguilles rouges (cliché D. Morichon).

## B.2. Évolutions projetées

Il est fait recours ici aux projections climatiques du projet Drias qui a déjà été utilisé pour représenter le climat de référence du massif : horizon  $H_0$  (période 1975 à 2005). Les simulations réalisées suivent les trois scénarios du Giec RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5<sup>3</sup>. Ceux-ci dépendent d'un éventail de facteurs tels que la croissance démographique, le développement socio-économique, les évolutions technologiques et les choix politiques futurs en matière d'émissions de gaz à effet de serre. Les conséquences de ces scénarios sur le climat sont envisagées à deux horizons de temps :  $H_2$ , qui correspond à la période 2040 à 2070 ;  $H_3$ , qui correspond à la période 2071 à 2100.

Le scénario RCP 2.6 décrit un monde sobre en émission de gaz à effet de serre, respectant les accords de Paris où le réchauffement global serait limité à deux degrés. Ce dernier semble bien éloigné de l'évolution que l'on détecte actuellement. Le scénario RCP 8.5 est celui correspondant à une non limitation des émissions des gaz à effet de serre, le RCP 4.5 étant un scénario intermédiaire. Actuellement, l'évolution du climat mondial semble suivre le scénario RCP 8.5.

Pour rappel, trois mailles adjacentes de 8 km de côté ont été retenues, nommées 2069, 2211 et 2212, qui couvrent la majeure partie de la zone d'étude (voir illustration 10 page 11). Le tableau 3 indique les paramètres climatiques moyens pour chaque maille, suivant les deux scénarios et aux horizons de temps  $H_2$  et  $H_3$ . Les paramètres climatiques pour le scénario RCP 8.5, à l'horizon de temps le plus lointain,  $H_3$ , se détachent des autres projections (illustration 20). Pour ces paramètres là, nous indiquons dans le tableau 4, à titre d'illustration, pour chaque maille, un poste climatique sur le territoire français dont les valeurs sont proches. C'est ainsi que le climat moyen de la maille 2069, à l'horizon 2070-2100, dans le cas du scénario 8.5, se rapprochera du climat que connaissait Montpellier durant la deuxième moitié du  $xx^e$  siècle (mésoméditerranéen). Pour chaque maille, le phytoclimat est décalé d'un étage vers le bas.

3 RCP : Representative Concentration Pathway

Tableau 3. Paramètres climatiques des mailles (la symbologie utilisée pour le graphique est indiquée entre parenthèses).

Scénario RCP 4.5 (teintes bleus)	Maille 2069 (■)		Maille 2212 (□)		Maille 2211 (◆)	
	Horizon H <sub>2</sub> (ton clair)	Horizon H <sub>3</sub> (ton foncé)	Horizon H <sub>2</sub> (ton clair)	Horizon H <sub>3</sub> (ton foncé)	Horizon H <sub>2</sub> (ton clair)	Horizon H <sub>3</sub> (ton foncé)
P (en mm)	781	797	879	872	1 384	1 382
T (en °C)	12,0	12,5	10,1	10,5	6,3	6,7
Tc-Tf (en °C)	16,2	15,9	16,0	15,7	14,9	14,8

Scénario RCP 8.5 (teintes rouges)	Maille 2069 (■)		Maille 2212 (□)		Maille 2211 (◆)	
	Horizon H <sub>2</sub> (ton clair)	Horizon H <sub>3</sub> (ton foncé)	Horizon H <sub>2</sub> (ton clair)	Horizon H <sub>3</sub> (ton foncé)	Horizon H <sub>2</sub> (ton clair)	Horizon H <sub>3</sub> (ton foncé)
P (en mm)	823	716	864	781	1 367	1 183
T (en °C)	12,8	14,7	10,8	12,7	7,0	9,1
Tc-Tf (en °C)	16,2	17,1	15,9	16,8	15,0	15,8

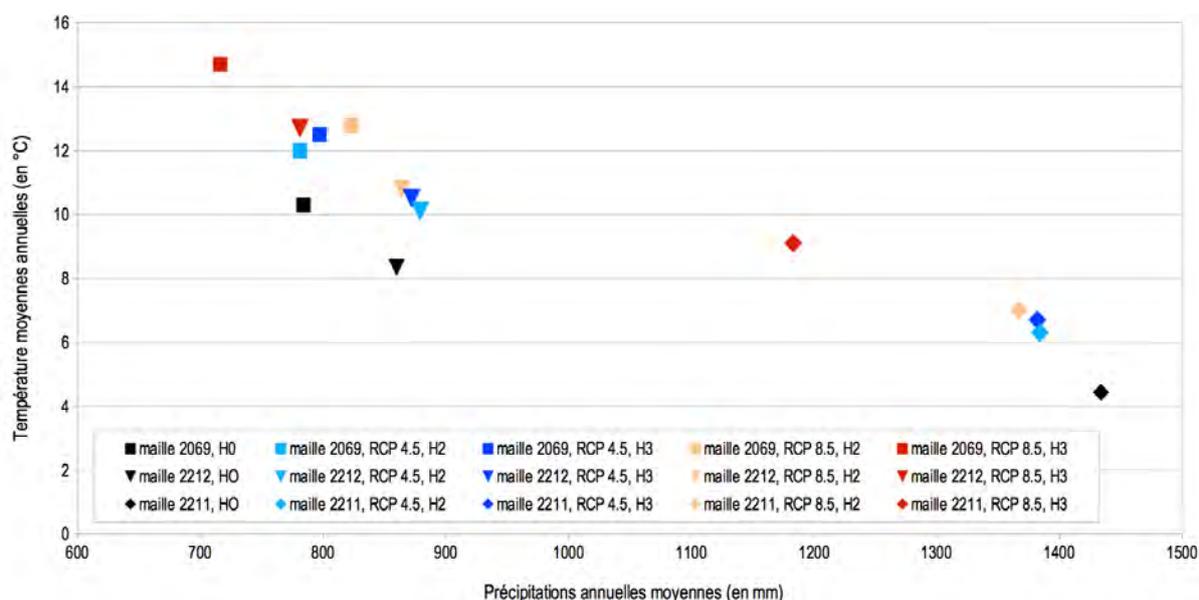

 Illustration 20 : Climogramme des trois mailles du jeu de données Drias, pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5, aux horizons H<sub>2</sub> et H<sub>3</sub>.

Tableau 4. Postes climatiques en France de paramètres ombrothermiques actuels voisins des projections climatiques pour le massif du Madres.

Scénario RCP 8.5, horizon H3	Maille 2069	Montpellier (34) (Mémorial Météo n° 50)	Maille 2212	Pamiers (09) (site Météo France)	Maille 2211	Château-Chinon (58) (Mémorial Météo n° 50)
<b>P (en mm)</b>	716	752	781	786	1 183	1 214
<b>T (en °C)</b>	14,7	14,6	12,7	13,0	9,1	9,3
<b>Tc-Tf (en °C)</b>	17,1	17,6	16,8	16,1	15,8	16,2
<b>Phytoclimat</b>		SH3		SX3		AX4

Les illustrations 21 à 24 montrent les climogrammes ombrothermiques de Gausson et Banyuls construits pour chaque maille et les scénarios 4.5 et 8.5. Tous ces climogrammes montrent des tendances similaires, à savoir une augmentation des températures se renforçant avec le temps, quel que soit le scénario suivi ; cela est particulièrement visible dans le cas de la maille 2211, scénario RCP 8.5 (illustration 25). Dans la plupart des cas, les précipitations diminuent également, d'autant plus que l'horizon de temps est éloigné. C'est évidemment le scénario 8.5 qui entraîne la dérive climatique la plus forte. Alors que dans le cas du scénario 4.5, aucun mois dans aucune maille n'est sec au sens de Gausson (tout au plus y a-t-il deux mois

subsecs dans la maille 2069), il en va bien différemment dans le cas du scénario RCP 8.5 : la maille 2069 présente alors deux mois secs à l'horizon 2070, de même que la maille 2212, de manière moins accusée. Cela signale une évolution vers un climat franchement méditerranéen.

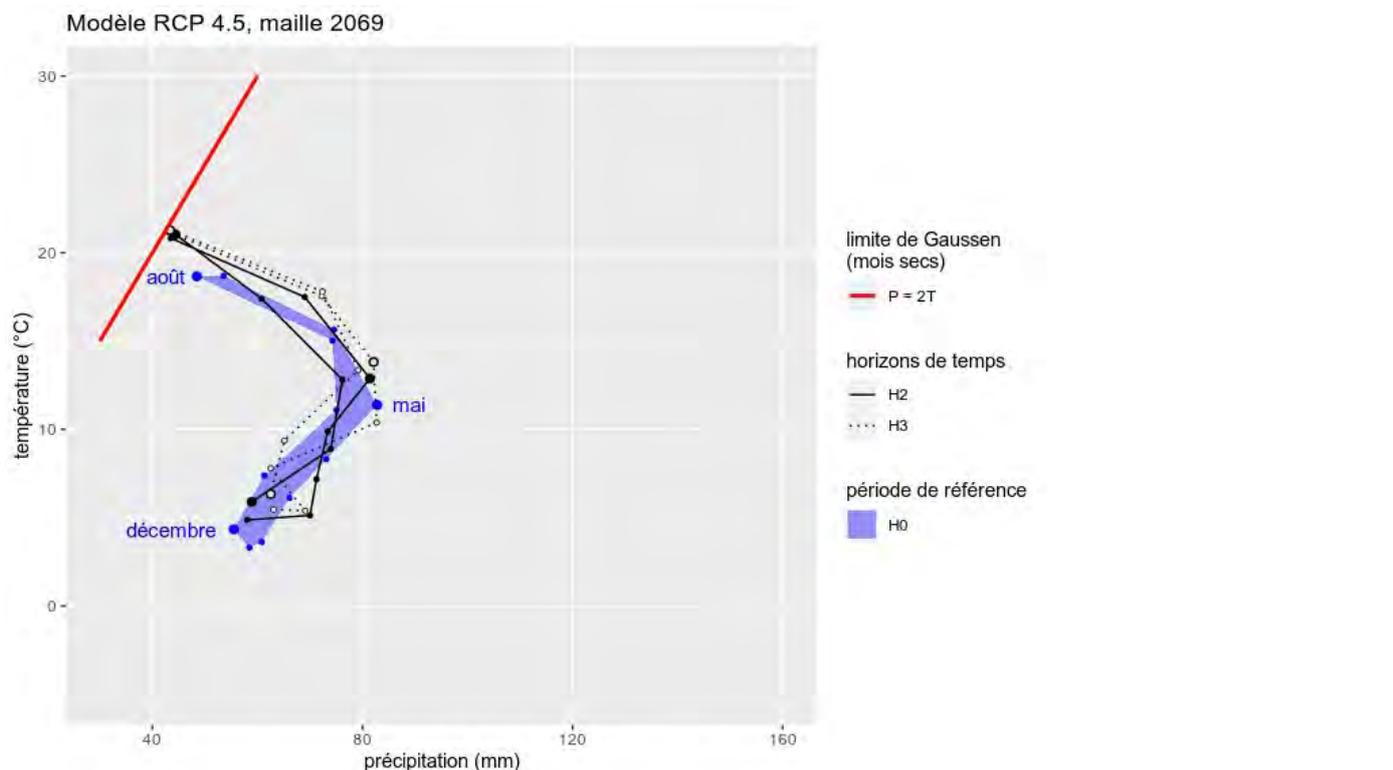


Illustration 21 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2069, scénario 4.5.

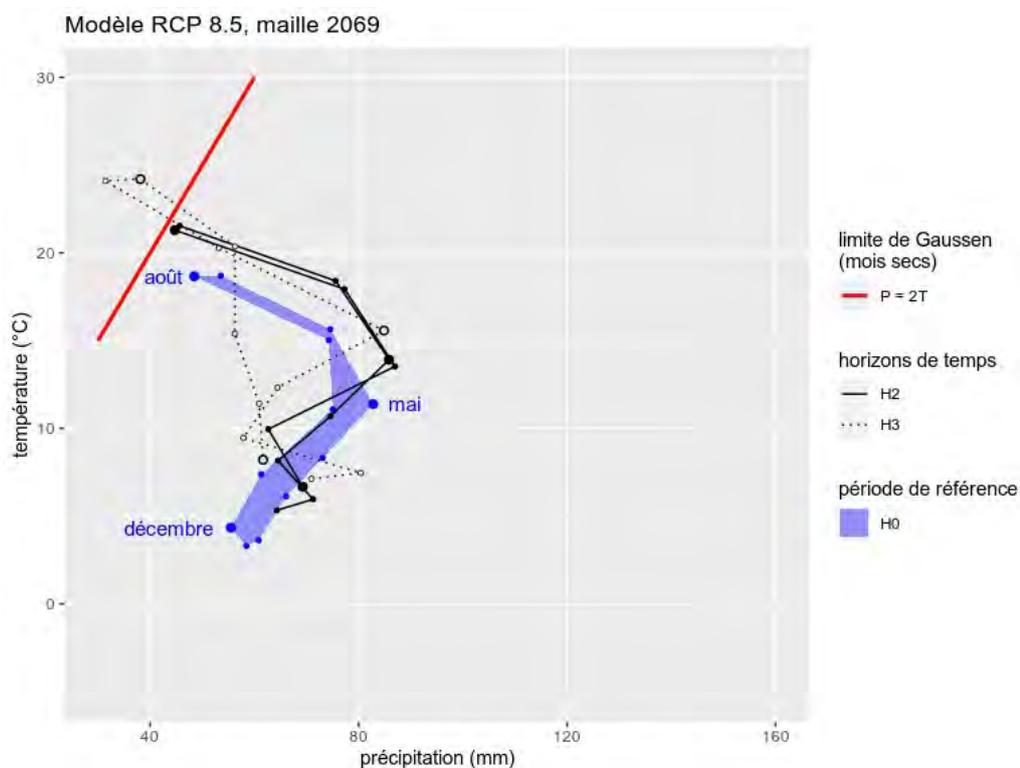


Illustration 22 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2069, scénario 8.5.

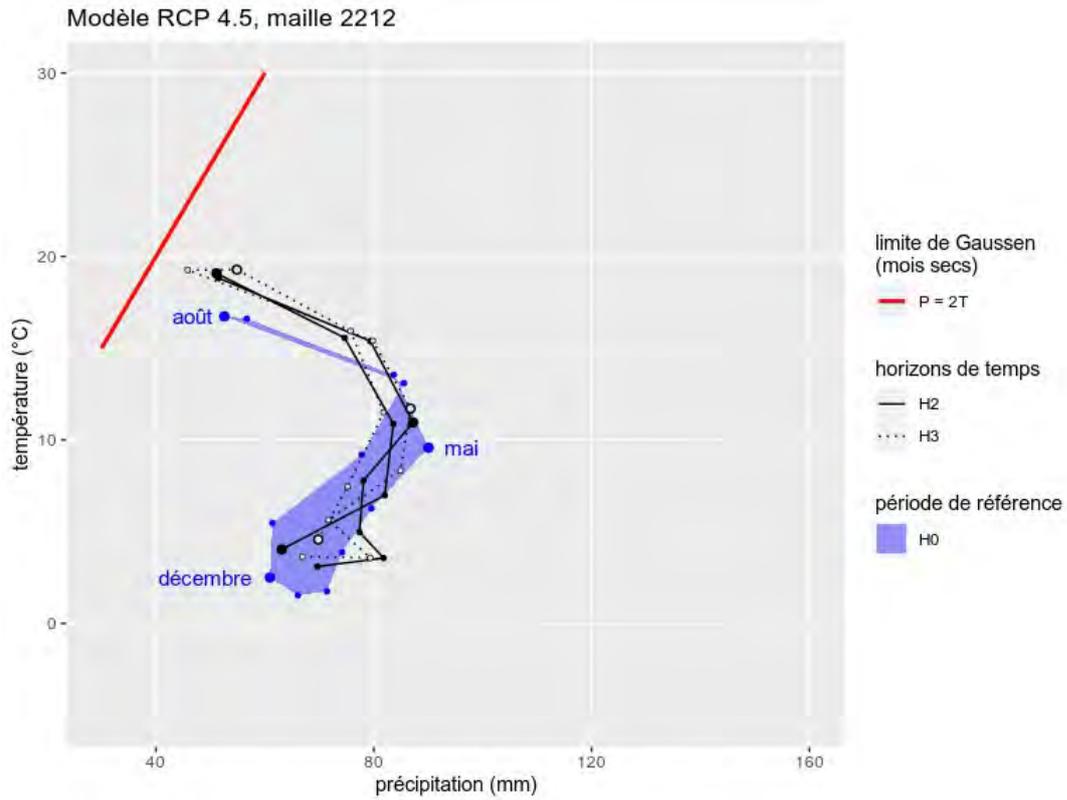


Illustration 23 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212, scénario 4.5.

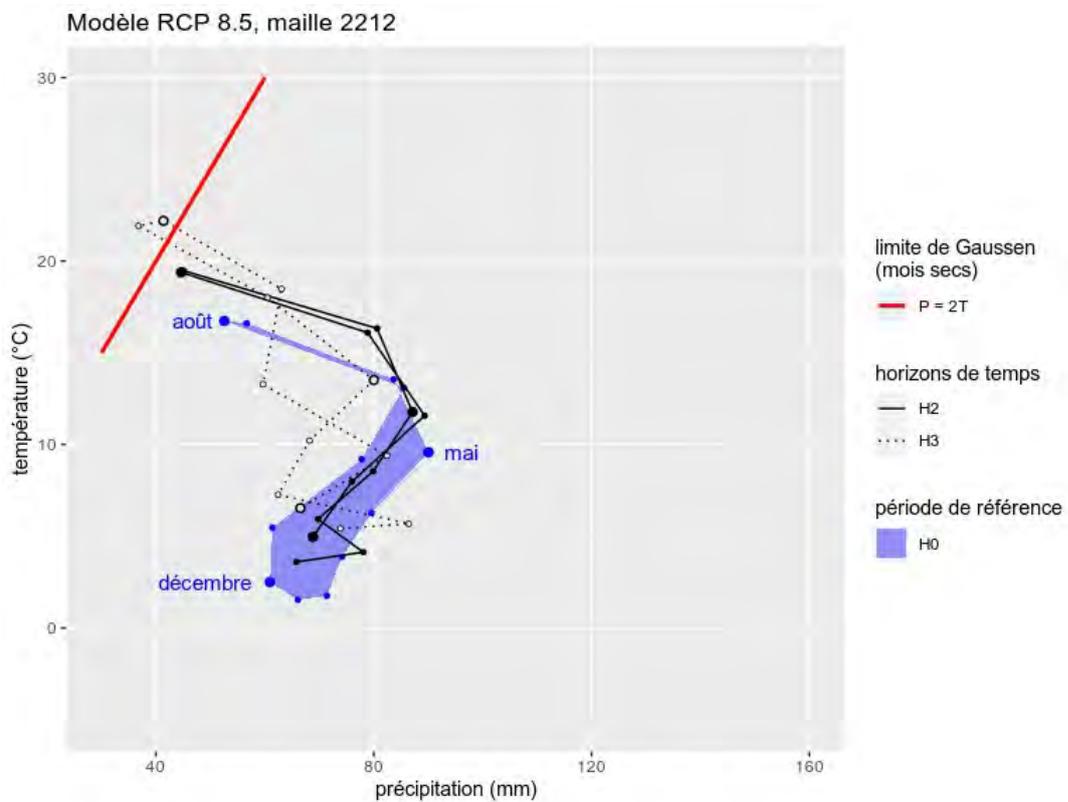


Illustration 24 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212, scénario 8.5.

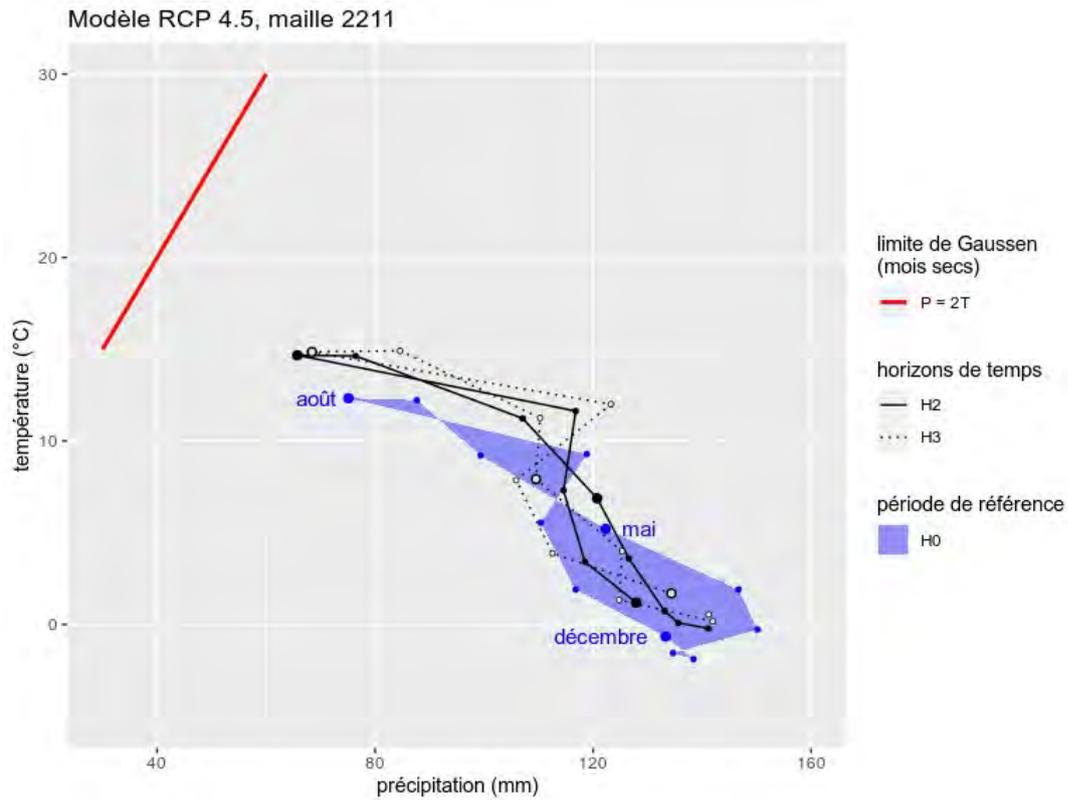


Illustration 25 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2211, scénario 4.5.

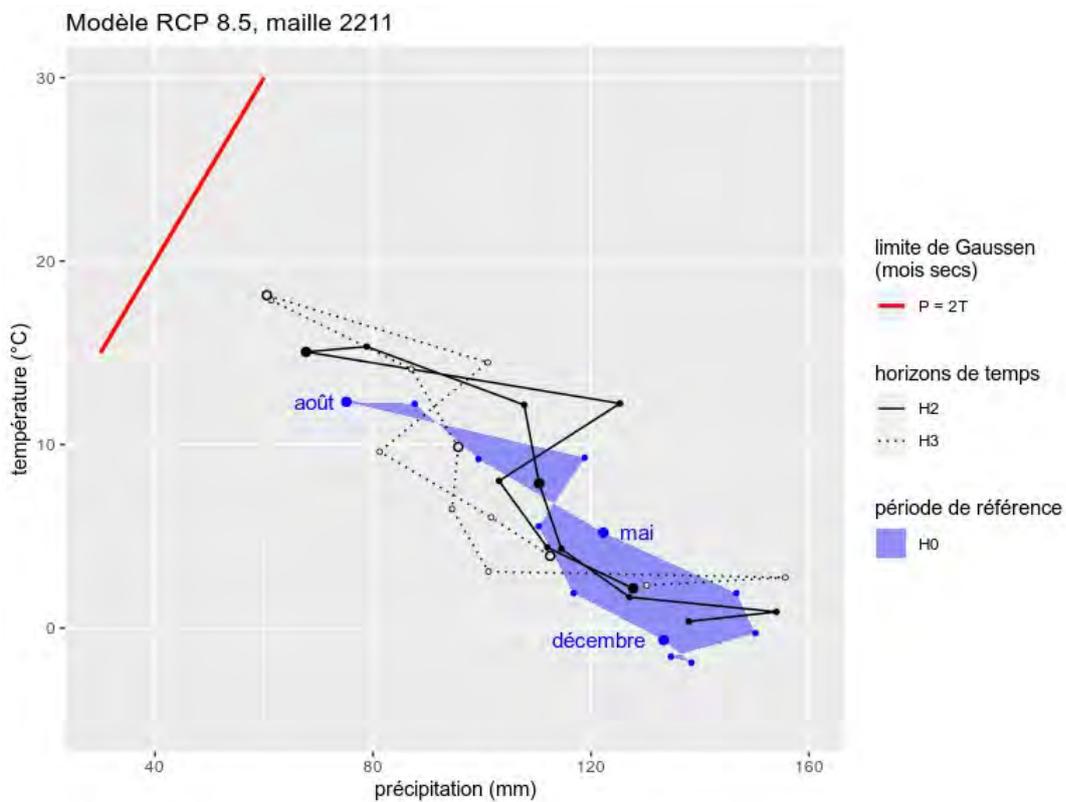


Illustration 26 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212, scénario 8.5.

## B.3. Interprétation phytoclimatique du changement climatique

La simulation fournie par le projet Drias-2020 entraîne une dérive des paramètres climatiques de chaque maille. Ceux-ci peuvent être reportés sur le climagramme de Defaut (illustration 27 à 29).

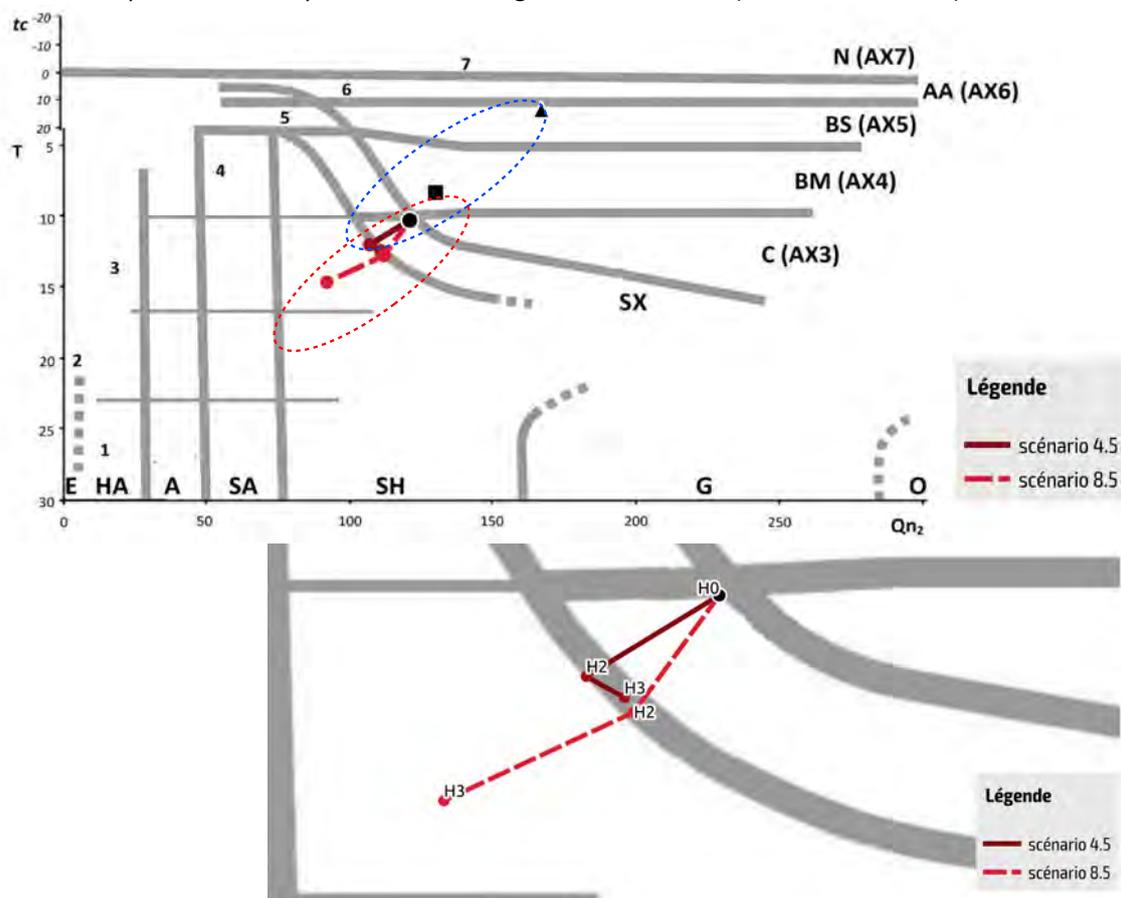


Illustration 27 : Évolution des paramètres climatiques de la maille 2069 ; en tirets bleus, l'emprise climatique hypothétique actuel du massif du Madres ; en tirets rouges, l'emprise à venir si le scénario le plus sévère, 8.5, se réalise. En-dessous, zoom sur la trajectoire.

Pour mémoire, la maille 2069 est celle qui est située en versant sud du mont Coronat. Le scénario médian conduit à traverser un étage bioclimatique à l'horizon 2070-2100 : l'amplitude de température de 2,2 °C équivaut à une remontée des isothermes de presque 400 m. Dans le cas du scénario 8.5, le climat moyen de la maille se trouve plongé au cœur d'un climat mésoméditerranéen (SH3) avec deux mois secs ; la remontée des isothermes est de plus de 700 m, donc supérieur à un étage climatique. Comme il a été dit, les paramètres climatiques seront proches de ceux de Montpellier.

Il faut noter cependant que cette prévision d'un climat moyen ne tient pas compte du régime des aléas : ceux-ci seront plus nombreux et plus extrêmes que par le passé. Les écosystèmes des environs de Montpellier ne seront probablement pas les modèles d'écosystèmes climatiques futurs en versant sud du mont Coronat. Compte tenu du caractère inévitablement approximatif des projections, il semble raisonnable de considérer celles-ci comme de simples indications. Par ailleurs, le climat indiqué par maille ne doit pas faire oublier que le climat du massif du Madres restera un climat de montagne, c'est-à-dire complexe.

L'emprise du climat du versant sud du massif du Madres est tout aussi hypothétique. L'usage d'un trait pour en tracer le contour induit une précision illusoire. Néanmoins, la tendance est bien conforme aux projections du modèle Drias-2020 et ne contredit pas les prévisions de Lelièvre *et al.* (voir illustration 17)

concernant l'évolution du climax végétal en France à l'horizon 2099. On peut donc s'attendre à un climat nettement plus aride et chaud.

L'évolution du climat dans la maille 2212 (illustration 24) suit le même chemin, avec la même amplitude. Il faut remarquer que si les paramètres de température (T) et de précipitation (P) se rapprochent de la situation du poste de Pamiers (Ariège), situé à la fin du xx<sup>e</sup> siècle dans le climax subméditerranéen, l'interprétation phytoclimatique sur le climagramme de Defaut suggère un climax plus aride. Cela peut s'expliquer par un régime de sécheresse estivale plus marqué en été (plus faible valeur de la pluviométrie cumulée des trois mois consécutifs les plus secs), ce qui est effectivement inscrit dans les prévisions du projet Drias, puisque l'illustration 22 page 24 révèle l'existence de un mois sec.

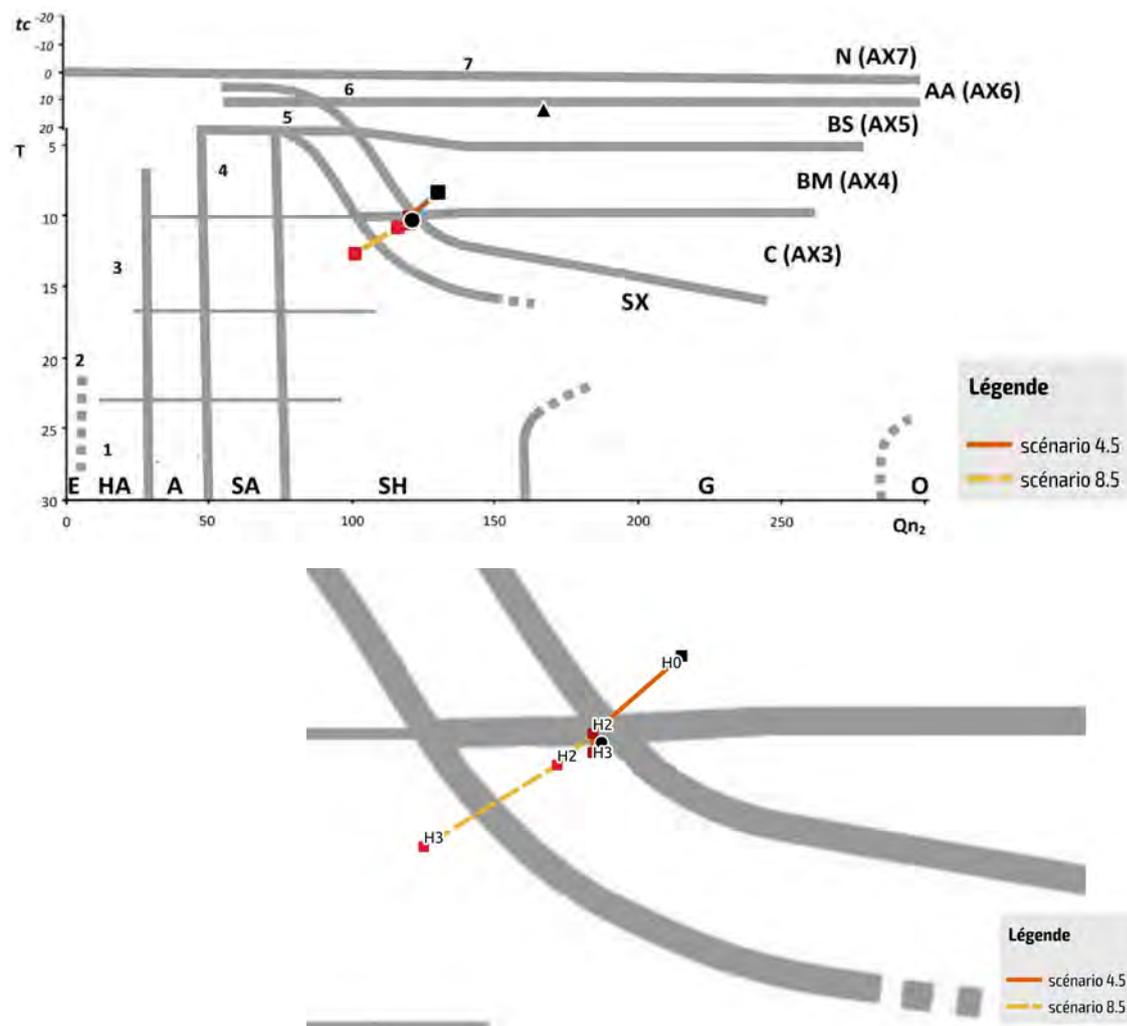


Illustration 28 : Évolution des paramètres climatiques de la maille 2212. En-dessous, zoom sur la trajectoire.

Enfin, l'évolution du climat dans la maille 2211 est encore plus marquée. L'amplitude thermique entre H<sub>0</sub> et H<sub>3</sub>, dans le cas du scénario 8.5, est de 4,8 °C. Soit une remontée des isothermes en altitude de 800 m environ. La trajectoire conduit du sommet de l'étage subalpin à la base de l'étage montagnard, l'étage du hêtre.

Il convient enfin d'observer une singularité de la trajectoire dans le cas du scénario 4.5. Pour aucune des trois mailles la trajectoire n'est rectiligne, l'aridité à l'horizon H3 présente un « rebroussement », même si la moyenne annuelle des températures augmente. Il est difficile de dire s'il s'agit d'un artéfact de la modélisation où si cela traduit un effet bien réel du changement prévue. Pour tenter d'y répondre, on peut se pencher d'une manière statistique sur les résultats fournis par le projet Drias-2020.

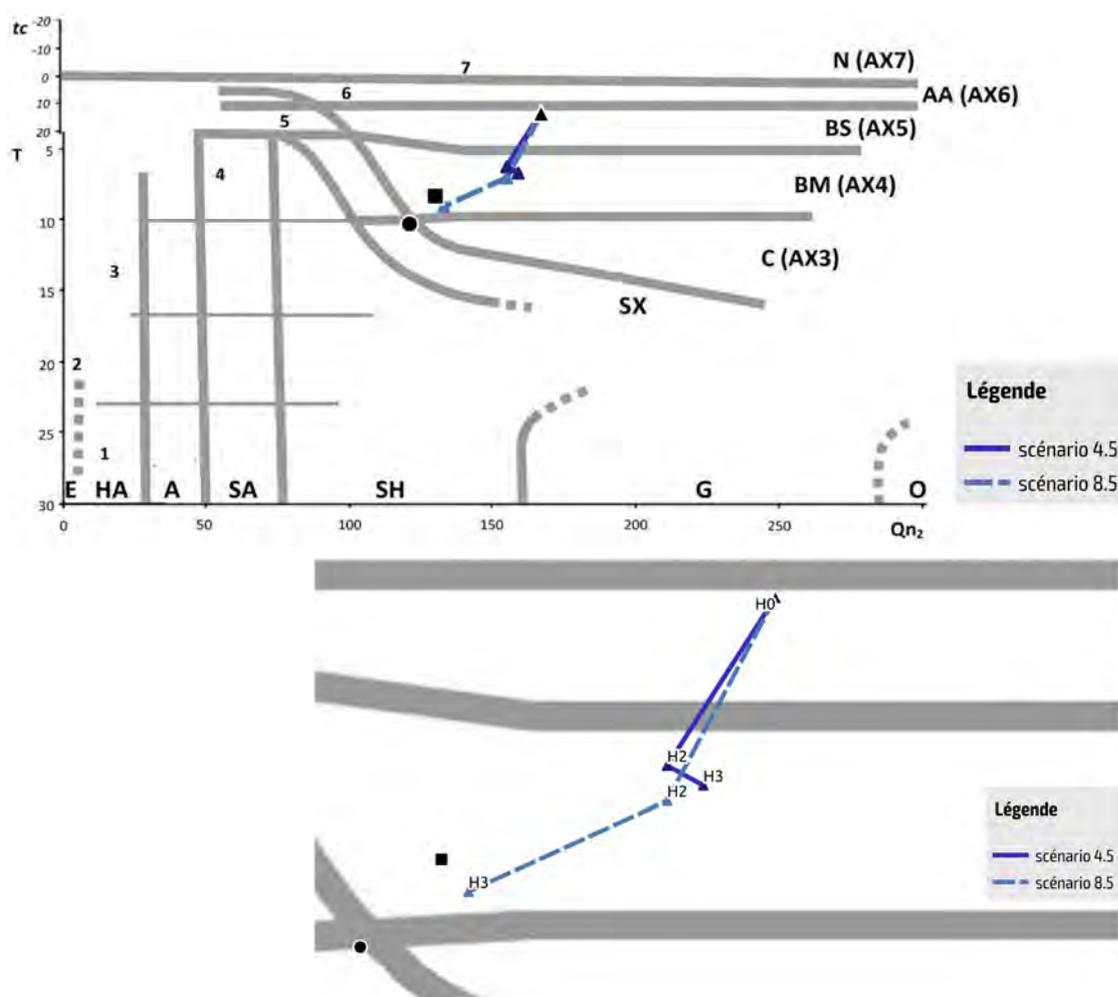


Illustration 29 : Évolution des paramètres climatiques de la maille 2211. En-dessous, zoom sur la trajectoire.

## B.4. Analyse des paramètres climatiques

Pour l'analyse qui va suivre, seul le point de référence  $H_0$  de la maille 2069 a été utilisé pour examiner les anomalies climatiques des projections. Nous émettons l'hypothèse que l'évolution de celles-ci est similaire pour les trois mailles. Afin de pouvoir comparer les évolutions futures sont présentés ici les paramètres climatiques du point 2069 à la période de référence  $H_0$ . Les graphiques sont réalisés à partir des données de l'ensemble des douze modèles de Météo France en affichant l'écart type (tableaux 5 et 6).

Tableau 5. Statistiques élémentaires concernant les températures extrêmes et moyennes au fil des saisons pour la maille 2069.

Point 2069	Température moyenne journalière					Nombre de jours d'été			Nombre de nuits tropicales	Nombre de jours de gel	
	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Eté	Automne	Eté	Hiver		Printemps	Eté
Q5	3,6	8,5	17,59	11,11	19	2	1	32	7	0	4
Médiane	3,73	8,6	17,67	11,16	20	2	1	33	8	0	4
Q95	3,78	8,66	17,73	11,2	21	2	2	35	8	0	5

Tableau 6. Statistiques élémentaires concernant les températures extrêmes et moyennes au fil des saisons pour la maille 2069.

Point 2069	Cumul de précipitations (mm)				Nombre de jours de pluie				Nombre de jours de précipitations intenses			
	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne
<b>Q5</b>	169,23	216,39	172,18	202,39	19,85	28,22	25,09	21,66	0,93	0,93	0,93	0,93
<b>Médiane</b>	<b>177,58</b>	<b>224,31</b>	<b>175,64</b>	<b>212,73</b>	<b>20,48</b>	<b>28,48</b>	<b>25,45</b>	<b>22</b>				
<b>Q95</b>	186,1	230,01	183,05	222,3	21,22	29,18	25,84	22,59	2	2	1	2

### B.4.1. Températures moyennes

Malgré toute mesure prise réduisant à l'avenir les émissions de gaz à effet de serre, il est pratiquement impossible d'infléchir la tendance des températures moyennes à l'horizon 2040-2070, elles augmenteront de 1 et 1,5 degrés environ pour l'ensemble des saisons. Par contre, à l'horizon 2070-2100, les différences sont plus sensibles entre les différents scénarios. L'augmentation est la plus faible en hiver avec une médiane de 1,55 degrés pour l'horizon 2041-2070 et de 2,07 degrés pour 2071-2100 pour le scénario 4.5. Pour le scénario 8.5 l'augmentation est respectivement de 2,28 degrés et de 3,89. En été, l'augmentation est plus importante avec respectivement 1,98 et 2,25 pour le scénario 4.5 et de 2,73 à 5,32 pour le scénario 8.5 (illustrations 30 à 33).

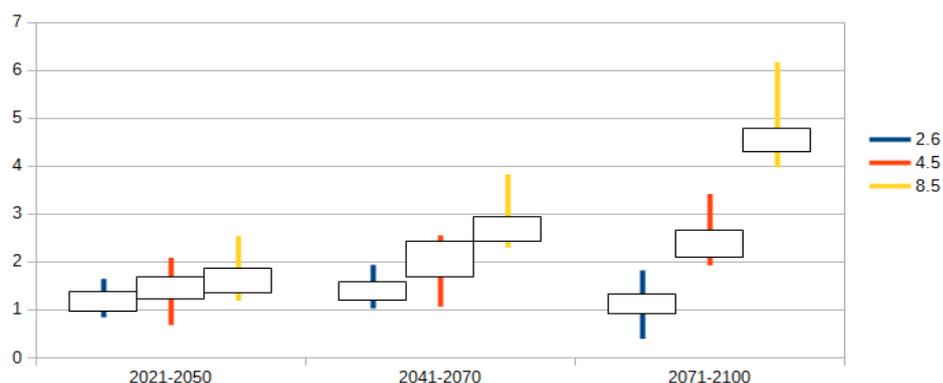


Illustration 30 : Évolution de l'écart de la température moyenne annuelle dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.

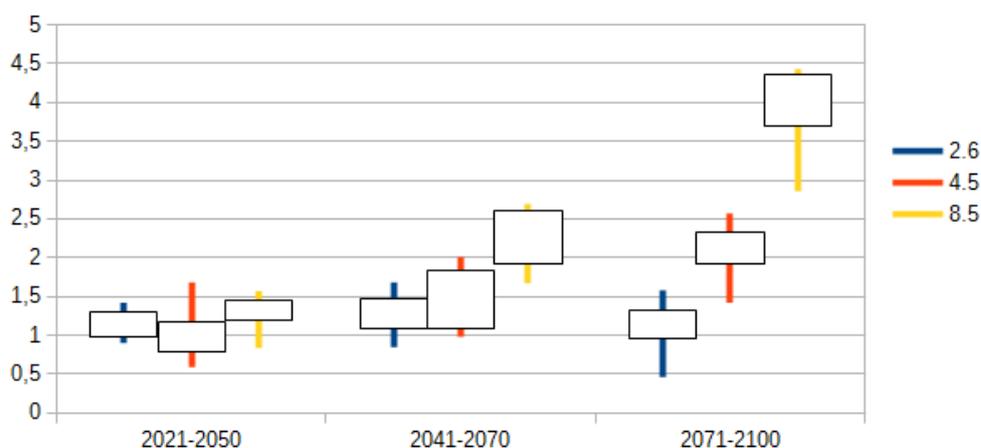


Illustration 31 : Évolution de l'écart de la température moyenne printanière dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.

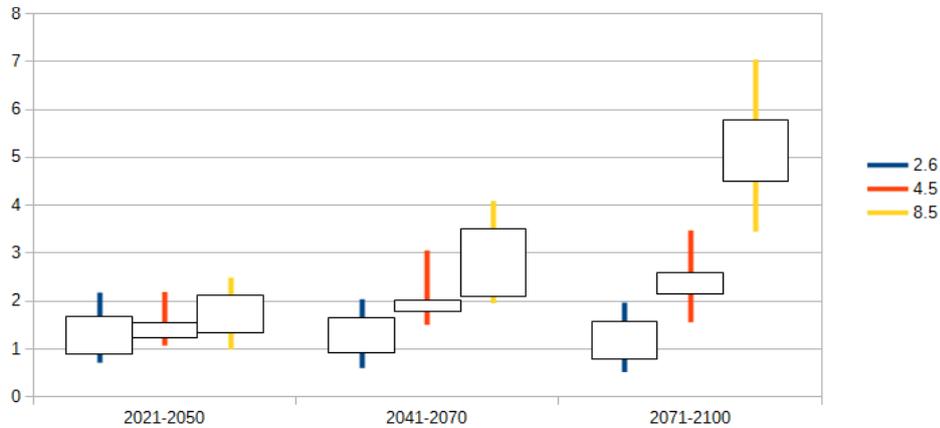


Illustration 32 : Évolution de l'écart de la température moyenne hivernale dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.

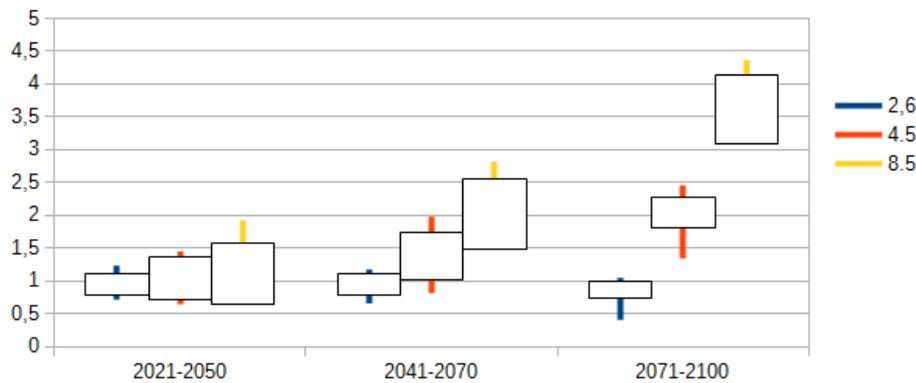


Illustration 33 : Évolution de l'écart de la température moyenne estivale dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.

### B.4.2. Précipitations

Pour les précipitations, les évolutions sont plus incertaines avec des écarts types très grands. Lors des scénarios 4.5 et 8.5, on observe tout de même une baisse des précipitations à l'horizon 2100 (illustration 34 et 35). Cette évolution est plus flagrante en été, avec respectivement, comme valeur médiane, 10 mm et 47,48 mm de baisse aux horizons 2070 et 2100, et en automne avec 6,5 mm et 12,7 mm.

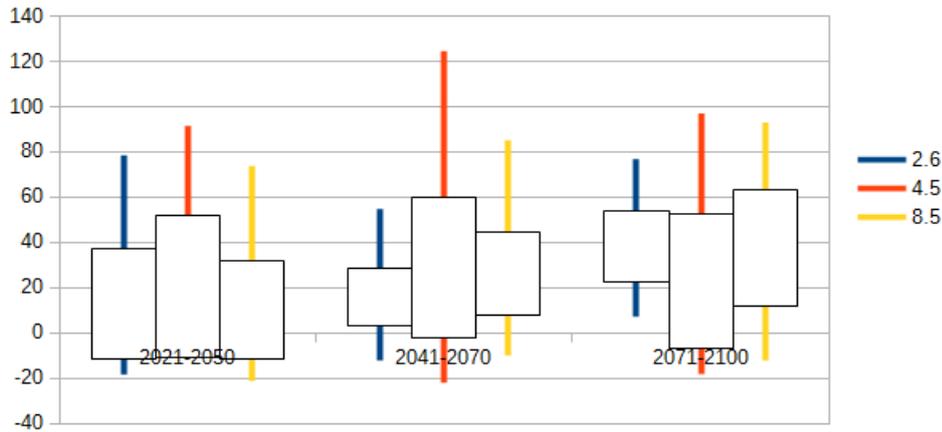


Illustration 34 : Écarts des cumuls de précipitations hivernales dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.

La médiane annuelle montre une diminution de 4,06 jours pour le scénario 4.5 à l’horizon 2100.

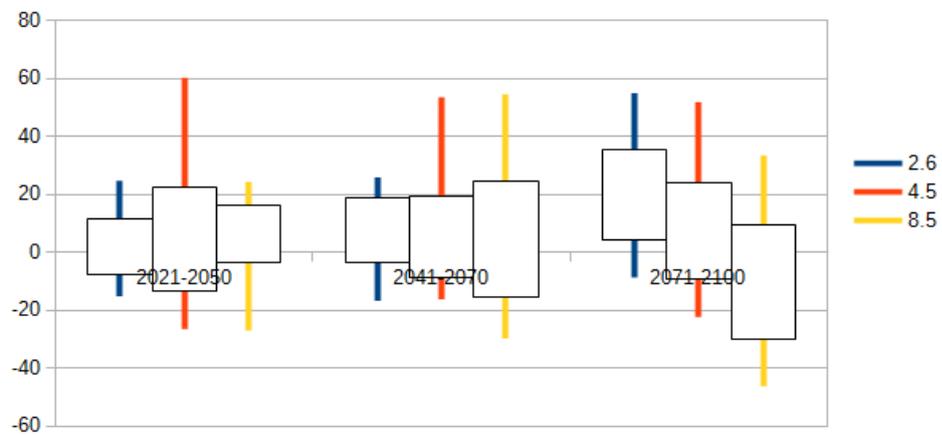


Illustration 35 : Écarts des cumuls de précipitations printanières dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.

### B.4.3 Nombre de jours de gel et de fortes chaleurs

Le scénario 4.5 prévoit une augmentation du nombre de jours d'été (>25°C) de 26, du nombre de nuits tropicales (20°C) de 8 et une baisse du nombre de jours de gel de 23. Le scénario 8.5 prévoit une augmentation du nombre de jours d'été (>25°C) de 26, du nombre de nuits tropicales (20°C) de 8 et une baisse du nombre de jours de gel de 23.

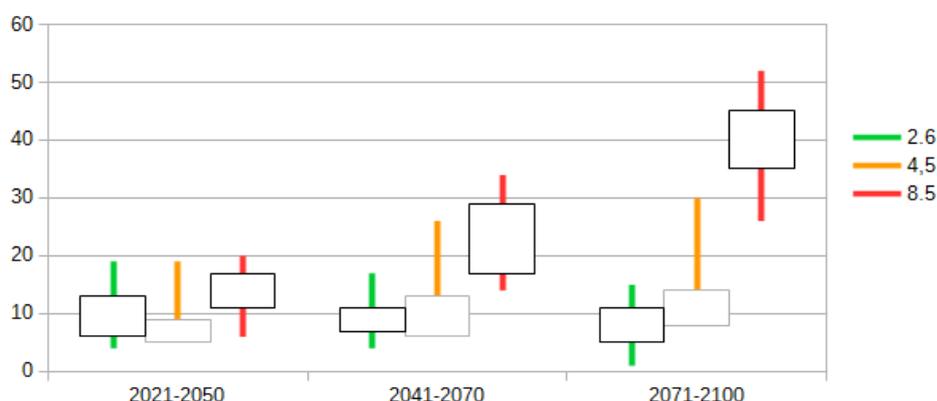


Illustration 36 : Évolution du nombre de jours d'été dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.

## B.5. Évolution de l'hydrographie

selon(Cuxac, 2019)

Cuxac a fait un premier essai d'estimations de l'effet du réchauffement climatique sur la quantité et le comportement des écoulements de la rivière de Nohèdes à Conat. Son modèle fait varier les deux paramètres les plus déterminants que sont la température et les précipitations en fonction des prévisions régionales de l'OPCC. Les valeurs de température sélectionnées correspondent approximativement aux différents scénarios RCP :- scénario + 1,5°C (RCP 4.5) ;  
 - scénario + 3°C (RCP 6.0) ;  
 - scénario + 5°C (RCP 8.5).

L'augmentation de la température agit directement sur l'évapotranspiration en augmentant sa valeur et en diminuant la quantité d'eau disponible pour la rivière par ruissellement. La perte du volume ruisselé est estimé en moyenne de 8,9 % pour le scénario + 1,5°C à 30,4 % pour le scénario + 5°C.

Pour les variations de pluviométrie d'ici la fin du siècle, remarquant que, pour les Pyrénées, l'évolution des régimes des précipitations est incertain, Nicolas Cuxac propose d'intégrer au modèle deux scénarios d'évolution de la pluviométrie à Nohèdes, à savoir + 10 % et -10 %. Il propose alors trois scénarios :

- un scénario pessimiste, + 5 °C et -10 % de précipitations ;
- un scénario moyennement optimiste, + 3 °C et pas de changement de précipitations ;
- un scénario optimiste, + 1,5 °C et + 10 % de précipitations.

Nous obtenons ainsi des cas extrêmes qui, à Conat, point de confluence de deux cours d'eau, fait évoluer le débit de +13 % à -55 %. Le tableau 7 montre l'évolution des débits par secteur.

Tableau 7. Effets des scénarios sur le débit de la rivière pour chaque sous-bassin versant (in Cuxac, 2019)

	Précipitations	+ 10 %	=	- 10 %
	Températures	+ 1,5 °C	+ 3 °C	+ 5 °C
Eau écoulée	Clot	+ 10 %	- 6 % à - 10 %	- 24 % à - 31 %
	Torelles	+ 10 %	- 13 % à - 19 %	- 36 % à - 47 %
	Millada	+ 10 % à + 11 %	- 12 % à - 17 %	- 35 % à - 45 %
	Betllans	+ 11 % à + 13 %	- 13 % à - 22 %	- 39 % à - 57 %
	Conat	+ 11 % à + 13 %	- 14 % à - 21 %	- 40 % à - 55 %

L'impact négatif sur l'eau écoulée augmente visiblement en allant vers les sous-bassins versants de plus faible altitude car les apports en eau sont plus faibles et l'évapotranspiration plus importante en raison d'une température plus forte.

Selon les projections faites précédemment sur le Madres, et si aucun infléchissement des politiques en matière de gaz à effet de serre n'est opéré, on aurait une augmentation des températures de 4 degrés avec une baisse des précipitations modérées. On se situerait donc entre les scénarios moyen et pessimiste présentés par Cuxac donc avec une baisse importante des débits.

Le stock principal de neige sur le Madres se constitue actuellement autour de 2 000 m d'altitude. Si la température hivernale en 2100 a augmenté de 2 degrés dans le scénario médian, avec un gradient adiabatique de 0,6 °C par tranche altitudinale de 100 mètres, la limite du stockage de neige se déplacerait vers 2 300 m, soit l'altitude approximative des plas entourant la vallée glaciaire du haut bassin-versant<sup>4</sup>. La neige poussée dans la vallée par le vent fondrait au fur et à mesure. Sans stockage de l'eau sous forme de neige, le débit au printemps sera moins important et les forts débits de printemps disparaîtront. Les débits seront exclusivement dépendants des précipitations et de l'évapotranspiration.

En faisant disparaître le stock nival, Cuxac modélise les débits de la rivière de Nohèdes en intégrant un niveau homogène d'évapotranspiration (illustration 37). Les débits qui seront alors observés seront moins importants en été et plus importants en hiver qu'observé sur le graphique. La disparition du manteau neigeux peut avoir d'autres conséquences et notamment de ne plus protéger le sol contre le gel.

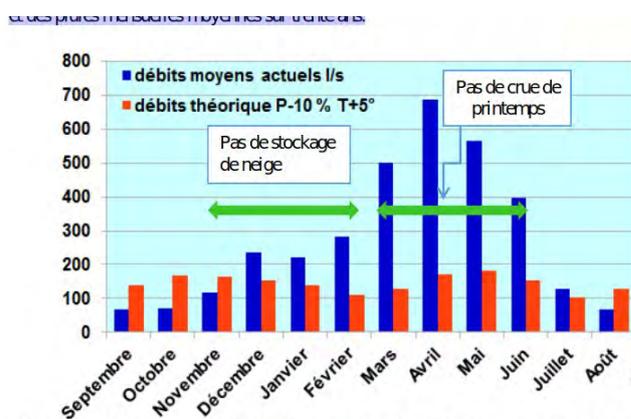


Figure 13 : Graphique comparatif du régime d'écoulement annuel actuel avec un régime d'écoulement théorique sans stockage de neige. Illustration 37 : Évolution du débit moyen annuel du Callan en cas d'absence de stockage hivernal de neige (in Cuxac, 2019).

## Conclusion

L'amplitude altitudinal du versant sud du massif du Madres, d'environ 2 100 mn, a pour effet de produire un gradient phytoclimatique qui pénètre au moins quatre étages : les crêtes du massif pénètrent à la base de l'étage arctico-alpin et l'étage subalpin est complet. Aux altitudes inférieures, la situation est compliquée par le nœud climatique qui règne sur le massif : le piémont oriental du massif se situe à l'étage méso-méditerranéen. Entre ces extrêmes, et suivant un gradient d'axe sud-est/nord-ouest, à la faveur de la situation d'abri particulièrement accentuée de la moyenne vallée de la Têt, le phytoclimat passe progressivement d'étages sub-xériques — supra-méditerranéen et méditerranéen montagnard — à des étages axériques — boréo-montagnard et boréo-subalpin. De nombreuses nuances d'exposition, de conditions pétrochi-

<sup>4</sup> Avec le scénario RCP 8.5, le stock de neige atteindra 2 300 m dès 2070 et aura disparu en 2100.

miques et édaphiques accroissent la diversité de la végétation, augmentant le caractère xéro-thermophile de la végétation ou au contraire l'atténuant.

Le changement climatique en cours accentuerait la « méditerranéité » du climat. La tendance est à la remontée des étages phytoclimatiques. Dans l'hypothèse que le pire scénario envisagé par le Giec (scénario RCP 8.5) se réalise, le réchauffement global pourrait atteindre 4 °C d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, plus prononcé en altitude. L'évolution des précipitations est plus incertaine, bien que globalement elles tendent à diminuer ; en revanche, leur régime devrait changer, les étés devenant plus secs. Les étages phytoclimatiques arctico-alpin et boréo-subalpin seraient amenés à disparaître, de même que la partie supérieure de l'étage boréo-montagnard, et avec eux l'essentiel des écosystèmes associés. Les étages arctico-alpin et boréo-subalpin semblent ne pas résister au scénario plus « clément » 4.5.

Un autre aspect du changement est la multiplication de l'intensité et de la durée des épisodes de grandes chaleurs et de fortes précipitations. Leur régime pourrait également se décaler (apparition d'épisodes cévenoles en hiver, canicules printanières...). Le climat qui s'installe progressivement s'annonce donc plus chaud, plus aride, mais aussi plus instable. Dans le chapitre suivant, c'est aux effets de la dérive climatique que la réaction de certains compartiments des écosystèmes est envisagée ; mais il est probable que des épisodes extrêmes leur imposeront des modifications brutales.

# Chapitre 3. Biocénoses du massif du Madres au fil du changement

(David Morichon)

En préambule des analyses qui vont suivre, il peut être utile de rapporter des éléments du diagnostic des réserves naturelles du mont Coronat. Cela permet de comprendre leurs atouts face aux bouleversements du climat.

## A. Biodiversité des réserves naturelles du mont Coronat

Il est délicat d'établir des comparaisons de la biodiversité  $\alpha$  entre sites, compte tenu de l'incomplétude des inventaires. Néanmoins, certains groupes taxinomiques sont suffisamment bien connus pour que les ordres de grandeurs soient significatifs. La diversité spécifique de la flore des réserves naturelles du mont Coronat est d'environ 1 150 espèces. Plassart *et al.* (2016) recense 1 060 espèces végétales dans les hautes Pyrénées orientales audoises, un secteur qui contient le versant nord du massif du Madres (illustration 38). Cette diversité est qualifiée de « très forte » par les auteurs, comparativement aux autres régions biogéographiques du département de l'Aude.

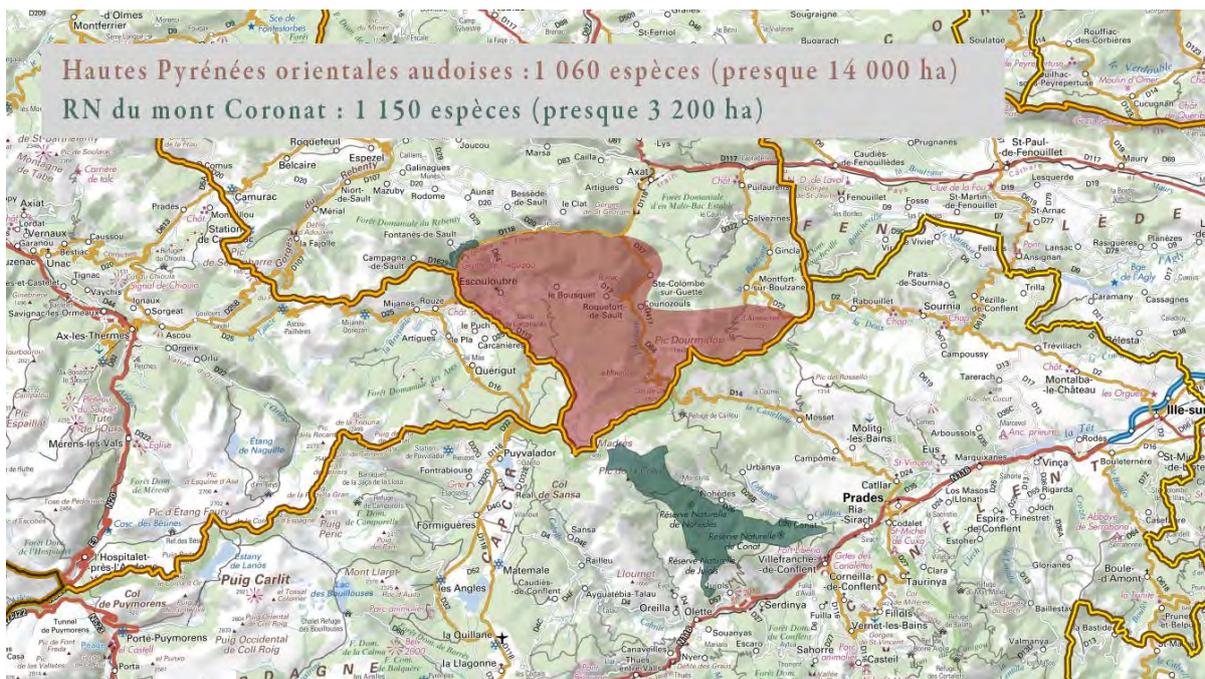


Illustration 38 : Diversité comparée des hautes Pyrénées audoises et des RN du mont Coronat.

Une autre comparaison peut être établie avec les réserves naturelles du massif du Canigou : Mantet, Prats-de-Mollo-la-Preste, Py. La comparaison porte cette fois sur la flore et sur l'ordre des orthoptères, dont le niveau de connaissance est équivalent (tableau 8).

Tableau 8. Diversité comparée des RN du mont Coronat et des RN du massif du Canigou.

	RN de Conat (549 ha)	RN de Jujols (472 ha)	RN de Nohèdes (2 137 ha)	RN du mont Coronat (3 149 ha)	Mantet (3 028 ha)	Prats-de-Mollo-la-Preste (2 186 ha)	Py (3 930 ha)	RN du massif du Canigou (9 186 ha)
Orthoptères	55	54	59	80	36	25	54	58
Flore vasculaire	± 520	± 550	± 840	± 1150	± 600	± 500	± 715	± 970

Un dernier exemple porte sur l'inventaire des Formicidae. Blatrix *et al.* (2014) ont recensé 96 espèces dans les réserves naturelles du mont Coronat. Lebas (sous presse) a recensé 76 espèces sur l'ensemble du massif du Canigou (échantillonnage mené entre 551 et 2 784 m d'altitude pendant quatre ans). Blatrix *et al.*, (*op.cit.*) mentionne 83 espèces en Corse.

Cette diversité s'accompagne d'un taux de renouvellement des espèces non négligeable. Le tableau 9 l'illustre pour la flore. Alors que la réserve naturelle de Conat ne contient que 500 espèces végétales environ, Espeut (sous presse) en a recensé environ 1 050 (hors plantes allochtones) dans la commune de Conat, dont la surface est de 2 000 ha. De même, quatre-vingt espèces d'orthoptères sont recensées dans la commune et le versant sud du massif du Madres en compte quatre-vingt-huit.

L'indice de similitude calculé pour la flore, les orthoptères ou les formicidés illustre la contribution de

Tableau 9. Répartition de la diversité spécifique des végétaux vasculaires entre les trois RN du mont Coronat.

Catégorie de taxons	RN de Conat (549 ha)	RN de Jujols (472 ha)	RN de Nohèdes (2 137 ha)	RN du mont Coronat (3 158 ha)	
<b>Exclusifs à une réserve</b>	143	108	352	603	53,00%
	27,00%	19,50%	42,00%		
<b>Communs à Conat et Jujols</b>	53			53	4,50%
<b>Communs à Conat et Nohèdes</b>	9700,00%		9700,00%	9600,00%	8,50%
<b>Communs à Jujols et Nohèdes</b>		158		158	14,00%
<b>Communs aux trois réserves</b>	23400,00%			23400,00%	20,50%
<b>Nombre total de taxons</b>	<b>527</b>	<b>553</b>	<b>841</b>	<b>1 144</b>	<b>100,00%</b>

chaque RN à la biodiversité de l'ensemble (illustration 39).

Biodiversité β de la flore vasculaire entre :	À titre de comparaison :		
		Orthoptères (*)	Hyménoptères Formicidés
<b>Conat et Jujols</b>	52,7%	76,9%	55,5%
<b>Jujols et Nohèdes</b>	55,9%	72,0%	64,5%
<b>Conat et Nohèdes</b>	47,6%	70,6%	72,6%

(\* : échelle communale)

Illustration 39 : Indice de similitude de Sørensen.

**Indice de similitude de Sørensen**

$$\beta = \frac{2c}{S_1 + S_2}$$

c : nombre d'espèces communes aux deux RN

S<sub>1</sub> : nombre d'espèces dans la première RN

S<sub>2</sub> : nombre d'espèces dans la deuxième RN

Une telle diversité biologique reflète les contrastes climatiques, géologiques et géomorphologiques qui se manifestent sur le massif en peu d'espace, mais ceux-ci ne suffisent pas toutefois à expliquer entièrement son origine. Une analyse biogéographique révèle l'importance du temps profond.

## B. Esquisse biogéographique des réserves naturelles du mont Coronat

Le massif du Madres, et particulièrement le mont Coronat, a été probablement une zone refuge pour de nombreux taxons, au gré des péripéties climatiques du Quaternaire. Depuis longtemps, certaines espèces qu'on trouve sur le massif du Madres ont été décrites soit comme des « reliques tertiaires » (ex. : la ramondie des Pyrénées, *Ramonda myconi* ; l'alysson des Pyrénées, *Hormathophylla lapeyrousiana*, qui est une micro-endémique du versant nord du mont Coronat, à Nohèdes ; le scorpion aveugle, *Belisarius xambeui*) soit comme des « reliques glaciaires » (ex. : le grand tétras, *Tetrao urogallus* subsp. *aquitanus*). L'endémisme régional révèle que c'est tout l'Est des Pyrénées qui était un couloir de migration pour les espèces, offrant au passage un refuge ou un poste avancé à nombre d'entre elles, mais cela prend une « saveur » particulière sur le mont Coronat, où la richesse et l'originalité des espèces sont le résultat d'un territoire aux caractéristiques singulières, riche en contrastes.

Le fond des communautés végétales et animales des réserves naturelles du mont Coronat est essentiellement eurosibérien et ce n'est pas ce qui les distingue des autres territoires français ; mais si on s'intéresse à la distribution des espèces « rares<sup>5</sup> », plusieurs patrons de répartition se répètent avec insistance. Ils dessinent la grande séparation entre le domaine eurosibérien et le domaine méditerranéen. Les espèces boréo-montagnardes et arctico-alpines sont surtout confinées à Nohèdes et, dans une moindre mesure, à Jujols. Ce sont des espèces à répartition disjointe, qui s'étendent plus ou moins vers les régions boréales, ou bien, lorsque l'isolement des populations a permis leur spéciation, des espèces à l'endémisme plus ou moins restreint : *Potentilla nivalis*, cantabrique, pyrénéenne et alpine, *Erysimum duriaei*, pyrénéo-cantabrique, *Saxifraga aquatica*, pyrénéenne, *Draba subnivalis*, catalane, etc.

À Conat dominent les espèces à répartition méditerranéenne, dont un grand nombre est plus particulièrement ouest-méditerranéen (illustration 40). Là aussi, des aires d'endémisme plus réduites se dessinent. On y voit la domination d'éléments à répartition ibérique (l'orchidée *Epipactis kleimii*), catalano-occitane (l'ancolie des causses *Aquilegia hirsutissima*), catalane (le dolichopode languedocien, *Dolichopoda linderi*). Enfin, il demeure parmi les espèces les plus rares deux motifs de répartition : la répartition ponto-méditerranéenne, qui joint les rives de la mer Caspienne au Nord-Est de la péninsule Ibérique (celle du papillon *Pieris ergane*) ; la répartition « continentale », plus septentrionale que la précédente et qui s'étend de la moitié est de la France à la Sibérie (l'oedipode caussenarde, *Celes variabilis*).

5 La rareté dont il est question ici est fondée sur le nombre de départements français qu'occupe l'espèce, puis sur la fréquence d'observation.



Répartition de l'aphyllante de Montpellier, illustrant le domaine d'endémicité ouest-méditerranéen

**DOMAINE  
D'ENDÉMICITÉ  
OUEST  
MÉDITERRANÉEN**

*La sous-famille des Aphyllantoideae, qui contient une seule espèce, l'Aphyllanthe de Montpellier, le genre Hormathophylla, l'espèce Achillea odorata ou encore la sous-espèce Juniperus phoenicea subsp. phoenicea, occupent la montagne du Coronat. Leur répartition générale illustrent l'existence d'une zone d'endémicité s'étendant de l'Ouest de la péninsule Italienne au Nord du Maghreb, passant par la France méditerranéenne et la péninsule Ibérique. Ce territoire biogéographique est classiquement appelé Méditerranée occidentale.*

*De nombreux taxons patrimoniaux, remarquables ou caractéristiques des réserves naturelles du mont Coronat et de celle de Conat en particulier, sont circonscrits à cette aire, occupant des territoire plus ou moins réduits ou fragmentés. Nombre de ces taxons appartiennent au domaine montagnard ; il est alors parfois difficile, lorsque les aires se réduisent et lorsque les relations phylogénétiques sont mal élucidées, de déterminer si les taxons relèvent du domaine méditerranéen ou du domaine eurosibérien.*

Illustration 40 : Le domaine d'endémicité ouest-méditerranéen.

À noter que la même analyse pour les réserves naturelles du massif du Canigou révèle un profil sensiblement différent, puisque ces dernières se révèlent plus catalanes et moins ibérique, l'endémisme catalan y étant davantage prononcé, moins méditerranéennes et plus eurosibériennes.

Vis-à-vis du changement climatique, que vaudront les qualités particulières du massif ? Ce sont les grands moteurs de l'équilibre climatique terrestre qui sont affectés. Que nous nous dirigeons vers une « simple » redistribution des aires climatiques ou bien vers l'apparition de nuances climatiques inédites, le climat local est en train de se modifier de manière instantanée à l'échelle des temps géologiques. En dépit des pressions qu'il va subir, le versant sud du massif du Madres restera-t-il un nœud bioclimatique et s'offrira-t-il comme une zone refuge pour de nombreuses espèces, comme il l'a fait au cours de l'histoire géologique récente ? Qu'advient-il des taxons qui ont été cités ici comme exemple et de leurs semblables, alors qu'ils forment le « cachet », la marque distinctive des réserves naturelles du mont Coronat ?

## CHAPITRE 4. ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ

---

### A. choix des « objets » traités dans l'analyse de la vulnérabilité

La méthode Natur'Adapt propose de choisir des « objets », espèces, habitats, groupe d'espèces pour évaluer leur vulnérabilité face aux changements climatiques.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que l'ampleur du phénomène à venir est assez alarmant. Les changements rapides projetés, indique une remontée des étages phytoclimatiques, avec une disparition des étages arctico-alpin et boréo-subalpin, que se soit dans le cadre du scénario 4.5 ou 8.5 à l'horizon 2070-2100. Nous pouvons donc considérer toutes les espèces et écosystèmes inféodés à ces étages comme menacés sans avoir besoin de pousser l'analyse. La partie supérieure de l'étage boréo-montagnard est également amené à disparaître. Les actions que nous devrions proposer dans le plan d'adaptation devrait donc permettre d'accompagner les espèces à migrer vers des altitudes plus élevées et essayer au maximum de diminuer les impacts sur les étages arctico-alpins, boréo-alpin et boréo-montagnard.

De la même façon, l'augmentation des températures et la re-distribution de la ressource en eau dans le temps augmentera les pressions sur les milieux aquatiques ou inféodés à l'eau. La conservation de ces milieux est également une priorité.

Ainsi, est analysé le devenir, des galliformes, des crêtes, de la forêt, des milieux inféodés à l'eau et les espèces associées, des moyens de gestion et des activités humaines actuellement présentes sur le massif.

## B. Milieux forestiers

Céline Quélenec

### B.1 Les milieux forestiers actuels

Les réserves de Jujols Conat et de Nohèdes sont principalement forestières (67 % de la réserve de Jujols, deux tiers de la réserve de Conat, 60 % de la réserve de Nohèdes) et sont constituées plus particulièrement de pinèdes calcicoles (Forêts mésophiles calcicoles et montagnardes de pins sylvestres, et pineraies calcicoles de pins à crochets).

La forêt de chêne vert est présente au-dessous ou à la limite inférieure des réserves de Conat et de Jujols, avec une sous strate dominée par le buis. On peut constater l'introggression de la yeuseraie dans la forêt de pin sylvestre à des altitudes supérieures. (Morichon David, 2019)

L'essence dominante est le pin sylvestre. « L'extension de cette essence colonisatrice est liée à l'intensité de l'exploitation forestière des siècles précédents ». Suivant les étages concernés (méditerranéen ou montagnard) sous le couvert de la forêt montagnarde se développe le hêtre, l'érable à feuille d'obier, le sapin et même la chênaie pubescente plus en aval. (Morichon David, 2019) On serait donc en présence d'une pinède transitoire mais le pin sylvestre bien qu'actuellement et localement en régression au profit de ces essences pourrait finalement se maintenir plus longtemps car mieux adapté à la sécheresse atmosphérique. Il est cependant au stade climacique dans les secteurs au sol squelettique et en bonne exposition.

Aux altitudes plus élevées, est installée la forêt de pin à crochet calcicole encore jeune, dont l'originalité est sa présence en zone calcaire. A Conat, on observe une petite sapinière pure. Son avenir est incertain, les plus vieux arbres meurent de vieillesse ainsi que quelques jeunes sapins issus de la régénération. Certains se maintiennent mais brunissent lors des fortes sécheresses. (Morichon David, 2019)

Sur Nohèdes, la forêt est plus diversifiée avec la présence de forêts de feuillus originales (principalement composées d'érables) dans les ravins encaissés du mont Coronat et de hêtraies (certaines sont des hêtraies-sapinières). (Mangeot Alain *et al.*, 2020)

### B.2 La gestion et les suivis forestiers

Sur les réserves naturelles du Madres, la forêt est laissée en libre évolution sur la quasi-totalité de la surface. Seule une petite zone sert à l'affouage à Nohèdes pour 200m<sup>3</sup> par an. La forêt communale prévoit un traitement sylvicole en futaie par paquet sur 163 ha et 220 ha sont dédiées à la gestion pastorale. L'ensemble de la forêt domaniale n'est pas exploitée (Mangeot Alain *et al.*, 2020). Quelques actions de gestion sont parfois réalisées en lien avec le maintien des habitats à grands-tétras. Sur Conat, l'intégralité de la forêt est en libre évolution. Sur Jujols, seule une gestion de ré-ouverture des jasses est réalisée pour des aspects paysager et pastoral.

Le protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières est appliqué sur les trois réserves. Chaque session est espacée de dix ans. Le deuxième passage est en cours de réalisation. Il permettra d'observer l'évolution du milieu forestier et plus spécifiquement le changement de composition, l'évolution de la mortalité et de la régénération. Avec ces données, nous pourrions également évaluer la quantité de stock de carbone captée par la forêt. Cet indice nous permettrait de valoriser le rôle de ces forêts en libre évolution dans le cadre de la lutte contre le changement climatique. Il faudrait pour cela, intégrer une étude du sol et de la décomposition de la matière organique.

Le PSDRF ne permet pas d'étudier la biodiversité associée, une étude des lichens selon le même plan d'échantillonnage apporterait des informations cruciales, les lichens étant très sensibles aux changements climatiques.

**Les rôles écosystémiques des forêts sont très variées :**

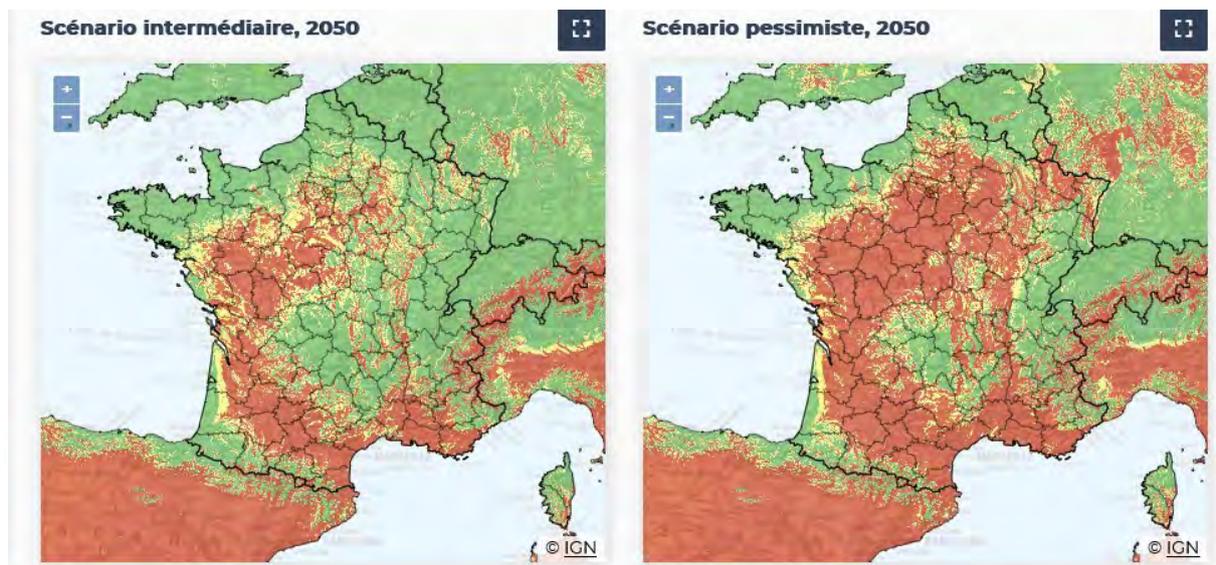
- bois de chauffage (affouage encore réalisé sur la commune de Nohèdes) ;
- protection contre les inondations et l'érosion ;
- régulation du cycle hydrologique ;
- réduction de l'échauffement du sol par le rayonnement solaire (par la présence de canopée et de débris ligneux sur le sol) ;
- contribution à la formation de nuage et au maintien des précipitations ;
- limitation de l'effet de serre par stockage du CO2 ;
- garant d'une biodiversité spécifique liée aux rayonnement forestiers (milieux plus ou moins ouvert) avec une température plus fraîche, à l'abri du vent et dans un milieu plus humides (notamment pour la hêtraie), présence d'espèces inféodées aux arbres de grandes tailles, aux vieux bois sur pieds (grandes noctules, pics, insectes xylophages) etc. ;
- freinage du vent (non négligeable dans une zone soumise à différents vents violents).

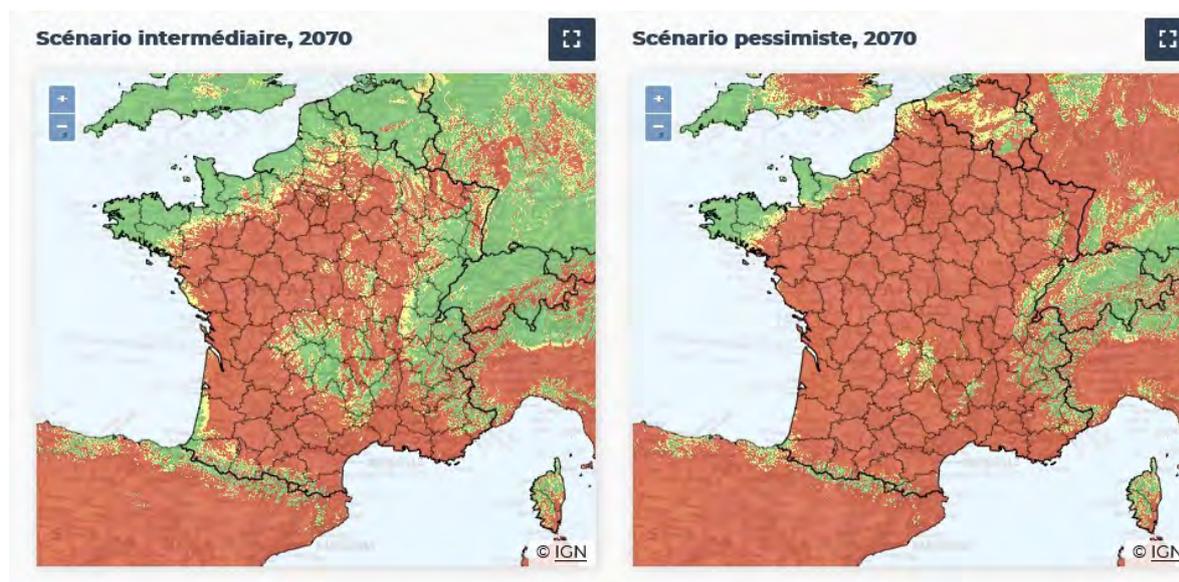
Le maintien d'une forêt en bon état de conservation avec un gradient de naturalité poussé permet aux forêts d'accomplir toutes ces fonctions écosystémiques.

### B.3 Les forêts et le changement climatique

#### La hêtraie

Illustration 41 : Distribution actuelle et futures de la hêtraie (selon le site climessence) :





### Exposition et capacité de résilience du hêtre :

Avec l'augmentation de la température, les hêtraies seront surtout vulnérables lors des périodes de sécheresse. Elles sont présentes dans des zones où la température annuelle est comprise entre 7 à 11, 5 degrés et la pluviométrie de 700 à 1600 mm avec une durée d'ensoleillement de 1700 h par an. (Dajoz Roger, 2007 et forêt).

Les semis sont très sensibles à la sécheresse. Les adultes y sont sensibles surtout au printemps. La hêtraie est limitée par la pluviométrie, elle a besoin de 750 mm de précipitation annuelle (Site internet climessence), hors les projections ne sont pas très claires sur l'évolution des précipitations printanières.

Les hêtraies peuvent récupérer d'un stress hydrique ponctuel. Elles réagissent aux canicules par la défoliation, la descente des cimes et dans de rares cas par la mortalité, comme celles enregistrées après la sécheresse de 2003 à la Massane.

Le hêtre fructifie tous les cinq à huit ans, les semis ont donc le même rythme.

Le hêtre est peu sensible aux parasites mais les insectes cambioxyphages (agriles, scolytes) profitent des stress hydriques pour proliférer. Avec le changement climatique, certaines espèces phytophages exotiques pourraient également poser problème. (Site internet climessence)

### Services écosystémiques :

Les hêtraies contribuent à la filtration des eaux souterraines, à la limitation de l'érosion et à la protection contre les inondations (racines, litières et effet parapluie de la canopée). Ce sont aussi des îlots de fraîcheurs, notamment en été avec des atmosphères plus fraîches et plus humides (de par la transpiration des arbres). De part, une sous-strate peu présente et le maintien d'un milieu assez frais, la hêtraie est une forêt peu vulnérable aux incendies. (Site internet climessence)

### Vulnérabilité et conséquence sur la biodiversité :

La hêtraie sera surtout vulnérable au premier abord, dans ces parties basses, mais comme le montre les cartes issues du site internet de climessence, à l'horizon 2070 avec les scénarios médian et pessimiste du GIEC (4.5 et 8.5) les hêtraies pourraient disparaître.

La voûte continue formée par les grands arbres réduit l'éclaircissement, ce qui provoque un appauvrissement de la strate herbacée et arbustive. Les espèces liées à la hêtraie sont inféodées à un milieu spécifique avec un rayonnement variant en fonction des saisons (feuilles caduques) : en hiver selon (Dajoz Roger, 2007) on observe 26 à 36 % et 2 à 30 % en été de rayonnement. 70 % des espèces liées au hêtre préfèrent une forêt dense et ombragée. Les défoliations provoquées par des températures chaudes pourraient avoir un impact sur les cortèges d'espèces qui nécessitent un certain ombrage. Des espèces indicatrices du rayonnement pourraient être suivies. Dans la hêtraie comme dans les forêts tempérées caduques, les températures maximales d'été sont abaissées et les températures minimales d'hiver sont relevées. Ceci est provoqué par l'interception du rayonnement solaire par le feuillage, par la réduction du rayonnement

provenant du sol et par le freinage des mouvements d'air. La transpiration importante des arbres abaisse la température en été. Cet abaissement est élevé pour le hêtre. (Dajoz Roger, 2007)

Si la hêtraie était remplacée par une autre essence forestière (chênes verts notamment), la biodiversité associée serait donc totalement modifiée, des espèces adaptées à la présence de feuillage en toutes saisons avec des feuilles moins tendres et à un milieu plus aride s'installeraient. Dans un taillis dense de chênes verts, la température est supérieure à celle du terrain boisée au printemps et en été ; en automne a lieu une chute brutale des températures qui est de 1 degré inférieure que celle du terrain découvert de par la transpiration des arbres qui démarrent. (Dajoz Roger, 2007)

### *La pineraie de pins sylvestres*

#### **Exposition et capacité de résilience du pin sylvestre :**

Le pin sylvestre est une essence de lumière, elle a été plantée partout où le sol est trop pauvre pour permettre l'installation de feuillus et a bénéficié aussi d'une large plantation lors de la politique anti-érosion et inondation en France. Originellement, il est présent de 400 à 2000m d'altitude en France sur des zones recevant de 500 à 1300mm de pluviométrie moyenne annuelle et avec une température moyenne annuelle de 3 à 13°C. Il est ainsi une espèce transitoire sur l'étage montagnard mais climacique dans les milieux très pentus où demeurent peu de sols. (Morichon David, 2019)

Cette espèce est tolérante à la sécheresse bien que quelques mortalités ait été enregistrées suite à la sécheresse de 2003 en plaine.

Elle est peu sensible aux gels et ne devraient donc pas trop souffrir des changements à venir. Elle accepte également les sols très humides temporairement engorgés. (Site internet climessence) On rencontre des populations sur sols tourbeux. Il a tendance d'ailleurs à coloniser les tourbières de Nohèdes. Cette espèce devrait migrer vers des altitudes plus clémentes et pentues actuellement colonisées par le pin à crochet et ne devraient donc pas être menacées. Même si cette espèce est une espèce transitoire, elle pourrait se maintenir sur des zones où les autres espèces sont vulnérables (fortes pentes).

Cette espèce supporte peu la neige (site internet climessence) bien qu'il est tolérant au gel. Avec la disparition du manteau neigeux, il devrait pouvoir coloniser les altitudes supérieures, notamment suite à la mortalité d'autres essences. Ces espaces laissés ouverts est d'un fort attrait pour cette espèce pionnière.

#### **Services écosystémiques :**

Le pin sylvestre peut se maintenir sur des sols pauvres et fins et notamment dans les zones de fortes pentes. Ils participent ainsi à fixer les sols pentus. Son couvert léger favorisent un sous-bois arbustif ou herbacé. Cette espèce redoute cependant le feu.

#### **Vulnérabilité**

Cette espèce devrait pouvoir migrer et se stabiliser sur des zones à fortes pentes. Sa forte résilience aux chaleurs et à la sécheresse devrait lui permettre de migrer sans grande difficulté.

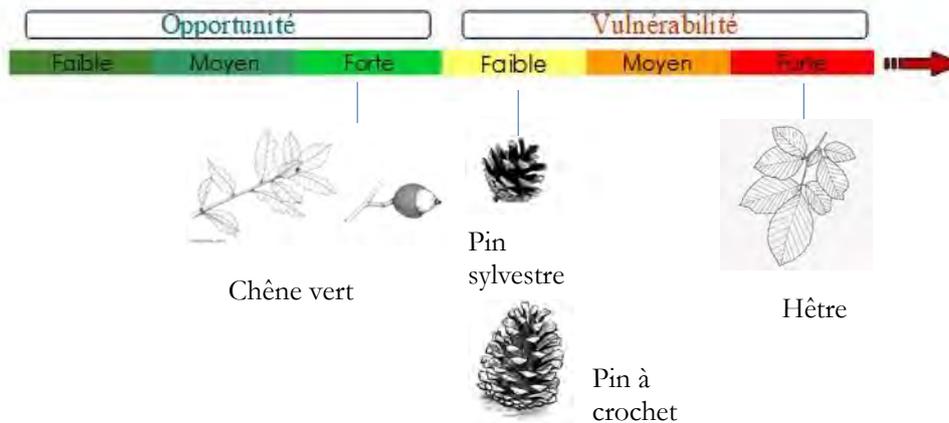
### *Les pineraies de pins à crochet*

Les pineraies de pins à crochet sont présents dans les massifs montagneux européens (Pyrénées, Alpes, Jura, Vosges, Carpates, Sudètes, Tatras, Balkans, Apennins) entre 600 et 2 400 m d'altitude. Cette espèce héliophile est très résistante au vent grâce à un système racinaire particulièrement étendu. Elle résiste au givre et à la neige, ce qui lui permet de vivre à de hautes altitudes (site climessence).

#### **Services écosystémiques**

Cette espèce est très efficace pour fixer des sols montagneux en limite de végétation arborée.. Le pin à crochet participe à la fixation des sols et limite ainsi l'érosion et les inondations.

Avec le changement climatique le pin à crochet devrait monter en altitude et envahir les parties subalpines. Avec la disparition de la neige, il pourrait rentrer en concurrence avec le pin sylvestre.



*Actions à mettre en place :*

- maintenir une non exploitation de la forêt ;
- continuer le PSDRF ;
- surveillance particulière de la bêtraie et de sa biodiversité associée (espèces indicatrices d'un rayonnement moindre) ;
- étude des lichens forestiers en lien avec le PSDRF ;
- étude du stockage du carbone par la forêt.

## B.4 Espèces d'altitude et en situation de refuges glaciaires

Les espèces d'altitude et plus spécifiquement celles liées aux prairies d'altitude, de part leur situation biogéographique sont fortement menacées par l'augmentation des températures, par des phénomènes de gel tardif et par la concurrence des espèces des niveaux inférieurs qui vont monter (notamment par la forêt). De nombreuses espèces sont spécifiques de cet écosystème et sont le garant d'une activité économique qu'est le pastoralisme. Ne pouvant migrer à des étages supérieures, (ces derniers étant inexistant), leur survie dans ce contexte de changement climatique est plus qu'incertaine.

### Espèces endémiques et en situation de refuge glaciaire

Les milieux montagnards ont été des refuges glaciaires pour de nombreuses espèces. Leur aire de répartition est souvent fragmentée, ce qui accentue leur vulnérabilité. Leur présence est dépendante de conditions météorologiques locales et le changement climatique les menace ainsi directement. Nous avons une responsabilité forte pour ces espèces qui sont souvent endémiques de la chaîne pyrénéenne. Le projet Floralab a pour objectif le suivi et la gestion des espèces endémiques floristiques, en situation de refuge glaciaire ou en limite sud. Ces suivis devraient être associés à des relevés des paramètres climatiques afin d'évaluer leur évolution. Un travail en partenariat avec l'université de Perpignan vise à évaluer leur niche écologique en fonction des projections du GIEC. Ces informations sont importantes afin d'orienter les actions de gestion future, comme la conservation des espèces via des banques de graines ou la réalisation de travaux ex-situ de renforcement des populations. Dans certains cas, en vue des projections climatiques et des niches écologiques, certaines actions de maintien des populations sont abandonnées (cas de la dauphinelle des montagnes sur Nohèdes).

### Prairie d'altitude et bétail

Avec la disparition du manteau neigeux, la croissance précoce de certaines espèces pourraient encourager une montée plus précoce du bétail. Cette montée plus précoce pourrait avoir un impact sur la composition floristique et le renouvellement des stocks de graines. La mise en place de protocole de suivi comme estive sentinelle permettrait d'améliorer les conduites pastorales en tenant compte des paramètres climatiques (cf. chapitre sur le pastoralisme).

En effet, des études sur le massif du Madres grâce à des enclos-exclos ont montré que de nombreuses espèces floristiques n'accomplissaient plus leur cycle phénologique et que les pollinisateurs comme les papillons étaient directement impactés. Il est essentiel de préserver certaines zones du pastoralisme pour préserver les espèces d'altitudes. La mise en place d'actions de mise en défens d'enclos-exclos permettrait de préserver des zones plus résilientes. Ces enclos-exclos devraient être distribués dans le paysage afin de préserver les échanges entre-populations et d'accompagner les espèces dans les migrations vers les altitudes.

Le suivis des espèces de prairies permettraient d'évaluer l'évolution des cortèges spécifiques de ces milieux d'altitude et d'évaluer le réel impact de la présence du bétail.



Espèces  
d'altitudes ou  
en situation de  
refuges  
glaciaires

#### Actions à mettre en place :

- suivis des espèces endémiques, des cortèges d'altitude, des espèces en situation de refuge glaciaires et des espèces en limite de répartition associés aux relevés locaux des paramètres climatologiques en lien notamment avec le projet Floralab (pour la flore) ;
- étude des niches écologiques des espèces du projet Floralab;
- mise en place du protocole estives sentinelles ;
- mise en place d'une étude enclos-exclos en lien avec les pollinisateurs.

## C. GALLIFORMES DE MONTAGNE & CHANGEMENTS CLIMATIQUES

(Claude Novoa)

Les réserves naturelles catalanes abritent trois espèces de galliformes de montagne, le grand tétras (*Tetrao urogallus aquitanicus*), le lagopède alpin (*Lagopus muta pyrenaica*) et la perdrix grise des Pyrénées (*Perdix perdix hispaniensis*), trois espèces dont l'intérêt patrimonial est régulièrement souligné. Les populations pyrénéennes de ces trois espèces partagent la même histoire biogéographique, à savoir un isolement altitudinal concomitant du réchauffement suivant le dernier épisode glaciaire du würm (environ 12 000 ans avant notre ère). Leurs aires de répartition respectives occupent donc aujourd'hui une situation marginale tant au niveau mondial qu'europpéen. Malgré le fait que leurs exigences écologiques diffèrent sur plusieurs points (habitat, régime alimentaire), un certain nombre de traits partagés justifient d'appréhender leur gestion conjointement. Leur mode de vie est essentiellement terrestre et sédentaire, avec des déplacements saisonniers limités au plus à quelques dizaines de kilomètres. Ce sont toutes des espèces adaptées aux climats froids, certaines (tétraoninés) présentant même des adaptations éco-éthologiques et anatomiques leur permettant de survivre dans des conditions extrêmes. Compte tenu de ces particularités et des spécificités respectives on peut s'attendre à ce que les changements environnementaux en cours aient des effets marqués sur le futur de ces espèces.

L'impact potentiel des changements climatiques sur les populations d'oiseaux est devenu un thème majeur des études ornithologiques (McCarthy 2001, Crick 2004, Saether *et al.* 2004). Si des preuves substantielles des effets du changement climatique sur les aires de répartition des espèces, la phénologie de la migration ou du cycle reproducteur, ont déjà été apportées, l'impact sur la dynamique des populations d'oiseaux reste un sujet bien moins documenté (Crick 2004). Comprendre les effets du climat sur les traits d'histoire de vie des populations d'oiseaux constitue pourtant un point essentiel si l'on souhaite prédire les conséquences démographiques des changements climatiques (Saether *et al.* 2004, Sandercock *et al.* 2005, Grosbois *et al.* 2008, Astruc *et al.* 2012). La question des effets du climat sur la démographie revêt encore plus d'importance dans le cas des espèces vivant dans des conditions environnementales extrêmes, car leur sensibilité au réchauffement est supposée être plus grande (Martin 2001).

Dans ce qui suit, nous rapportons les résultats de quelques travaux publiés récemment sur ce thème des effets des changements climatiques sur ce groupe d'oiseaux, sans se limiter pour autant (1) aux trois espèces citées en introduction et (2) au contexte géographique des Pyrénées-Orientales. Un premier objectif sera d'identifier la ou les variables déterminantes du succès de la reproduction et d'analyser les tendances passées et éventuellement les projections futures de ces variables. Les questions relatives à la modification de la phénologie du cycle de reproduction et celle de l'élévation altitudinale de l'habitat de reproduction seront également abordées.

### C.1 Déterminisme du succès de la reproduction chez le lagopède alpin

Le lagopède alpin (*Lagopus muta*), oiseau inféodé aux milieux de haute altitude toute l'année durant, est considéré comme une des meilleures espèces sentinelles pour évaluer les effets des changements climatiques sur l'avifaune de montagne. De par sa position extrême au sein du gradient altitudinal, on peut s'attendre à ce que les effets des conditions climatiques soient particulièrement marqués sur la fécondité de l'espèce. En effet, au fur et à mesure que l'on s'élève en altitude, la fenêtre favorable à la reproduction diminue et l'imprévisibilité des conditions environnementales augmente (Martin 2001). De plus, le déneigement des habitats de reproduction des lagopèdes est fréquemment retardé en haute montagne, ce qui réduit d'autant la période de reproduction avec comme conséquence une faible production de jeunes (Clarke & Johnson 1992, Martin & Wiebe 2004, Novoa *et al.* 2008).

La question de l'impact des changements climatiques sur la biologie de la reproduction du lagopède alpin a été récemment étudiée en France sur deux sites d'étude, l'un situé sur le département de la Haute-Savoie, l'autre sur le massif du Canigou dans les Pyrénées Orientales (Novoa *et al.*, 2016). Dans ce travail, les auteurs suggéraient l'absence d'effet à court terme tant sur la biologie de la reproduction de l'espèce mais nuançaient toutefois leurs conclusions en considérant que leur étude ne portait que sur 14 ans, soit une période relativement courte pour détecter un effet éventuel de processus agissant sur le long terme.

Chez le lagopède alpin, la réussite de la reproduction apparaît comme étroitement liée à un déneigement précoce des habitats de reproduction et à de faibles précipitations estivales (Novoa *et al.* 2008, 2016). L'association entre enneigement et succès de la reproduction a été également observée chez le lagopède à queue blanche dont le succès de la reproduction dans les conditions alpines de la Sierra Nevada (Californie, USA) dépend de la hauteur de neige au printemps (Clarke & Johnson 1992). Le déneigement précoce des habitats de reproduction favoriserait la disponibilité des ressources alimentaires et au-delà, la condition physique des poules peu avant la ponte. Cette hypothèse, connue sous le nom de « *maternal nutrition hypothesis* », a été proposée pour expliquer le succès de la reproduction du lagopède alpin en Ecosse (Moss & Watson 1984, Watson *et al.* 1998) et au Spitzberg (Steen & Unander 1985). Cette hypothèse serait particulièrement vraie pour les tétraonidés de petite taille, dont l'investissement important dans la ponte, nécessite des ressources trophiques abondantes au printemps (Swenson *et al.* 1994).

Dans un contexte de changement climatique, on peut donc se demander si l'élévation des températures printanières ne pourrait pas favoriser à la fois le déneigement rapide des habitats de reproduction du lagopède alpin et donc la disponibilité des ressources trophiques avant la ponte. En fait, les données recueillies sur nos sites d'étude au cours de la période 2000-2009 révèlent (i) une forte variation interannuelle de la date de déneigement et (ii) l'absence de tendance de cette variable au cours de la période d'étude. Ce dernier point n'est pas vraiment surprenant car la date de déneigement est fonction avant toute chose de l'enneigement hivernal, une variable météorologique qui présente une forte variabilité interannuelle (Etchevers & Martin 2002, Beniston *et al.* 2003, Bigot & Romme, 2008).

L'effet négatif des précipitations estivales sur le succès de la reproduction s'explique par le fait que les jeunes lagopèdes ne sont indépendants sur le plan de la thermorégulation qu'au bout de 8-10 jours (Pedersen & Steen 1979, Holder & Montgomerie 1993). Même si la poule couve régulièrement ses jeunes lors des jours qui suivent les éclosions, les poussins de lagopèdes sont particulièrement vulnérables aux intempéries survenant à cette période. La mortalité peut même s'avérer particulièrement importante lors d'événements climatiques extrêmes (Gardarsson 1988, Martin *et al.* 2000, Scherini *et al.* 2003). Ces événements climatiques en période estivale (orages de grêle, chutes de neige) ne sont pas rares à ces altitudes, et ce même en période estivale.

A noter également que l'impact négatif des précipitations sur le succès de la reproduction a déjà été rapporté pour d'autres espèces de tétraonidés. Ainsi, en Norvège (Slagsvold & Grasaas 1979) et en Ecosse (Moss 1985), les variations annuelles du succès de la reproduction du grand tétras (*Tetrao urogallus*) ont été corrélées avec le nombre de jours de précipitations durant les 10 premiers jours de juin (pic des éclosions).

## C.2 Tendances des variables clés du succès de la reproduction au cours de la période récente

À ce stade, on peut s'interroger sur l'évolution au cours des trente dernières années des 2 variables qui déterminent le succès de la reproduction du lagopède alpin. Compte tenu de la rareté des séries longues de données d'enneigement en France, il est difficile d'avoir une image synthétique de l'enneigement du passé (Etchevers & Martin, 2002). Les données MODIS sont également trop récentes (postérieure à 2000) pour tester l'hypothèse d'une modification de la phénologie du déneigement au cours des trente dernières années. Les travaux de Beniston (1997), ou plus récemment de Beniston *et al.* (2003), apportent néanmoins un éclairage intéressant sur cette question. Ils montrent en effet que sur les Alpes suisses la durée d'enneigement et les hauteurs mensuelles de neige ont augmenté de 1960 à 2000 sur la zone alpine (> 2000m) et diminué sur les sites situés à une altitude inférieure à 2000 m. Le radoucissement hivernal s'accompagnerait d'une augmentation des précipitations hivernales qui, à partir d'une certaine altitude, serait synonyme de plus d'enneigement. Dans leur étude prospective sur l'évolution de l'enneigement sous

l'hypothèse d'une augmentation de la température de 1,8°C, Etchevers & Martin (2002) font remarquer eux aussi que les changements concernant les durées d'enneigement seraient relativement marginaux au-dessus de 2000m et très marqués en-deçà. On ne peut donc pas écarter l'hypothèse que la durée d'enneigement sur la zone alpine ait augmentée au cours de ces 30 dernières années, au moins pour ce qui est des massifs alpins. Cette augmentation pourrait avoir été synonyme d'un déneigement de l'habitat du lagopède alpin de plus en plus tardif et donc d'une baisse de la fécondité de l'espèce.

De façon générale, l'analyse des tendances des régimes de précipitations est beaucoup moins claire que celle des températures, compte tenu surtout de la forte variabilité interannuelle des précipitations (Moisselin *et al.* 2002, ONERC 2008). Ajoutons à cela que le point qui nous intéresse ici est de détecter plus une tendance à la hausse des précipitations estivales qu'une simple augmentation du cumul annuel pluviométrique.

Les précipitations du mois de juillet ne montrent pas de tendances significatives sur la période 1971-2011 sur les 3 stations proches de nos sites d'étude. On notera tout au plus, une légère tendance à la hausse sur les Préalpes du nord et une tendance à l'assèchement estival sur les Pyrénées orientales, un contraste nord-sud déjà souligné au niveau national par Moisselin *et al.* (2002). L'augmentation des précipitations au cours de la dernière décade sur les Préalpes du nord pourrait donc avoir eu un impact négatif sur la fécondité du lagopède alpin sur cette région. Ce constat ne traduit probablement qu'une tendance qu'à très court terme, car l'essentiel des observations réalisées tant dans les Alpes (ONERC 2008) qu'au niveau National (Moisselin *et al.* 2002) vont plutôt dans le sens d'une diminution des précipitations estivales, ce qui aurait donc un impact positif pour l'espèce.

L'analyse de 226 séries homogénéisées de précipitations pour l'ensemble de la France suggère une pluviométrie plutôt en hausse sur le XXème siècle et un changement de sa répartition saisonnière : moins de précipitations en été et davantage en hiver (Moisselin *et al.* 2002). A l'échelle des Alpes, de nombreuses études sur les tendances de précipitations ont été conduites et proposent une évolution générale assez hétérogène (ONERC 2008). Cela tient souvent au fait que, comme souvent dans l'analyse des séries temporelles, la significativité des tendances est fortement dépendante de la fenêtre temporelle considérée (ONERC 2008). Sur les Alpes du nord, Durand *et al.* (2009) ont détecté une augmentation significative des précipitations annuelles depuis 1958. Par contre, aucune tendance claire n'apparaît pour ce même paramètre sur les massifs préalpins du Vercors et de Chartreuse (Bigot & Rome 2010). En Suisse, les précipitations moyennes ont augmenté durant le 20ème siècle pour toutes les saisons, sauf en été. Cette hausse a été la plus marquée en hiver, surtout dans le Nord des Alpes et en Valais (Fallot 2010). Sur les Alpes italiennes occidentales, Ciccarelli *et al.* (2008) n'ont pas détecté eux d'augmentation des précipitations durant la seconde moitié du XXème siècle, confirmant en cela les résultats plus généraux de Beniston (2005). Pour les Pyrénées, l'étude réalisée par Lopez-Moreno *et al.* (2010) sur le nord-est de la péninsule ibérique montre une baisse des précipitations particulièrement marquée au printemps et en hiver et une stabilité en été et à l'automne sur la période 1955-2006. Ces derniers résultats peuvent être probablement étendus à la zone d'étude du Canigou qui est climatiquement très proche de la région étudiée par ces auteurs. Une augmentation des précipitations estivales sur la période récente sur nos sites d'étude tant alpins que pyrénéens apparaît donc comme une hypothèse peu vraisemblable.

Concernant les précipitations estivales et leur impact potentiel sur la reproduction du lagopède alpin, il faut souligner cependant le cas des précipitations extrêmes ou intenses (les seuils diffèrent d'une étude ou d'un pays à l'autre). Plusieurs études réalisées sur les pays de l'Arc alpin suggèrent en effet une augmentation de ces événements extrêmes, à des saisons variables suivant les régions considérées (cf. ONERC 2008, Attinger & Fallot 2003, Fallot 2000). Une tendance à la hausse de ces accidents climatiques en période estivale pourrait avoir des répercussions non négligeables sur le résultat final de la reproduction.

### C.3 Phénologie de la reproduction Lagopède alpin

Pour le lagopède alpin, un avancement significatif des dates d'éclosion les plus précoces a été observé sur le massif du Canigou sur la période 2000 - 2009 (-1,25 jours par an ;  $F = 5,62$ ,  $p = 0,04$ ) (Novoa *et al.*, 2016). Cette tendance a été récemment confirmée sur la période 2000-2017 (-0,63 jour / an  $F = 7,293$ ,  $p =$

0,015) (Novoa *et al.*, 2022). Un avancement de la date médiane des éclosions a également été montré mais de façon moins marquée ( $F = 3,676$  ;  $p = 0,07$ ).

Comme nous venons de le voir, les dates d'éclosions pour cette espèce, et donc le cycle de reproduction, dépendent étroitement du déneigement de l'habitat de reproduction, une variable complexe qui ne dépend pas exclusivement du réchauffement printanier. Un résultat analogue a été rapporté par Inouye *et al.* (2010) dans le Colorado où la phénologie de nombreuses espèces sédentaires d'altitude est contrôlée plus par le déneigement, et donc par l'enneigement hivernal, que par le réchauffement printanier. Le calendrier du début de la saison de végétation en haute altitude n'a pas été avancé au cours des 25 dernières années au Colorado, contrairement à ce qu'ils ont pu noter à plus basse altitude. Ces différences, transposables à nos zones d'étude, pourraient expliquer le paradoxe apparent entre un effet marqué du réchauffement printanier sur la phénologie de la reproduction pour les tétraonidés des étages montagnard et subalpin (grand tétras et tétras-lyre) et un effet plus atténué pour des espèces de haute altitude comme le lagopède alpin.

## C.4 Autres espèces

Plusieurs études ont récemment montré l'existence d'une relation entre réchauffement printanier des températures et avancement du cycle de reproduction de plusieurs espèces de tétraonidés. Dans le Colorado, l'élévation des températures des mois d'avril-mai observée de 1975 à 1999 a entraîné un avancement significatif des dates d'éclosion du lagopède à queue blanche (Wang *et al.* 2002b). En Finlande, Ludwig *et al.* (2006) ont observé également une plus grande précocité des dates de ponte et d'éclosion du tétras lyre en lien avec le réchauffement des températures printanières. En Ecosse, Moss *et al.* (2001) ont observé que le réchauffement printanier du début du mois d'avril se traduisait par une présence des poules de grand tétras sur les places de chant de plus en plus précoce, un résultat conforme avec le modèle général d'avancement de la saison de reproduction chez les oiseaux du Royaume-Uni (Crick *et al.* 1997). Un résultat similaire a été rapporté en France où l'on observe au cours des 30 dernières années chez le grand tétras un avancement des dates d'accouplement de 11 jours sur les Pyrénées et de 21 jours sur le Jura (Ménoni *et al.*, 2019).

Un démarrage végétatif plus précoce en lien avec le réchauffement printanier peut cependant entraîner des problèmes de désynchronisation avec les phases ultérieures du cycle de reproduction (Leclercq & Ménoni 2019, Wegge *et al.* (2010). Chez la plupart des espèces, le pic des éclosions coïncide généralement avec le pic d'abondance de certains insectes, ressources trophiques essentielles pour la croissance des jeunes oiseaux (Baines *et al.* 1996, Wegge *et al.* 2010). En Finlande, comme le réchauffement printanier ne se prolonge pas jusqu'au début de l'été, les jeunes tétras-lyres doivent faire face à des conditions plus difficiles en période d'éclosion et donc à une mortalité accrue. Cette dissymétrie entre réchauffement printanier et estival aurait entraîné une mortalité plus importante des poussins et une baisse du succès de la reproduction au cours des 40 dernières années (Ludwig *et al.* 2006). Un scénario à peu près identique est observé en Ecosse où malgré que le printemps démarre plus précocement, le réchauffement des températures du mois d'avril n'est pas suffisamment prononcé pour assurer un boom végétatif conséquent et au-delà de bonnes conditions d'alimentation des poules juste avant la ponte (Moss *et al.*, 2001). Pour ces auteurs c'est donc l'étalement du réchauffement printanier qui serait responsable de la baisse du succès de la reproduction du grand tétras sur la période 1975-1999, en réduisant la disponibilité des ressources trophiques nécessaires aux poules en période de pré-ponte.

La perdrix grise semble déroger à cette règle générale d'avancement de la saison de reproduction, tout au moins pour ce qui est des populations de plaine de cette espèce. Dans sa synthèse récente Bro (2016 : p.187) n'a détecté aucune tendance sur le pic des éclosions sur la période 1986-2016.

## C.5 Migration altitudinale des habitats de reproduction

Un glissement des aires de répartition de plusieurs espèces d'oiseaux vers des latitudes plus nordiques a été observé en Europe (Thomas & Lennon 1999, Brommer 2004) comme en Amérique du nord (Zuckerberg *et al.* 2009) et mis en relation avec le réchauffement climatique. En France, Juillard *et al.* (2004) ont même considéré que ces changements d'aire associés au réchauffement climatique expliquaient pour une large part les tendances à la baisse observées sur plusieurs espèces d'oiseaux. Sur les conclusions de cette dernière étude, Popy (2008) a cependant fait remarquer que les modifications d'habitat liées à la déprise pouvaient également jouer un rôle déterminant sur les changements d'aire de distribution des oiseaux et les variations d'abondance associées. Pour ce qui est des gradients altitudinaux, les résultats de différentes études sur les oiseaux alpins sont contrastés. Dans les Alpes françaises, Archaux (2004) n'a pas détecté de changements significatifs de la distribution altitudinale des avifaunes de deux massifs, sur la base d'un ensemble de points d'écoute répétés à trente ans d'intervalle (1970-2000). En comparant les données de deux atlas ornithologiques réalisés à 11 ans d'intervalle dans une vallée des Alpes italiennes (Piémont), Popy *et al.* (2009) ont montré que l'altitude moyenne du peuplement ornithologique avait progressé de 29 m, une élévation cependant inférieure à celle que l'on pouvait attendre de l'augmentation des températures d'environ 1°C observée régionalement sur cette même période. La comparaison des données de l'atlas ornithologique suisse répétés à seulement 5 ans d'intervalle, a révélé que 33 (35%) des 95 espèces considérées ont progressé significativement en altitude, contre 28 (29%) qui ont plutôt baissé et 34 (36%) qui n'ont pas montré de changements significatifs (Maggini *et al.* 2011). Le groupe des oiseaux ayant montré une baisse altitudinale significative comportait plusieurs espèces caractéristiques de l'avifaune alpine (*Lagopus muta*, *Montifringilla nivalis*, *Oenanthe oenanthe*). A l'opposé, d'autres espèces de galliformes comme le tétras-lyre ou la perdrix bartavelle (*Alectoris graeca saxatilis*), ont montré une élévation altitudinale significative (Maggini *et al.*, données non publiées).

Pour le lagopède alpin dans les Pyrénées orientales, l'élévation altitudinale des nids qui s'avérait non significative sur la période 1999-2011 (élévation moyenne de 4,1m/an ;  $F = 0,586$ ,  $p = 0,44$ ) (Novoa *et al.* 2016) se révèle significative sur la période 2000-2017, avec une élévation moyenne de 7m/an ( $F = 5,597$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0,02$ ) (Canonne & Novoa données non publiées). Contrairement aux habitats montagnards et subalpins, l'évolution des milieux de l'étage alpin est plus lente en raison de contraintes climatiques plus fortes. Il n'est donc pas impossible que l'échelle de temps retenue dans le cadre de la première étude n'ait pas été adaptée pour détecter une élévation altitudinale de l'habitat de reproduction du lagopède alpin. Ce résultat confirme donc la nécessité d'étudier ces phénomènes sur le temps long.

L'élévation altitudinale des sites de nidification rejoint les observations de Pernollet *et al.* (2015) qui constate sur les 30 dernières années en Suisse une élévation altitudinale des observations de lagopède alpin significative mais variable selon les régions. Les auteurs attribuent ce shift altitudinal à une élévation de la limite supérieure de la forêt qui se traduit par une contraction de l'habitat de reproduction de l'espèce.

Dans le même ordre d'idée, on constate sur de nombreux sites pyrénéens une élévation altitudinale des places de chant de grand tétras, un résultat non encore statistiquement documenté, mais qui devrait faire l'objet d'investigations plus précises prochainement (E. Ménoni, communication orale).

Ces glissements d'aire de répartition peuvent dans certains cas entraîner des problèmes de compétition interspécifique. Ainsi on peut observer aujourd'hui une remontée en altitude de l'aire de répartition de la perdrix rouge qui pourrait avoir des conséquences sur la distribution de la perdrix grise, comme cela a pu être montré en plaine (Rinaud *et al.*, 2020).

On peut également mentionner ici des modifications du cortège parasitaire relativement limité des tétraonidés (parasites intestinaux, tiques) en lien avec l'élévation des températures (Leclercq et Ménoni, 2019).

Chez le lagopède alpin, les espèces parasites recensées sont peu nombreuses et classiquement rencontrées chez les autres lagopèdes européens : il s'agit de Nématodes (*Ascaridia compar* et *Capillaria caudinflata*), de Cestodes et de Coccidies. Cette faible diversité témoigne d'une lente coévolution hôte-parasite ayant

sélectionné quelques espèces résistantes et adaptées aux écosystèmes d'altitude. Il faut toutefois signaler la découverte récente d'un Trématode (famille des douves) *Amphimerus sp.*, responsable de la mort d'un oiseau dans le massif du Bargy (Haute-Savoie) par destruction du foie. Cette charge parasitaire plus importante observée sur les populations situées en limite d'aire et à plus basse altitude pourrait traduire une plus grande sensibilité de ces populations marginales, populations les plus exposées aux effets des changements climatiques (Belleau, 2014).

## C.6 Replacer cette problématique dans le contexte géographique du massif du Madres

Plusieurs points évoqués précédemment trouvent un écho particulier sur le Massif du Madres, en raison principalement de sa situation géographique. Sur les trois espèces de galliforme de montagne citées en introduction, le massif n'en abrite plus que deux de façon régulière, le grand tétras et la perdrix grise des Pyrénées. Autrefois présent sur les parties sommitales du Madres, le lagopède alpin a aujourd'hui disparu en tant que nicheur sur ce massif. Sa présence récente, même de façon très irrégulière, reste à confirmer. Si elle se vérifiait, cela prouverait que cette île biogéographique que représente le Madres pour le lagopède alpin est encore connectée aux populations de la haute chaîne via le plateau du Capcir. Ceci étant, si les conditions d'habitat restent encore favorables à la présence de l'espèce sur ce massif, la progression relativement rapide et généralisée des boisements de pins à crochets en altitude laisse peu d'espoir quant au maintien des habitats favorables à l'espèce sur le long terme.

Pour autant, ce qui joue en défaveur du lagopède alpin pourrait favoriser le grand tétras, ce dernier pouvant bénéficier d'une extension en altitude de ses habitats. A noter également que, pour cette espèce, le massif du Madres est loin d'être isolé des populations voisines de l'Aude et de l'Ariège, ce qui est un point essentiel pour la conservation des populations de cette espèce au sein des RN du Madres.

Jusqu'à présent, la perdrix grise bénéficie elle aussi d'habitats relativement bien conservés et peu fragmentés, dans la mesure où il n'existe pas de barrières aux flux d'oiseaux entre les différentes parties du massif, ainsi qu'avec les massifs voisins. L'élévation des températures pourrait néanmoins favoriser les populations de perdrix rouge au détriment des premières. Une illustration de ce phénomène peut être observée sur la RN de Jujols, où la perdrix grise était autrefois bien plus présente sur les sites occupés aujourd'hui par la perdrix rouge.

De nombreux points évoqués dans ce dernier paragraphe méritent cependant d'être précisés et approfondis afin (i) de mieux évaluer les menaces potentielles qui pèsent sur la persistance à long terme de ces espèces au sein des réserves naturelles du Madres et (ii) de tenter d'y apporter des réponses techniques appropriées.

## C7. Autres menaces sur les galliformes de montagnes (Céline Quélenec)

### *Grand Tétras et ongulés sauvages*

Au cours des dernières décennies, les populations de cervidés se sont fortement développées en France et notamment dans les Pyrénées-orientales. Ces populations, localement en surdensité, occasionnent des impacts sur les habitats forestiers. Elles freinent la régénération, la croissance et la survie de nombreuses espèces végétales de toutes les strates. Le sur-abrutissement, notamment de la strate herbacée, par les cervidés peut occasionner des impacts indirects sur le grand-tétras. Les populations d'invertébrés indispensables aux jeunes de l'année seraient moins abondants car leur ressource alimentaire serait diminuée comme le suggère une étude en Ecosse. Cette effet n' a pour l'instant pas été observé dans les Pyrénées mais il convient de rester vigilant (Arnaud Hurstel, 2015). Les troupeaux domestiques pâturant ces zones peuvent occasionner les mêmes dommages. Dans les plans pastoraux, les zones à tétras doivent être retirés des zones de pâture.

L'altération de la strate herbacée par les herbivores peut favoriser la prédation des nids, des jeunes et des adultes par les mésoprédateurs (mammifères carnivores principalement, martre, renard, chat forestier, sanglier) (Arnaud Hurstel, 2015). La strate étant moins dense, il est plus compliqué de cacher les pontes et les jeunes. De ce fait le succès de reproduction de l'espèce diminue. Mais cet impact peut être atténué par la fermeture des milieux accentuée par le changement climatique.

Les populations de grand-tétras pour se maintenir et faire face aux changements climatiques doivent conserver un bon taux de reproduction, hors celui-ci est déjà très bas. Afin de limiter au maximum, les autres impacts sur cette espèce, une étude sur l'impact des ongulés sur les habitats de grand-tétras en lien avec l'abondance des méso-prédateurs est à mener et pourrait engendrer une régulation accrue des populations d'ongulés et de sangliers (méso-prédateurs) si cela s'avérait nécessaire.

La vulnérabilité à la prédation pourrait être également accrue en hiver par le changement climatique par l'absence de couvert neigeux qui pousse les adultes de Grand-Tétras à davantage chercher leur nourriture au sol plutôt que dans les arbres et aux prédateurs à ne pas descendre en altitude afin de chercher des conditions météorologiques meilleures.

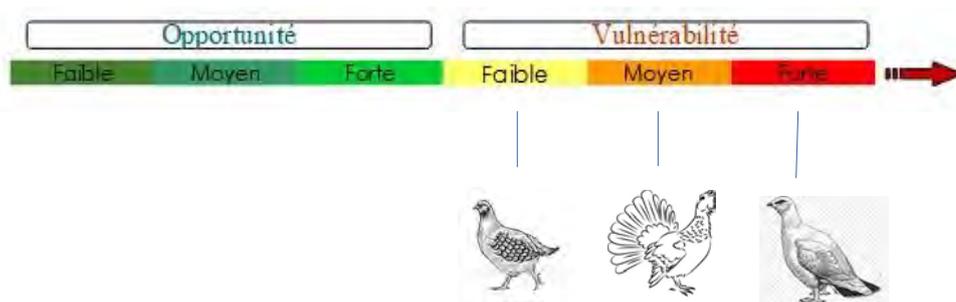
### Chasse

La chasse ne devrait pas être exercée sur des espèces en déclin comme le grand-tétras et le lagopède. Nous ne pouvons que nous réjouir du moratoire lancé pour cinq ans sur les populations de grand-tétras.

La perdrix grise ne semble pour l'instant ne pas être menacée, sa chasse ne pose pas de problème. Le suivi permettra de le confirmer dans le temps, puisque la concurrence avec les perdrix rouges de montagne, qui remontent en altitude pourrait inverser la tendance.

### Parasitisme

Comme l'a évoqué précédemment Claude Novoa, avec le changement climatique, et notamment l'augmentation des températures, on voit apparaître de nouveaux parasites sur le grand-tétras. Cette charge de parasites supplémentaires pourrait accentuer sa fragilité. En effet, des températures plus clémentes engendrent la montée en altitude de certains parasites et une explosion de l'abondance d'aucuns déjà présents (mais ces déplacements de parasites dépendent également des conditions pluviométriques). Le grand-tétras n'ayant pas un système immunitaire très développé, il aurait des difficultés pour faire face à cette diversité de parasites. Qui plus est, un individu parasité se retrouve affaibli face à la prédation. De surcroît, ce dernier devient plus détectable car ils laissent plus de marques olfactives (Gardet, 2021)



#### Actions à mettre en place :

- continuer le suivi du Grand-Tétras sur le massif du Madres-Coronat et de la Perdrix grise sur Nohèdes d'après le protocole de l'OGM (avec maintien de deux suivis d'une matinée espacés de une à deux semaines pour prendre en compte la phénologie de la reproduction qui est fonction de la météorologie annuelle) ;
- compléter le suivi perdrix grises avec un suivi perdrix rouges sur Nohèdes ;
- Poursuivre le suivi du succès de la reproduction du Grand-Tétras en été en partenariat avec les chasseurs ;

Et avifaune alpine

- mettre en place une étude du risque des endo-parasites et exo-parasite dans les nichées des grand-tétras (observation de la montée des endo-parasites) ;
- préserver les zones de sous-bois ;
- mettre en place un système de quantification des ongulés IPS dans tous les secteurs à grand-tétras ;
- étude sur l'abondance des méso-prédateurs dans les zones à grand-tétras ;
- étude de l'impact des ongulés sur les habitats à grands-tétras
- réduire la menace des méso-prédateurs sur les populations de grand-tétras, favorisés par l'augmentation des populations d'ongulés
- si les études listées précédemment prouvent un impact, réduction des concentrations d'ongulés sauvages dans les habitats de grand-tétras y compris dans la réserve de chasse.

## D. Milieux aquatiques & changement climatique

(Céline Quélenec)

### D.1 Impact du changement climatique sur le Gorg Estelat



Illustration 42 : Photographie du Gorg Estelat (Alain Mangeot)

Le *Gorg Estelat* est alimenté par les eaux météoriques, pluie et neige, recueillies par la haute vallée glaciaire. Celle-ci collecte aujourd'hui un stock important de neige tombée sur les plas d'altitude environnants et soufflée par les vents dominants de secteur nord-ouest. Avec le changement climatique, la raréfaction du manteau neigeux, sa fonte précoce et la modification du régime d'apport en eau affecteront le volume du lac et son régime d'étiage. Les précipitations plus concentrées et plus torrentielles auront un effet sur le long terme sur la capacité de rétention de l'eau des arènes environnantes qui participent au régime d'approvisionnement du lac. Cela accroîtra l'apport de sédiments dans le lac et augmentera sa turbidité, voire sa vitesse de comblement. La flore du lac recevrait moins de lumière et aurait plus de mal à se maintenir.

Parallèlement, l'augmentation des températures entraînera un réchauffement des eaux du lac. Le phytoplancton se développera plus tôt en saison et entraînera des modifications des communautés animales et végétales, une diminution des organismes liés à des eaux froides et leur remplacement par des organismes liés à des eaux plus chaudes.

Les événements extrêmes estivaux peuvent également entraîner une déstratification temporaire du lac et, en cas de forte turbidité de limiter le réchauffement de l'eau, l'apport d'oxygène et d'eau plus chaude vers les profondeurs. (Juliette Dané, 2021)

L'intégrité physico-chimique du lac sera complètement bouleversée ainsi que la biodiversité associée.

Les inventaires biologiques qui ont été réalisés dans le cadre du projet POCTEFA Green n'est que le point de départ de l'étude des communautés aquatiques sur le long terme. Nous pourrions suivre l'évolution des communautés grâce aux renouvellements dans le temps de ces inventaires.

Pour suivre l'évolution de la stratification du lac, il faudrait installer à différentes profondeurs des sondes thermiques. Associé à des relevés d'oxygène et de luminosité nous connaîtrions l'évolution du cycle chimique du lac. Plusieurs lacs ont ainsi été équipés dans le cadre du projet REPLIM, dont l'objectif est d'établir un **réseau de surveillance des lacs et des tourbières** de haute montagne qui intègre des scientifiques et des gestionnaires spécialisés dans la recherche sur le changement climatique. (<https://opcc-ctp.org/fr/replim>). Les porteurs du projet ne sont pas désireux d'intégrer plus de lacs au dispositif. Avec les moyens qu'ils arrivent à obtenir, ils ont déjà des difficultés à maintenir tous les protocoles sur l'ensemble des lacs suivis. Certains sont même abandonnés. La réserve de Saint-Barthélémy confrontée au même problème a acquis sa propre station météo.

L'amélioration des connaissances du fonctionnement du lac devrait également inclure une étude sur les apports et les pertes en eau afin d'estimer les capacités de résilience du lac et de la biodiversité qu'il héberge. Un rapprochement avec la réserve de Saint-Barthélémy pourrait ouvrir des pistes de financements.

Actions à mettre en place :

- *renouvellement de l'inventaire de la biodiversité des lacs, pour suivre son évolution dans le temps ;*
- *mettre en place une veille des températures, du pH, de l'oxygène dans les lacs (en lien avec le GIS des Pyrénées et le projet REPLIM) sur l'Estelat et le Gorg nègre ;*
- *caractériser les modifications des niveaux d'eau et l'inversion thermique au cours de l'année sur les étangs de l'Estelat et Nègre ;*
- *études des flux hydrique du Gorg Estelat (approvisionnement et pertes en eau).*

## D.2 Impact du changement climatique sur le réseau hydrologique

Les cours d'eau de la réserve de Jujols ont un faible débit et sont soumis à de forts étiages, irréguliers suivant les années. Le risque d'assèchement est certain. La seule source permanente dont le débit est continu est la source de Font Frede. Elle est captée pour alimenter une retenue collinaire artificielle en amont du village de Jujols qui alimente la bergerie et les jardins des particuliers : l'alyte accoucheur s'y reproduit chaque année. Le débit de cette source risque de diminuer et cela pourrait remettre en cause le rôle, voire l'existence, de cette retenue collinaire.

Dans l'autre versant du massif, l'hydrographie de la vallée du *Callan* est complexifiée par les présences d'un compartiment calcaire sur le mont coronat et d'une faille majeure en fond de vallée. Les perspectives hydrographiques ont été étudiées par Nicolas Cuxac (voir première partie). La réserve d'eau du mont Coronat pourrait se révéler vital dans les temps à venir pour l'alimentation en eaux potable, mais le maintien de son intégrité face au changement climatique est incertain.

La gestion de cette ressource en eau pour les activités anthropiques et les milieux associés risque de devenir source de conflit.

En effet, le changement climatique, à travers la montée des températures ou de la modification des régimes hydriques bouleversera de manière importante les hydrosystèmes. Il entraînera la modification:

- de la morphologie des cours d'eau ;
- du débit ;
- des apports de sédiments ;
- de la températures de l'eau.

La modification de la température engendrera d'autres modifications chimiques (concentration en oxygène dissous, viscosité, diffusivité).

Or les paramètres physico-chimiques de l'eau ont une influence sur le métabolisme des végétaux et des animaux. Couplés à la modification physiques de l'habitat (la vitesse de courant par exemple), leur évolution engendrera une modification de la répartition des espèces. (Florence Baptist, 2014)

La réserve de Nohèdes a commencé à suivre certains paramètres du réseau hydrographique (débit, température). Ces mesures sont à poursuivre sur le long terme.

Il serait également judicieux de mettre en place une veille de l'état de conservation des sources et de la qualité de l'eau des rivières et des ruisseaux. En effet, les molécules présentes dans les eaux, et notamment celles d'origine zoo-sanitaires pourraient être plus impactantes à l'avenir. La nocivité des molécules pourraient augmenter de par un débit moindre des cours d'eau (effet de dilution) et par l'augmentation des températures (dénaturation des molécules). (Florence Baptist, 2014)

*Actions à mettre en place :*

- *poursuivre les mesures du débit de la rivière sur Nohèdes et de la vallée du Cattlan ;*
- *poursuivre les mesures des températures de l'hydrosystème sur Nohèdes ;*
- *mettre en place une veille des températures, du pH, de l'oxygène dans les lacs (en lien avec le GIS des Pyrénées) sur l'Estelat et le Gorg nègre ;*
- *suivre l'état de conservation des sources sur les 3 réserves ;*
- *analyser à différents points clés, l'eau de la rivière et des ruisseaux pour mesurer le niveau d'eutrophisation et la présence de produits zoo-sanitaires ;*
- *mettre en place une veille sur l'utilisation des produits sanitaires pour le bétail.*

## D.3 Impact du changement climatique sur la faune aquatique

Nombreuses espèces aquatiques ou semi-aquatiques sont menacées ou rendues vulnérables par le changement climatique. Elles pourront plus ou moins faire face en fonction de leur capacité d'adaptation (déplacement etc.), mais aussi des processus physiologiques propre à chaque espèce.

Ci-dessous seront présentés les principaux impacts du changement climatique sur les amphibiens, les poissons et les mammifères semi-aquatiques en développant plus particulièrement les espèces endémiques des Pyrénées que sont le calotriton des Pyrénées et le desman des Pyrénées.

### *Les amphibiens*

Les espèces ectothermes sont très sensibles aux variations de températures environnementales car leur température corporelle varie en parallèle. Certaines fonctions corporelles en dépendent comme leur mobilité ou leur thermorégulation. Si les conditions locales venaient à changer, elle pourrait entraîner leur extinction locale car la plupart ont une faible capacité de dispersion.

Qui plus est, les amphibiens, à cause de leur peau particulièrement imperméable, sont très vulnérables à la dessiccation. De plus, leurs larves ont un cycle de vie entièrement aquatique, ce qui accroît leur sensibilité aux températures de l'eau et aux périodes de sécheresse. (Audrey Trochet et al. ; 2019)

### Le Calotriton des Pyrénées



Illustration 43 : calotriton des Pyrénées (Alain Mangeot)

## Ecologie

Le calotriton des Pyrénées est une urodèle endémique de la chaîne des Pyrénées qui vit dans des ruisseaux de 1 500 m à 2 000 m d'altitude en moyenne. Bien que l'on rencontre quelques populations dans des altitudes plus basses, elles sont souvent cavernicoles. Il est sténotherme (c'est-à-dire qu'il possède une tolérance aux variations des températures étroites), il préfère les eaux froides et selon Manon et al. 2020, ces limites actuelles semblent être définies par une température de l'eau comprise entre 6 et 15 °C sur la chaîne pyrénéenne versant nord et un maximum de 16–17 °C versant sud. Cependant, certains individus ont été observés dans des eaux à température plus extrêmes : 27 °C et 2 °C en Ariège durant l'hiver 2018. (Manon *et al.*, 2020)

La répartition des populations du Calotriton sur le Madres est limitée aux cours d'eau secondaires. On dénombre dix stations dont quatre sur Nohèdes et deux sur la commune de Conat. Les autres sont sur les communes de Serdinya et Olette. Il est absent sur Jujols mais fortement suspecté. La raison de cette restriction aux cours d'eau secondaires semble être la présence de truites sur les rivières principales. En effet, les truites sont connues pour être des prédateurs des larves et des œufs, et rares sont les endroits où les aires de répartition des deux espèces se chevauchent. La truite ayant été introduite dans le lac Estelat, nous pouvons supposer que l'aire de répartition du Calotriton était plus large. Il s'est réfugié dans des petits ruisseaux, inaccessibles aux poissons et est probablement présents dans les ruisseaux souterrains qui parcourent le karst. Il est donc difficile d'établir si les habitats actuelles de présence sont ceux de la niche de l'espèce où si d'autres sont favorables mais dont il y a été exclu par la truite. Si on se base sur son aire de répartition actuelle, il semble ainsi, préférer des secteurs à forte turbulence hydraulique avec de la végétation riveraine qui permet à l'eau de ne pas trop chauffer.

## Influence des paramètres climatiques

Bruno Le Roux a mis en évidence l'influence des précipitations sur la persistance des populations dans l'Aude. Elles bénéficient de précipitations annuelles allant de 950 à 1020 mm par an et réparties régulièrement sur l'année. (Manon Dalibard, 2020). Cependant, dans les Pyrénées-Orientales et notamment sur le côté catalan du Madres, les précipitations annuelles sont moindres et plus concentrées. L'écoulement continu de ces cours d'eau est menacé par la baisse des débits, ces cours d'eau pourraient même devenir intermittents. Le calotriton est présent dans des vasques ou des zones où le cours d'eau est bien ralenti. Ces zones où l'eau stagne pourraient se maintenir, bien que leur taille viendrait à diminuer, si les apports en eau même ponctuels sont suffisants pour ne pas totalement s'assécher.

Cependant, la température de ces zones stagnantes augmentera fortement et pourrait ne plus correspondre aux exigences de l'espèce. Actuellement, les paramètres climatiques contraignent l'espèce à vivre dans des cours d'eau entre 1 500 et 2 000 m. Pour trouver des conditions adéquates, le Calotriton pourrait se déplacer vers des zones avec une température d'eau plus appropriée. Néanmoins, comme on le retrouve dans des vasques, sa présence future plus en amont est également conditionnée par la présence de vasques ou de zones d'accalmie. Or, plus on remonte les petits cours d'eau en altitude, plus elles sont absentes. Ainsi, si les conditions morphologiques ou si les capacités minimales de dispersion du calotriton ne le permettent pas, il ne pourra que se réfugier en hypogé. D'ailleurs, des populations hypogées en dessous des altitudes habituelles pour le calotriton sont actuellement observées, les températures y étant moins chaudes. (Manon Dalibard, 2020). On observerait donc soit un déplacement des populations vers l'amont soit une constriction de sa répartition par disparition des zones les plus basses.

Nous serions tentés de penser que les populations souterraines seraient préservées, mais le niveau des nappes et des rivières souterraines est fortement dépendant des infiltrations des précipitations, de l'évapotranspiration et de la perméabilité du sol. Or, les modifications attendues du climat du Madres auront nécessairement un impact sur les réserves d'eaux souterraines.

De Pous, Montori, Amat, et Sanuy, (2016) ont modélisé les effets potentiels du climat futur (modification de la température de l'air et des précipitations) sur la distribution du calotriton sur l'ensemble des Pyrénées. Ils prévoient une réduction de l'aire de répartition potentielle de l'espèce en raison des possibilités de dispersion minimales (Manon, 2020).

C'est les raisons pour lesquels, Manon et al. classe le changement climatique comme étant la première menace qui pèse sur le calotriton, à égalité avec la disparition des habitats, derrière l'introduction des poissons et les activités forestières (Manon, 2020). Sa survie est d'autant plus incertaine qu'il a été démontré une faible diversité génétique et donc une faible résilience. (Federica Lucati, 2020)

Selon Manon Dalibard *et al.* les événements climatiques extrêmes (inondations, périodes d'étiage, fortes précipitations, vagues de chaleur) constitue également une menace pour le Calotriton des Pyrénées :

- l'augmentation de la fréquence des fortes pluies peut provoquer une dérive des larves ;
- l'augmentation de la fréquence et l'intensité des sécheresses pourrait entraîner l'assèchement des cours d'eau plus longtemps et plus régulièrement, en particulier dans les régions karstiques, affectant le potentiel trophique à sa disposition et son cycle de vie.

La dérive des larves suite à un débit naturel violent entraîne une diminution du recrutement durant trois ans, correspondant à l'âge de la maturité pour la reproduction. Pourtant, sur Conat, suite à la tempête GLORIA, de nombreuses larves ont été détectées la même année.

Les adultes semblent moins sensibles à la dérive. Ils quittent le cours d'eau lorsqu'ils détectent l'augmentation du débit, se cachent sous les rochers et s'accrochent aux végétaux. Néanmoins, le risque d'être emportés est important lors des événements pluvieux d'automne et du début du printemps, lorsque les individus sont abrités dans les berges. Si la fréquence des fortes pluies automnales et par conséquent la fréquence des épisodes de fortes crues devaient augmenter, la dévalaison des adultes et des larves pourraient impacter plus fortement la survie de la population. Qui plus est, ces événements extrêmes affectent également les invertébrés benthiques qui sont également exposés à la dérive.

Le suivi du calotriton mis en place sur Nohèdes et Conat devrait être mis en corrélation avec les températures de l'eau, le niveau de débit et les événements extrêmes, pour évaluer la résilience des populations (le nombre de passages est cependant insuffisant sur Nohèdes car la période couverte est trop faible pour réellement effacer les effets de la météorologie de l'année). Des sondes de température sur certaines vasques suivis mensuellement sur Conat, couplé à un relevé de la hauteur d'eau nous donneraient de nouvelles indications.

Une étude de capture-marquage-recapture sur les stations suivies de Nohèdes et de Conat permettrait peut-être d'améliorer nos connaissances sur les populations souterraines et les interactions avec les individus observés en extérieur. Cette étude, à effectuer sur au moins trois ans, nous permettrait également d'évaluer l'effectif de ses populations et de mieux calibrer le suivi de Nohèdes. Ils serait aussi intéressant d'échanger avec des spéléologues pour savoir si des populations ont été aperçues en milieu souterrain. Jusqu'à aujourd'hui, cela ne paraît pas être le cas. La plupart du karst est inaccessible.

Un inventaire de l'état physique des cours d'eau devrait être réalisé en vue de mettre en place des actions de gestion pour maintenir des conditions favorables à l'accueil du calotriton : présence de caches, de plantes aquatiques, de vasques, et ainsi augmenter la résilience des individus face aux événements extrêmes. Il faudrait également identifier si les secteurs en amont de la zone de présence des populations offrent des conditions d'accueil favorables.

L'étude génétique de Federica Lucati *et al.* a montré qu'il existait cinq lignées majeures dans les Pyrénées, celle des Pyrénées-Orientales semble bien identifiée. La restriction des aires de répartition risquerait d'amplifier la séparation des lignées et de renforcer la vulnérabilité de chacune d'elle.

Compte tenu de l'ancienneté des lignées étudiées et de la restriction du flux de gènes, chaque zone doit être considérée comme une unité de gestion distincte, renforçant notre responsabilité sur la sauvegarde de cette espèce dans notre département.

### **Impact des activités humaines sur le calotriton**

La pollution de l'eau par des activités humaines et notamment par le pastoralisme, via la présence de produits zoo-sanitaires n'est pas à craindre sur les zones de présence du calotriton sur le Madres, car elles ne sont pas accessibles au bétail. L'activité forestière ne semble pas non plus être une menace sur ces secteurs.

Par contre, se pose la question de la présence d'une ancienne conduite de la centrale hydro-électrique. Laisser sur place, elle pourrait se détériorer et occasionner un risque de pollution sur une des stations (augmentation de la turbidité, présence de métaux). Son retrait par des engins risquerait d'impacter le milieu. Le conseil scientifique a conseillé en 2021 le retrait de cette conduite, « de manière chirurgicale ». En effet, selon Manon et al., une eau trouble peut réduire la qualité de l'habitat et les ressources trophiques du calotriton des Pyrénées en diminuant la quantité de lumière entrant dans l'eau et donc la production primaire, provoquant des perturbations à différents niveaux du réseau trophique. Il est donc conseillé d'interdire toute activité humaine à proximité des stations de Calotritons.

### Autres amphibiens

Sur le Madres, nous observons la présence de la grenouille rousse, de la salamandre tachetée, du triton palmé, de l'alyte accoucheur et du crapaud épineux. Le triton palmé a été signalé du versant sud du mont Coronat (Serdinya) mais pas en réserve naturelle.

L'alyte accoucheur est connu de la retenue collinaire de la commune de Jujols et de manière secondaire sur le ravin de Font Eixen. Si la retenue collinaire continue à fonctionner, la population d'alyte n'est pas menacée. Identifier si cette retenue collinaire est pérenne permettrait d'évaluer l'avenir de cette espèce sur la commune. Il se reproduit aussi aux alentours de Conat (ravin du Riberot, où on l'observe en compagnie de *Calotriton asper* ; rivière d'Urbanya).

Le crapaud épineux se reproduit dans la réserve de Nohèdes et dans l'ensemble de la vallée du *Caillan*, mais sa population a fortement diminué à l'étang du Clot. La raison de ses fortes mortalités n'a pas été identifiée, mais la prédation semble être la cause la plus probable.

La grenouille rousse affectionne les endroits frais, elle est donc absente du pourtour méditerranéen et pourrait régresser avec l'avancée des milieux correspondants. Elle est la seule espèce présente en altitude, jusqu'à l'étang de l'Estelat et peuple également les tourbières et toutes les petites zones stagnantes où elle se reproduit.

Elle fait partie des espèces « à l'étude » dans le cadre du programme « sentinelle du climat » porté par l'association Néo en Occitanie. Elle est suivie sur Nohèdes via le protocole Pop-Amphibien. Il faudrait que plusieurs transects soient suivis en fonction de l'altitude pour observer si les populations rétrécissent.

La salamandre est également absente des formations végétales méditerranéennes et pourrait donc subir le « même sort ».

Tous les amphibiens, animaux très inféodés aux milieux aquatiques sont menacés par la diminution de la ressource hydrique sur le Madres et l'augmentation des températures.

### Actions à mettre en place :

- maintenir le suivi de l'euprocte et du pop-amphibien en lien avec des mesures physico-chimiques de l'eau et du niveau d'eau des vasques ;
- caractériser la population d'euprocte des stations suivies sur Nohèdes et Conat à travers une étude « capture-marquage-recapture » sur trois ans ;
- caractériser la potentialité d'accueil des zones en amont des populations d'euprocte ;
- évaluer l'impact des crues sur les populations d'euprocte ;
- enlever la conduite forcée sur la zone à Euprocte de manière douce ;
- évaluer la pérennité de la retenue collinaire sur Jujols.

## Les poissons

### Impact de l'évolution du climat sur les populations de poissons

On distingue des espèces rhéophiles, sténothermes d'eau froide se rencontrant sur l'amont des cours d'eau et des espèces limnophiles et thermophiles davantage inféodées aux zones situées en aval et à faible pente. Il existe des espèces adaptées aux zones intermédiaires de ces deux extrêmes.

Comme nous l'avons vu précédemment, la température de l'eau modifie de nombreuses fonctions chimiques. Son augmentation peut notamment modifier l'équilibre entre la disponibilité en oxygène et les besoins métaboliques des espèces et se voir répercuter sur l'ensemble du réseau trophique. (Florence Baptist, 2014)

Qui plus est, l'accomplissement du cycle de vie des poissons (croissance, reproduction) ou certaines de leur fonctions (métabolismes, digestion) et leur répartition sont principalement déterminés par la température et le régime hydrologique.

Dans le cadre de la reproduction, le changement saisonnier de la température de l'eau peut induire, en fonction des espèces, la production des gamètes, la migration, la ponte et le développement des œufs. Une température plus élevée peut augmenter la croissance, provoquer une accélération de la maturation et une réduction de la durée de vie (dans ce dernier cas, l'accélération de la maturation induit des individus plus petits).

Certaines espèces sont ainsi très vulnérables à des modifications du régime thermique (température seuil, amplitude, durée, répétition dans le temps).

L'impact du changement climatique sur les poissons peut donc s'observer en mesurant leur taille et en vérifiant la phénologie de la reproduction et la répartition des espèces le long du linéaire.

Par contre, il est nécessaire d'effectuer de longues séries temporelles. Pour exemple, une étude sur l'ombre commun a permis d'observer une avancée de 3 semaines sur la période de ponte après 62 ans de suivi.

Une autre des menaces, qui affecte toutes les espèces de tous les écosystèmes et un décalage entre les espèces proies et les espèces prédatrices. Chez les espèces aquatiques, le développement anticipé du phyto- et du zooplancton en réponse à l'augmentation de la température de l'eau favoriserait en fin d'hiver le recrutement de certaines espèces. On observerait ainsi, une contraction de l'aire de répartition des espèces d'amont (zone à truite, zone à barbeau) et une extension des espèces limnophiles et thermophiles (zone à brème).

Les événements extrêmes ont particulièrement leur importance dans la survie des populations de poissons. En France, la canicule de 2003 semble avoir constitué un événement majeur pour la biodiversité qui s'est traduit par un taux élevé de mortalité au sein des populations de poissons dans certains cours d'eau.

Les observations suggèrent donc une résistance et une résilience limitées de certaines espèces en réponse à une élévation transitoire des températures.

### Le trio activités humaines-changement climatique et poissons

La vitesse de déplacement de la plupart des espèces est moins rapide que les modifications des paramètres climatiques, les espèces en limite d'aire subissent donc des conditions non favorables et développent des maladies ou sont vulnérables à d'autres pathogènes ainsi qu'à la diminution de leur ressource trophique. Les espèces en limite de « tolérance thermique » deviennent également très vulnérables à certaines molécules et notamment aux insecticides (endosulfan et cloropyros, pyréthrinides). La truite et le chabot y sont par exemple très sensibles.

Cette sensibilité accrue pourrait s'observer chez tous les ectothermes y compris les amphibiens. Il est donc important de continuer à lutter contre ces entrants dans les milieux aquatiques. Et par exemple, de limiter la stagnation du bétail sur les zones humides et de limiter l'utilisation des produits phyto-sanitaires.

La circulation des individus est également entravée par des fragmentations naturelles et/ou anthropiques (comme les barrages et seuils, les altérations hydromorphologiques) (Florence Baptist, 2014). Il faut limiter au maximum ces ouvrages pour accompagner la migration des poissons.

Il est crucial de souligner que les pressions anthropiques tendent à renforcer la vulnérabilité des milieux et de leurs espèces aux températures de l'eau (par exemple l'augmentation de la température de l'eau en réponse à une réduction des débits des cours d'eau).

Il est donc important de limiter l'installation ou le développement de centrale hydro-électrique et de réguler le nombre de captage dans les rivières. Nous avons une région qui est historiquement très utilisatrice de la ressource en eau via des canaux. Cette dérivation d'une partie de l'eau de la rivière pourrait à l'avenir menacer la vie dans nos cours d'eau.

Selon les prédictions, les poissons d'eaux froides, serait défavorisés par le changement climatique et l'on prévoit que d'ici 2070, on observe une diminution de près d'un tiers de l'aire de l'habitat favorable à la truite commune, qui se limiterait à des zones refuges en tête de bassin. Se confronteront alors, les intérêts de la pêche de loisir et à ceux de la conservation de la biodiversité, sur des sites où aujourd'hui l'alevinage est interdit.

Dans les zones intermédiaires ou aval, les cyprinidés ou les centrarchidés seraient à l'inverse favorisés.

Le suivi de l'impact du changement climatique sur les poissons peut être réalisé via l'intermédiaire du suivi des truites effectués par l'ONF (étude des frayères) et l'OFB (pêche électrique avec mesures de la tailles des individus par espèce).

#### *Actions à réaliser :*

- éviter l'installation de nouveaux ouvrages : captage, seuil, canaux ;
- ne pas statuer favorablement au renouvellement de l'autorisation d'exploitation de la micro-centrale ;
- suivre les zones de reproduction de la truite et sa phénologie ;
- mettre en place un suivi de la taille des poissons (pêche électrique) en partenariat avec l'OFB ;
- suivre l'évolution de la faune invertébrés aquatiques.

## **Mammifères aquatiques ou semi-aquatiques**

### **Le vison d'Amérique**

Le vison d'Amérique est arrivé, il y a peu de temps, et est observé jusqu'au *gorg Estelat*. Sa présence semble pour l'instant ponctuelle, les conditions hivernales ne lui étant pas propices.

Mais avec l'arrivée d'un climat plus clément, il pourrait s'installer plus durablement et menacer les amphibiens et les micro-mammifères aquatiques.

Une veille a été enclenchée sur l'ensemble des réserves naturelles catalanes pour vérifier sa présence à travers des radeaux à empreinte. Cette veille doit continuer, elle est provisoirement suspendue sur la réserve de Nohèdes, faute de moyens humains. Il est important de la réactiver.

Si la présence de vison est détectée deux fois de suite (deux passages sur un mois), on préconise la transformation du radeau en piège, et l'élimination des individus capturés. Pour cela, les salariés des réserves doivent être agréés piégeurs. Le vison d'Amérique peut dans certains cas, impacter fortement une population de micro-mammifères ou d'amphibiens. Dans un contexte de changement climatique, qui affaiblit d'autant plus leurs populations, toute autre menace doit être éliminée.

### **Les micro-mammifères aquatiques : exemple du desman des Pyrénées**

La thèse d'Anaïs Charbonnel a permis d'identifier les paramètres principaux expliquant la répartition du desman des Pyrénées sur la chaîne des Pyrénées. Elle est positivement corrélée à l'hétérogénéité en substrat et abris du lit mineur, négativement à la variabilité inter-mensuelle du débit et de façon négligeable par les précipitations. Au niveau plus local des bassins versants, le nombre d'affluents proximaux, lui servant de refuge en cas de forte crue est aussi un paramètre important. (Anaïs Charbonnel, 2020)

L'hétérogénéité en abri et en substrat crée une diversité de gîtes offrant au desman la possibilité de se protéger des prédateurs (moins de probabilité d'être détecté et plus de facilité de s'échapper) quelque soit la hauteur d'eau (étiage, crue). Cette diversité d'abris se trouvent dans des berges très enrochées avec de nombreuses racines. Le fait qu'il dédaigne les berges terreuses, pourrait s'expliquer par le fait qu'il ne sait pas creuser de gîtes.

La diversité d'éléments rocheux dans la rivière favorise également différents faciès d'écoulement et notamment la succession de radiers, zones privilégiées pour la chasse, étant adapté à la nage dans les zones turbulentes. Ces éléments émergents offrent également au desman des lieux de repos et de consommation de ces proies hors de l'eau dans des zones aux écoulements rapides. La diversification en substrat accroît aussi la ressource alimentaire disponible, bien que le desman semble être généraliste.

La musaraigne aquatique, qui possède un régime alimentaire assez similaire va préférer des zones plus tranquilles, à débit calme pour chasser. La diversité d'écoulement sur un cours d'eau permet la présence des deux espèces sans réelle concurrence.

A l'échelle du bassin versant du Haut-Salat, les zones favorables au desman ont des débits moyens compris entre 5 à 15 m<sup>3</sup>/s, et l'espèce se maintient jusqu'à de forts débits (jusqu'à 35 m<sup>3</sup>/s). Cependant, les grands cours d'eau larges et profondes ne lui sont pas favorables.

Pour ces mêmes raisons, il privilégie les habitats à forte pente, avec un optimum à 10 %. Les pentes supérieures ne lui sont pas favorables, probablement car elles présentent des zones aux substrats très grossiers et peu diversifiés.

Les facteurs climatiques expliquent néanmoins en partie les patrons actuels et historiques de distribution de l'espèce à l'échelle des Pyrénées françaises, avec une influence plus forte des précipitations par rapport aux températures. Mais la constriction de sa répartition récente (20 dernières années) ne semblent être expliquée que partiellement par le changement climatique. Elle semble être accélérée, probablement par la présence de nombreuses activités anthropiques sur le territoire. Marjorie Biffi a ainsi tentait de comprendre ces facteurs supplémentaires à travers sa thèse et confirme ainsi que le facteur principal est l'intégrité du lit mineur et que celui-ci subit des perturbations fortes par piétinement des pêcheurs, des baigneurs ou des troupeaux, par la présence de rejet d'eaux usées ou de captage. Ces perturbations modifient la structure du lit mineur et des berges ainsi que la qualité de l'eau avec des conséquences sur la richesse en proies. (Marjorie Biffi. 2017)

Anaïs Charbonnel, nous explique cependant que même si les facteurs climatiques ne sont pas ressortis comme prépondérants dans la répartition du desman, ceux-ci l'ont été lors d'études réalisées en Espagne et au Portugal par Bararosa et al en 2009-2010 et par l'équipe de Morueta-Home en 2010. Il y ressortait l'influence de la baisse de la température moyenne annuelle de l'air et une augmentation des précipitations. L'influence des facteurs climatiques est prépondérante lorsque l'on travaille à une large échelle.

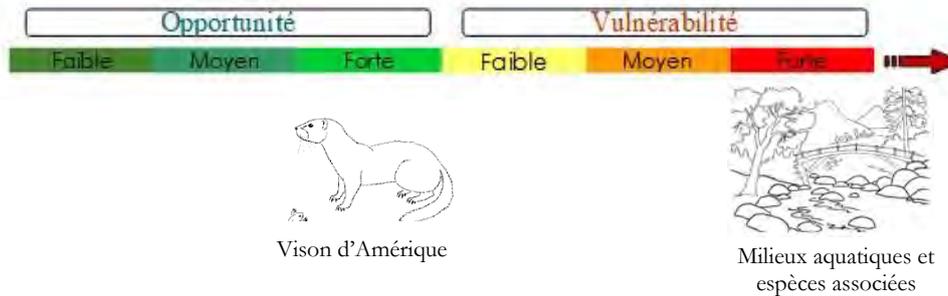
Avec des débits plus importants au printemps et des étiages estivaux plus précoces et plus sévères, le desman sera ainsi impacté indirectement via une modification de la répartition de ces espèces proies et directement par la modification des débits et notamment la disparition des zones de radiers. Morueta-Holme et al., (2010) indiquent que les futures zones climatiques favorables au desman des Pyrénées en Europe se trouvent en Écosse et en Scandinavie. (Anaïs Charbonnel;2020)

Pour augmenter la résilience du desman au changement climatique, les activités humains modifiant les débits et l'intégrité du milieu aquatique doivent être limitées.

A travers le plan national d'actions, l'aire de répartition du desman des Pyrénées est suivi, celle-ci semble se restreindre fortement à l'ouest des Pyrénées, comme en Espagne et au Portugal. Les populations qui se maintiennent le mieux sont en Ariège, l'Aude et les Pyrénées-Orientales. Dans les Pyrénées-Orientales, le desman semble être en diminution en Vallespir et sa présence reste à confirmer dans certaines vallées, comme la vallée du Carole et aux alentours de Ceret.

**Actions à mener :**

- mettre en place un suivi de la morphologie du cours d'eau et suivre son impact sur la présence des micro-mammifères semi-aquatiques ;
- continuer la veille sur le vison d'Amérique ;
- éliminer les visons d'Amérique, si présence avérée.



**Les activités humaines, la biodiversité aquatique et le changement climatique**

**Activités de loisirs**

L'impact des activités aquatiques récréatives sur les écosystèmes aquatiques a été peu étudié à ce jour. Sur les réserves du massif du Madres-Coronat, ces activités se concentrent uniquement autour de la pêche, bien que quelques baignades éparses soient observées. Il n'y a pas d'autres sports aquatiques exercés. Le ruisseau est un sport qui se développe dans d'autres départements et pourrait s'étendre. Avec le changement climatique, les pratiquants pourraient être à la recherche de nouvelles zones de fraîcheur.

La pêche est surtout concentrée sur les lacs. Le nombre de pêcheurs sur les lacs et en rivière n'est pas suffisant pour entraîner du piétinement excessif. En fonction, de l'évolution de la morphologie de la rivière, si des zones favorables venaient à disparaître, il faudrait vérifier que la concentration sur les zones favorables n'entraînent pas de la dégradation.

**Le pastoralisme**

Afin de traiter le bétail contre les maladies et autres pathogènes, les éleveurs utilisent différentes molécules qui peuvent se retrouver dans l'environnement et notamment dans les milieux aquatiques. Avec le changement climatique, nous avons vu plus haut que la toxicité de certaines molécules risque d'être amplifiée :

- l'augmentation de la sévérité et de la fréquence des épisodes de sécheresse entraîne une diminution du pouvoir de dilution des contaminants ;
- la chaleur, le Ph et le rayonnement UV (paramètres pouvant subir l'influence du changement climatique) peuvent directement modifier la toxicité d'une molécule ;
- l'intensification des événements pluvieux à caractère extrême devrait également accroître le transfert des produits phytopharmaceutiques et des produits pharmaceutiques à usage vétérinaire vers les eaux.

Or, avec les changements globaux, on craint que certaines maladies et autres pathogènes soient favorisés. Des applications plus larges et plus fréquentes des produits vétérinaires est à craindre, bien que leur impact puisse être atténué, potentiellement, par une augmentation de la volatilisation de certains produits phytosanitaires et une dégradation accélérée des résidus de pesticides dans les sols et les eaux de surface plus chaudes.

Un contrôle de la qualité de l'eau doit être mis en place pour vérifier leur présence et leur quantité dans le milieu aquatique. Une sensibilisation des éleveurs à des techniques alternatives ainsi qu'un plan pastoral

évitant la stagnation des troupeaux dans les milieux aquatiques permettront de diminuer le risque de pollution. La réserve de Nohèdes travaille déjà sur la mise en place d'un plan de gestion pastoral.

*Action à mener :*

- *mettre en place une gestion pastorale prenant en compte les effets annuels du changement climatique ;*
- *mettre en place une veille sur l'utilisation des produits zoo-sanitaires ;*
- *sensibiliser les éleveurs à des pratiques alternatives aux produits zoo-sanitaires.*

## CHAPITRE 4. LES ACTIVITÉS HUMAINES

(CÉLINE QUÉLLENNÉC)

### Le pastoralisme

Les réserves de Jujols et de Nohèdes sont pâturées par des vaches et des ovins. Quelques brebis broutent légèrement en réserve de Conat. Les alpages sont des espaces utilisés sur une courte période, environ cinq mois. Ce sont des espaces riches en biodiversité et un patrimoine culturel attirant les randonneurs. Ils se transforment alors en espace de concertation important entre agents des réserves et les différents usagers. Avec le changement climatique, les conflits d'usage pourraient être accentués. La biodiversité des alpages et le pastoralisme étant tous deux vulnérables aux changements climatiques, une gestion durable des alpages doit ainsi permettre une alimentation continue des troupeaux estivés tout en assurant le renouvellement de la ressource et la préservation sur le long-terme de la biodiversité alpine.

### Les principaux impacts du changement climatique sur le pastoralisme en estive

La pousse de l'herbe est dépendante des précipitations printanière et estivales. Elle est le résultat d'un équilibre entre une température suffisamment élevée et la quantité d'eau dans le sol qui empêche la dessiccation (et donc de la balance entre précipitation et évapotranspiration). Avec les hivers plus cléments et le déneigement plus précoce, la principale opportunité pour la production fourragère provient d'un raccourcissement de la période sans pousse de l'herbe en hiver, à condition qu'elle ne subisse pas un gel tardif au printemps, ni un gel tardif à l'automne en alpage. Cette opportunité pourrait encourager les éleveurs à monter le bétail plus tôt au printemps. Mais avec le rallongement et l'intensification de la période de sécheresse estivale, le calendrier de pâturage pourrait être raccourci en été. Une montée et une redescente plus précoce du bétail pourraient laisser croire à un équilibre du temps passé en estive et à une durabilité de l'exploitation mais c'est sans compter sur les ressources qui s'amenuisent pour le reste de l'année. L'élevage doit ainsi s'adapter chaque année et chaque saison afin de ne pas compromettre la repousse, et ainsi adapter ses pratiques ; la précocité du pâturage, le niveau de contrainte du gardiennage, la circulation des animaux et le piétinement associé jouent sur la production de la première pousse et sur le raclage de la végétation en fin d'estive. (Nettier Baptiste, 2016)

Les autres leviers qui peuvent être activés rapidement, en cas de contraintes fortes, sont le recours à des achats de ressource fourragère (achats de foin, d'herbe ou de maïs sur pied etc.) et une baisse temporaire des effectifs. Mais le risque est d'impacter plus durablement l'exploitation. Ainsi, les systèmes d'élevage doivent disposer de marges de manœuvre pour faire face à la variabilité climatique (capacité de report des stocks d'une année à l'autre par exemple), et pour gérer au cours d'une même année des surplus et des déficits temporaires de production accrus (Nettier Baptiste, 2016).

### L'importance de la conduite et de la gestion pastorale (Nettier Baptiste, 2016)

Les prairies alpines sont assez résistantes aux sécheresses, avec des baisses de rendements qui ne sont ressenties que l'année sèche. Mais l'effet cumulé de la sécheresse et des pratiques de pâturage qui ne seraient pas ajustées à la ressource disponible peuvent conduire à des dégradations rapides.

La conduite du troupeau au pâturage doit permettre de s'adapter à la ressource fourragère mais aussi permettre une diminution du besoin en eau, en :

- choisissant les horaires de pâturage et les secteurs adaptés à la météo du jour ;
- en n'excluant pas les zones difficiles d'accès ;
- en pâturant plusieurs quartiers choisis en fonction des caractéristiques des végétations et de leurs stades de développement.

La remontée des étages de végétation et notamment de la limite forestière conduira probablement à une fermeture du milieu et à la disparition de l'étage alpin. La présence de micro-reliefs à cet étage offre une gamme de micro-climats qui pourraient permettre à certaines espèces végétales de se maintenir et de continuer à offrir de manière moins importante une source pour le bétail.

Qui plus est, les sécheresses successives pourraient conduire à des mortalités importantes des arbres, et à faire perdurer des zones de prairies dans un premier temps avant l'installation d'une forêt mieux adaptée, bien que la végétation alpine pourrait elle même souffrir de ces sécheresses successives. Le pâturage en sous-bois sur des zones sélectionnées permettrait de continuer le pâturage sur des zones un peu plus fraîche. Un plan de pâturage incluant des zones boisées, à enjeu moins patrimonial permettrait de rendre l'élevage plus résilient à la sécheresse.

Une étude sur les besoins en eau et les possibilités qu'offrira le milieu dans les années à venir, orientera la localisation des zones d'abreuvement et peut-être le seuil du nombre de bêtes à ne pas dépasser.

Comme expliqué dans les chapitres précédents, le changement climatique peut avoir un impact direct sur le cheptel avec l'émergence de nouvelles maladies et la présence de fortes chaleurs qui peuvent perturber le cycle de reproduction et diminuer la prise de masse. Les techniciens des réserves doivent continuer à sensibiliser sur cette pollution potentielle.

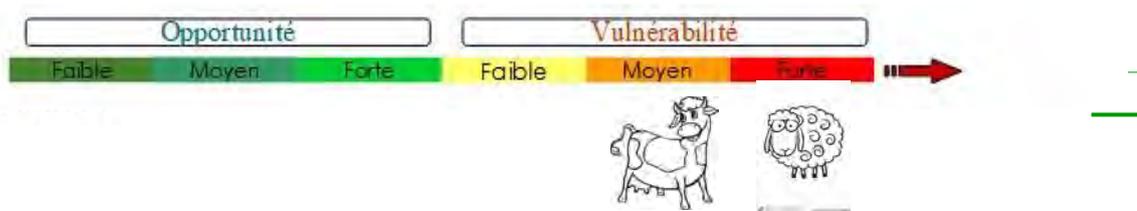
Les outils actuels d'analyse et d'aide à la gestion des alpages par les techniciens d'élevage s'avèrent insuffisants pour prendre en compte l'adaptation au changement climatique et l'impact des pratiques sur la biodiversité. Une approche type Alpages sentinelles, née dans le Parc national des Ecrins, serait intéressante à mettre en place car elle prend en compte la gestion de l'alpage par le berger.

Cet outil a été mis en place suite aux sécheresses de 2003 pour éviter l'émergence de conflits entre acteurs du pastoralisme et de l'environnement et instaurer un espace de dialogue. Les éleveurs rencontraient des difficultés à nourrir les troupeaux et les alpages étaient localement dégradés. La problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages est ainsi réfléchi collectivement.

Un travail collaboratif avec des scientifiques et des chercheurs et des agents d'espaces protégés a permis l'élaboration de suivis sur le long terme sur les écosystèmes alpins, les pratiques pastorales et leur impact sur la végétation et le climat.

Plusieurs temps d'échanges entre scientifiques, agents du parc, techniciens agricoles et pastoraux, éleveurs, et bergers ont lieu ponctuellement et lors de journées spécifiques (comme la tournée de fin d'estive) afin de partager les données collectées et les expertises de chacun pour comprendre comment réagit l'écosystème face aux changements climatiques et aux pratiques pastorales (comment les pratiques sont réajustées en fonction des aléas météorologiques).

La fédération des réserves naturelles catalanes, le parc naturel régional des Pyrénées catalanes et la chambre d'agriculture essaient depuis plusieurs années d'instituer un dispositif similaire dans les Pyrénées-Orientales.



*Actions à mettre en place :*

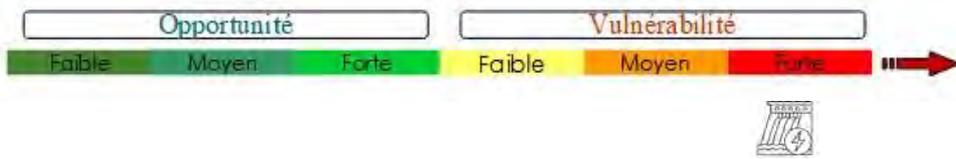
- *veille sur l'utilisation des produits sanitaires ;*
- *mettre en place une gestion pastorale qui prend en compte les aléas climatiques annuelles et la biodiversité, protocole type alpage sentinelle (ou estive sentinelle).*

## L'hydro-électricité

Seule la réserve naturelle nationale de Nohèdes est concernée par la présence d'une centrale hydro-électrique. Ces dernières années la centrale a demandé la révision du débit réservé afin d'obtenir 18 l/s contre 45 l/s prévu par l'autorisation d'exploitation. Après un travail conjoint entre l'OFB, la réserve et la DDTM, l'autorisation n'a pas été accordée.

De nombreux travaux ont eu lieu pour installer une nouvelle conduite forcée. Les anciennes conduites n'ont pas été retirées et comme précisée plus haut, un risque de pollution par l'érosion des anciennes conduites est possible.

Vue les projections des débits de la rivière dans le futur, la continuité de l'exploitation est interrogée, surtout qu'elle mettra en péril tous les écosystèmes liés à l'eau qui seront déjà fortement impactés par le changement climatique.

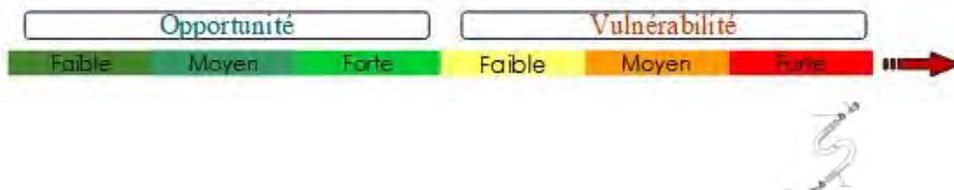


## Les captages d'eau

Différents captages ont lieu dans les réserves ou à proximité. Ils sont de trois types :

- les captages pour alimenter des abreuvoirs pour le bétail afin d'éviter le piétinement des zones humides ou les abords des ruisseaux et des lacs (et également pour empêcher la contamination des troupeaux par la douve du foie) ;
- des captages pour alimenter en eau potable les habitants des villages. En réserve de Jujols, le captage complémentaire installé il y a une quinzaine d'année a occasionné des conflits car il a occasionné des dommages précoces sur une source pétrifiante avec formation de tuf classée à la directive habitat. Ce captage ne fonctionne plus aujourd'hui, car la source est tari. La solution envisagée n'était pas une situation pérenne et les villageois souffrent d'approvisionnement en eau potable notamment l'été avec la sécheresse.
- des captages pour l'arrosage des jardins à travers des canaux sur les communes de Nohèdes et de Conat et un bassin de rétention à Jujols.

Il est essentiel aujourd'hui de réfléchir au partage de la ressource en eau et à des solutions pérennes pour éviter les conflits futurs. Le massif du Coronat étant karstique, des solutions pourraient être envisagées avec l'exploitation de rivières souterraines. Une étude serait à mener



## La fréquentation touristique et les manifestations sportives

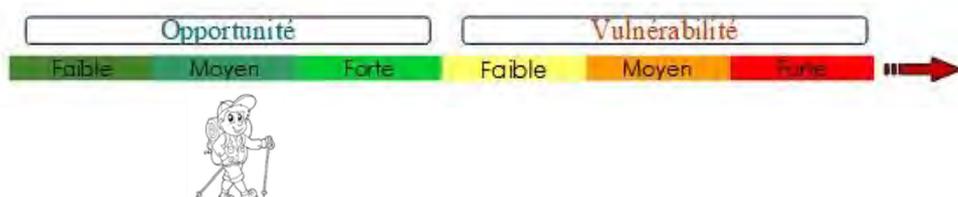
Sur le Madres, peu d'activités sont liés à la neige, on observe peu de skieurs de randonnées et de randonneurs en raquette qui y recherchent la tranquillité.

La majorité de la fréquentation est printanière et automnale à Jujols (l'été, il y fait déjà trop chaud), elle est quasi-absente sur Conat car il y a peu de sentiers de randonnées. Elle est étalée du printemps à l'automne sur Nohèdes avec l'attractivité des lacs.

Avec le changement climatique, Jujols risque de voir sa fréquentation diminuer et se reporter sur l'hiver. Sur Nohèdes, la recherche d'espaces plus frais et un climat plus doux augmentera probablement la fréquentation sur l'ensemble de l'année.

Les manifestations sportives sont absentes du massif et devrait perdurer.

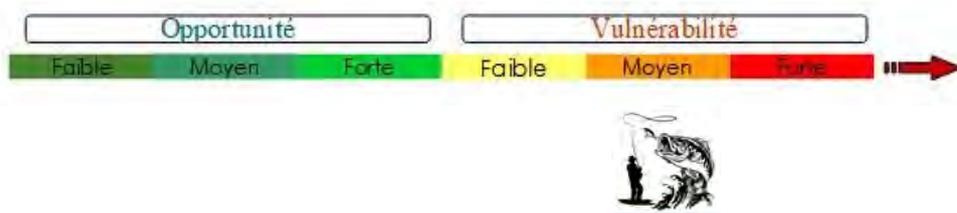
Avec le changement climatique, nous supposons une opportunité moyenne, avec un étalement de la fréquentation sur l'année, augmentant légèrement notamment lors d'événement caniculaire en plaine.



## La pêche

La pêche est absente des réserves de Jujols et de Conat, de part le faible réseau hydrographique. Elle est par contre bien présente sur la réserve de Nohèdes. La fréquentation par les pêcheurs est principalement concentrée sur les lacs, bien que quelques pêcheurs fréquentent les rivières.

Avec les débits qui diminueront et la température de l'eau qui augmentera, le cortège des poissons sera modifié. La quantité de truites pourra diminuer. Cependant, l'arrivée d'espèces des eaux plus chaudes pourraient compenser cette perte. Il est important de veiller à ce qu'il n'y ait pas d'alevinage pour compenser cette perte car de nombreuses espèces sont sensibles aux poissons qui semblaient absents des lacs d'altitude avant les premières actions d'alevinage.



## CHAPITRE 5. LES MOYENS DE GESTION

(CÉLINE QUÉLLENNEC)

Les moyens de gestion (Équivalent temps plein) sont calculés en fonction de la surface de la réserve auxquels sont ajoutés un petit pourcentage en fonction de la fréquentation et de la dangerosité.

Dans les réserves naturelles du Madres-Coronat, nous avons actuellement 1,4 ETP sur la RN de Conat, 2,1 sur la réserve de Nohèdes, 1,3 ETP sur Jujols (ces chiffres tiennent compte du temps mutualisé des agents de ces trois réserves mais pas des autres salariés fédéraux).

Ces moyens sont bien insuffisants pour exercer la totalité des missions sur des grandes réserves avec des habitats aussi variés à préserver.

De plus, la présence d'un terrain très pentu devrait obliger les salariés à toujours se déplacer à deux pour raisons de sécurité.

Actuellement, pour pallier, en partie, à ces difficultés, les réserves font appel à des services civiques, stagiaires et contrats professionnels. Leur présence permet de multiplier les thématiques traitées et d'assurer la sécurité sur le terrain.

Avec le réchauffement climatique, la fréquentation en montagne risque d'augmenter et certaines missions seront renforcées, notamment les actions de sensibilisation et de vigilance. L'arrivée de plusieurs animateurs au sein de la structure permettra probablement de faire face à cette augmentation d'activités. La concertation avec les usagers risque d'être plus compliquée car les conflits liés à l'usage de l'eau et sa répartition entre les différents usages (eau, potable, arrosage des jardins, pastoralisme) et la préservation de la biodiversité s'intensifieront. Il est primordiale d'anticiper ces conflits et les actions futures à mettre en place pour éviter des mal-adaptations et des actions précipitées.

Certains suivis et actions de gestion, mis en avant dans le plan d'adaptation, bien que pertinents, ne sont et ne seront pas mis en place, faute de moyens supplémentaires (temps agent et investissements).

Dans les réserves naturelles gérées par la fédération des réserves naturelles, seuls le département participe désormais au financement de l'investissement.

Ce fait oblige déjà la fédération à multiplier ces sources de financements, notamment en répondant à des appels à projet.

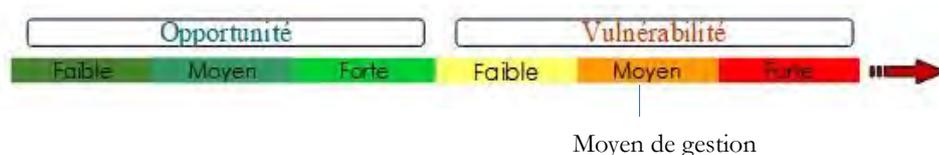
Bien que le diagnostic de vulnérabilité et le plan d'adaptation ne concerne que l'adaptation, on ne peut oublier de mettre en place des mesures d'atténuation. Il s'agit d'être cohérent dans nos actes.

C'est ainsi que les réserves du Madres essaient au maximum de développer les moyens de locomotion les moins impactants possibles, approche pédestre, en vélo électrique, nuit sur place etc.

Mais les temps d'approche étant plus longs, les actions pouvant être mis en place risque de diminuer.

En ce qui concerne les locaux, le plan de relance aura permis à l'association gestionnaire de Nohèdes de bénéficier de moyens conséquents pour créer une maison de la nature économe en énergie.

Nos moyens d'agir pour limiter nos émissions de gaz à effet de serre dans l'exercice professionnel ne se cantonnent pas uniquement à nos moyens de déplacements et au logement. Une étude spécifique de nos manières de fonctionner pourrait nous aider dans cette démarche (mode de transport, visio-conférence, type de police dans les documents, fonctionnement globalisé) etc.



## CONCLUSION

---

La démarche Natur'Adapt a permis de mieux appréhender les changements globaux qui auront lieu sur le massif du Madres-Coronat. Malgré nos connaissances, l'ampleur des projections notamment pour les températures nous a surpris car elles prévoient une modification d'un à un et demi étage climatique.

Les précipitations diminueront, notamment dans le cas du scénario 8,5 (le plus pessimiste mais qui semble être celui vers lequel on se dirige).

L'évolution de ces deux paramètres climatiques occasionneront beaucoup de modifications dans les écosystèmes présents sur les réserves du Madres, on craint notamment la disparition de l'étage alpin et du boréo-subalpin, que se soit dans le cadre du scénario 4.5 ou 8.5 à l'horizon 2070-2100.

Pour les espèces inféodées à ces étages, nous espérons que les effets d'abris du massif permettra d'en sauvegarder certaines.

Pour les étages inférieurs, nous nous devons d'accompagner les espèces à migrer en diminuant notamment les autres impacts anthropiques. Mais l'amélioration de la gestion passe également par l'amélioration de la connaissance des changements climatiques actuels et de ses impacts or ce diagnostic a révélé des lacunes dans ce domaine. C'est ainsi que de nombreuses actions proposent la mise en place de suivis de paramètres climatiques et hydrologiques.

Grâce à ces projections nous avons estimé la vulnérabilité des écosystèmes liés à la ressource en eau (exceptées les tourbières, non analysées faute de temps), des forêts, des galliformes, des espèces endémiques et en situation de refuge, les activités humaines et les moyens de gestion. Malheureusement, seuls le pin sylvestre et le vison d'Amérique semble tirer leur épingle du jeu. Le grand-tétras et la perdrix grises pourraient également se maintenir. Toutes les autres espèces et écosystèmes étudiés dans ce document sont très vulnérables.

Ce diagnostic n'est pas exhaustif, loin de là et il ne fait qu'effleurer la réflexion à mener sur l'adaptation des réserves du Madres au changement climatique.

J'espère que ce travail ne soit que le début d'une réflexion mais surtout que les futures comportements humains, le rendront inutile.

## BIBLIOGRAPHIE

- Archaux, F. (2004). Breeding upwards when climate is becoming warmer: no bird response in the French Alps. *Ibis*, 146: 138–144.
- Astruc, G., Besnard, A., Desmet, J.F et Novoa, C. (2012). Évaluation des effets des changements climatiques sur la biologie de la reproduction du lagopède alpin. Rapport d'étude ONCFS/CNRS/EPHE – programme ALCOT RA, 43p.
- Attinger, S. & J.-M. Fallot (2003). Fréquence des intempéries et des précipitations abondantes en Valais (Alpes suisses occidentales) durant le 20ème siècle. Publication de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 15 : 253-259.
- Auvray F. & M. Jappiot. (1990). Typologie forestière du Conflent. Inventaire forestier national. Montpellier.
- Baines, D., Wilson, I.A. & G. Beeley (1996). Timing of breeding in black grouse *Tetrao tetrix* and capercaillie *Tetrao urogallus* and distribution of insect food for the chicks. *Ibis*, 138: 181–187.
- Baptiste Nettier. (2016). Adaptation au changement climatique sur les alpages. Modéliser le système alpage-exploitations pour renouveler les cadres d'analyse de la gestion des alpages par les systèmes pas-toraux. Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.
- Belleau, E (2014) – Suivi sanitaire des populations de lagopède alpin. In Novoa *et al.* (2014) Le lagopède alpin en Haute-Savoie : Biologie des populations et impact des activités humaines. Publication ONCFS/Asters/GRIFEM, pp: 45-47.
- Beniston, M. (1997). Variations of snowdepth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcing. *Climatic Change*, 36: 281–300.
- Beniston, M. (2005). Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps. *Pure and Applied Geophysics*, 162: 1587–1606.
- Beniston, M., Keller, F. & S. Goyette (2003). Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies. *Theoretical and Applied Climatology*, 74: 19-31.
- Biffi Marjorie. (2017). Influence des facteurs environnementaux et des interactions biotiques sur la sélection de l'habitat et le régime alimentaire du desman des Pyrénées, *Galemys pyrenaicus*. *Ecologie, Environnement*. Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), 269 p.
- Bigot, S. & S. Rome (2008). Apports de l'imagerie satellitaire pour l'étude du climat et de l'enneigement du massif du Vercors. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 51 : 63-77.
- Bigot, S. & S. Rome (2010). Contraintes climatiques dans les Préalpes françaises : évolution récente et conséquences potentielles futures », *EchoGéo*, numéro 14, URL : <http://echogeo.revues.org/12160>.
- Blatrix, Rumsais, Claude Lebas, Christophe Galkowski et Philippe Wegnez. (2014). Inventaire des fourmis des réserves naturelles du mont Coronat. Rapport d'inventaire. Perpignan : Antarea. 270 p.
- Botti, Dario. (2018). A phytoclimatic map of europe. *Cybergeo: european journal of geography*, p. 1-23.
- Bro, E. La Perdrix grise. Biologie, écologie, gestion et conservation. Biotope, Mèze, 304p.
- Brommer, J.E. (2004). The range margins of northern birds shift polewards. *Ann. Zool. Fennici*, 41: 391-397.
- Calvet, Marc (1996). Morphogenèse d'une montagne méditerranéenne : les pyrénées orientales. Orléans : éd. BRGM. Documents BRGM. 1 177 p.
- Charbonnel Anaïs. (2015). Influence multi-échelle des facteurs environnementaux dans la répartition du Desman des Pyrénées (*Galemys pyrenaicus*) en France, Toulouse, 260 p.
- Ciccarelli, N., Hardenberg, J. Von, Provenzale, A., Ronchi, C., Vargiu, A. & R. Pelosini (2008). Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century. *Global and Planetary Change*, 63: 185–195.
- Clarke, J.A. & R.E. Johnson (1992). The influence of spring snow depth on White-tailed Ptarmigan breeding success in the Sierra Nevada. *Condor*, 94: 622–627.

- Coste, Clothier (2013). Premier aperçu de la flore et de la végétation lichéniques de la réserve naturelle de Conat (Pyrénées--Orientales). Rapport d'inventaire. Bagnères-de-Bigorre : Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées. 20 p. + ann.
- Cramer, Wolfgang, Joël Guiot, Marianela Fader, Joaquim Garrabou, Jean-Pierre Gattuso, Ana Iglesias, Manfred A. Lange, Piero Lionello, Maria Carmen Llasat, Shlomit Paz, Josep Peñuelas, Maria Snoussi, Andrea Toret, Michael N. Tsimplis et Elena Xoplaki. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the mediterranean. *Nature climate change*. Vol. 8, n° 11, p. 972-980.
- Crick, H.Q.P., Dudley, C., Glue, D.E. & D.L. Thomson (1997). UK birds are laying eggs earlier. *Nature*, 388: 526.
- Crick, H.Q. (2004). The impact of climate change on birds. *Ibis*, 146 (Suppl. 1): 48–56.
- Cuxac, Nicolas. (2019). Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de nohèdes. Rapport de stage master. Perpignan : université de perpignan. 45 p.
- Dajoz Roger (2007). Les insectes et la forêt. Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier. 648p.
- Dalibard Manon, Laëtitia Buisson, Alexandre Ribéron, Pascal Laffaille. (2020). Identifying threats to Pyrenean brook newt (*Calotriton asper*) to improve decision making in conservation management: A literature review complemented by expert-driven knowledge *Journal for Nature Conservation* 54, 10 p.
- Dané Juliette. (2021). Diagnostic de vulnérabilité Démarche d'adaptation au changement climatique de la réserve naturelle de Sixt-Fer-à-Cheval/Passy, Annexes 136 p.
- De Bentmann, Grégoire. (2020). Étude préliminaire de la ressource en eau de la rivière du caillan. Rapport de stage licence professionnelle. Lyon : université de lyon 2. 37 p.
- Defaut, Bernard. (1991). Vers une modélisation de l'évolution climatique au Quaternaire : relations entre climat actuel et étages de végétation dans le domaine paléarctique. R 33 036. Orléans : BRGM, service géologique national. 57 p. + annexes.
- Defaut, Bernard. (1996). Un système d'étages phytoclimatiques pour le domaine paléarctique : corrélations entre végétation et paramètres climatiques. *Matériaux entomocénétiques*. Vol. 1, p. 5-46.
- Durand, Y., Laternser, M., Giraud, G., Etchevers, P., Lesaffre, B & L. Rindol (2009). Reanalysis of 44 Yr of Climate in the French Alps (1958–2002): Methodology, Model Validation, Climatology, and Trends for Air Temperature and Precipitation. *Journal of Applied meteorology and climatology*, 48 :429-449.
- Etchevers, P. & E. Martin (2002). Impact du changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne. Météo France, Centre National de Recherches Météorologiques, Centre d'Études de la Neige. Communication lors du colloque international «L'eau en montagne » – Megève – Septembre 2002.
- Fallot J.-M. (2000). Evolution du nombre de jours avec des précipitations abondantes en Suisse durant le 20ème siècle. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Volume 13 : 100-109.
- Fallot J.-M. (2010). Evolution de l'intensité moyenne et de la fréquence des précipitations en Suisse de 1900 à 2009. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Volume 23 : 215-220.
- Garder Vincent (2021). Infos tétras Jura n+°:44, dossier Grand-tétras et changement climatique, pp.7-15
- Gardarsson, A. (1988). Cyclic population changes and some related events in Rock Ptarmigan in Iceland. In Bergerud, A.T. & Gratson, M.W. (eds) *Adaptive Strategies and Population Ecology of Northern Grouse*: 300–329. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Gottardi, Frédéric. (2009). Estimation statistique et réanalyse des précipitations en montagne. Utilisation d'ébauches par types de temps et assimilation de données d'enneigement. Application aux grands massifs montagneux français. Institut national polytechnique de grenoble - inpg.
- Grosbois, V., Gimenez, O., Gaillard, J.-M., Pradel, R., Barbraud, C., Clobert, J., Møller, A. P. & H. Weimerskirch (2008). Assessing the impact of climate variation on survival in vertebrate populations. *Biological Reviews*, 83: 357–399.
- Holder, K. & R. Montgomerie. (1993). Rock Ptarmigan (*Lagopus mutus*). In Poole, A. & Gill, F. (eds) *The Birds of North America*, No. 51. Philadelphia, PA: Academy of Natural Sciences; Washington, DC: American Ornithologists' Union.

- Heas, Kenzo. (2021). Démarche d'adaptation au changement climatique de la réserve naturelle de la forêt de la massane. Plan d'adaptation et diagnostic de vulnérabilité. Rapport d'étude. Fédération des réserves naturelles catalanes, 89 p.
- Hurstel Arnaud. (2015) Impact des ongulés sur la Myrtille (*Vaccinium myrtillus*): étude de cas sur le massif vosgien et influence sur la qualité des habitats du Grand Tétras (*Tetrao urogallus*), octobre 2015, 31p.
- Inouye, D. W., Barr, B., Armitage, K. B. & B. Inouye (2000). Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97: 1630–1633.
- Juillard R., Jiguet, F. & D.Couvet (2004). Evidence for the impact of global warming on the long term population dynamics of common birds. *Proc. R. Soc. Lond. B (Suppl.)* 271 : 490–492.
- Leclercq, B. and E. Ménoni (2019). "Effets des changements climatiques sur l'écologie de quelques Tétracidés." *Revue Scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature*, 29: 168-186.
- Lelièvre, F., F. Sala et F. Volaire. (2011). Évolution climatique du sud de la France 1950–2009. *Projet climfourrel PSDR-3, régions LR, MP, RA. Série les focus psdr3*.
- Lopez-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Angulo-Martinez, M., Begueria, S. & A. Kenawy. (2010). Trends in daily precipitation on the northeastern Iberian Peninsula, 1955–2006. *International Journal of Climatology*, 30: 1026–1041.
- Lucati Federica *et al.* (2020). Multiple glacial refugia and contemporary dispersal shape the genetic structure of an endemic amphibian from the Pyrenees ; *Molecular Ecology*. 1–18 p.
- Ludwig, G.X., Alatalo, R.V., Helle, P., Lindén, H., Lindström, J. & H. Siitari (2006). Short- and long-term population dynamical consequences of asymmetric climate change in black grouse. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 273: 2009–2016.
- Maggini, R., A. Lehmann, Kéry, M., Schmid, H., Beniston, M. Jenni, L & N. Zbinden (2011). Are Swiss birds tracking climate change? Detecting elevational shifts using response curve shapes. *Ecological Modelling*: 21–32.
- Mangeot Alain *et al.* (2020). Plan de gestion de Nohèdes 2021-2028, rapport. 72 p.
- Martin, K., Stacey, P.B. & C.E. Braun (2000). Recruitment, dispersal and demographic rescue in spatially-structured White-tailed Ptarmigan populations. *Condor*, 102: 503–516.
- Martin, K. (2001). Wildlife communities in alpine and sub-alpine habitats. In Johnson, D.H. & O'Neil, T.A. (eds) *Wildlife –Habitat Relationships in Oregon and Washington*: 285–310. Corvallis, Oregon: Oregon State University Press.
- Martin, K. & L.K. Wiebe (2004). Coping mechanisms of alpine and arctic breeding birds: extreme weather conditions and limitations to reproductive resilience. *Integr. Comp. Biol.* 44: 177–185.
- McCarthy, J.P. (2001). Ecological consequences of recent climate changes. *Conservation Biology*, 15: 320–331.
- E. Ménoni, M. Montadert & B. Leclercq (2019) The mating time of the capercaillie in the Pyrenees and the Jura become earlier and earlier. *Grouse News* 58: 28-34.
- Moisselin, J.-M., Schneider, M., Canellas, C. & O. Mestre (2002). Les changements climatiques en France au XX<sup>e</sup> siècle ; Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, 38 : 45-56.
- MORICHON, David (2019). *Réserve naturelle de Conat : plan de gestion 2019-2028*. Vol. 1. 2 vol. Prades. Fédération des réserves naturelles catalanes. 125 p.
- Moss, R. & A. Watson (1984). Maternal nutrition, egg quality and breeding success of Scottish Ptarmigan *Lagopus mutus*. *Ibis*, 126: 212–220
- Moss, R. (1985). Rain, breeding success and distribution of Capercaillie *Tetrao urogallus* and Black Grouse *Tetrao tetrix* in Scotland. *Ibis*, 128: 65-72.
- Moss R., Oswald J. & D. Baines (2001). Climate change and breeding success: decline of the capercaillie in Scotland. *Journal of Animal Ecology*, 70 : 47–61.
- Novoa, C., Besnard, A., Brenot, J.-F. & L. N. Ellison (2008). Effects of weather on the reproductive rate of rock ptarmigan *Lagopus muta* in the eastern Pyrenees. *Ibis*, 150 : 270-278.
- Novoa (C.), Astruc (G.), Desmet (J.-F.) & Besnard (A.) (2016). No short-term effects of climate change on the breeding of Rock Ptarmigan in the French Alps and Pyrenees. *Journal of Ornithology*, 157: 797-810.

- Novoa C., Resseguier J., Blanch Casadessús J., Brenot J-F., Gràcia Moya J (2022). Biologie de la reproduction du lagopède alpin *Lagopus muta pyrenaica* dans la partie orientale des Pyrénées. Alauda (sous presse).
- ONERC (2008). Changement climatiques dans les Alpes : impacts et risques naturels. Rapport Technique N° 1 de l'ONERC, 100 p.
- Ozenda, Paul (1975). Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. *Documents de cartographie écologique*. Vol. xvi, p. 1-32.
- Pedersen, H.C. & J.B. Steen (1979). Behavioural thermoregulation in Willow Ptarmigan *Lagopus lagopus* chicks. *Ornis Scandinavica*, 10: 17–21.
- Pernollet CA, Korner-Nievergelt F, Jenni L (2015) Regional changes in the elevational distribution of the Alpine Rock Ptarmigan *Lagopus muta helvetica* in Switzerland. *Ibis* 157:823–836
- Plassart, Clémentine, Dominique Barreau et Frédéric Andrieu (coordinateurs) (2016). *Atlas de la flore patrimoniale de l'Aude*. Fédération Aude Claire, conservatoire botanique national Méditerranéen, société scientifique d'étude de l'Aude & les Ateliers de la nature. Biotope, Mèze. 432 p.
- Popy, S. (2008). Vers un test des conséquences du changement climatique sur la biodiversité, *Viale* modèle de gradient altitudinal. Thèse de Doctorat, Montpellier Supagro, 215p.
- Popy, S., Bordignon, L. & R. Prodon (2009). A weak upward elevational shift in the distributions of breeding birds in the Italian Alps. *Journal of Biogeography*, 37: 57-67.
- Rinaud, T, Harmange, C, Pays, O, Sarasa, M., Saillard, M. & V.Bretagnolle (2020). Interspecific competition between two partridges in farmland landscapes. *Animal Behaviour*, 165: 23-34
- Rio, Marlène (2015). Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée de la nohèdes. Rapport de stage 4e année. Montpellier : école polytechnique universitaire de montpellier, département sciences et technologies de l'eau. 48 p.
- Roux, Claude, Olivier Bricaud, Clothier Coste et Didier Masson (2008). Inventaire des lichens et des champignons lichénicoles de la réserve naturelle de Jujols (Pyrénées-Orientales). Rapport d'inventaire. Association française de lichénologie. 64 p.
- Saether, B.E., Sutherland, W.J. & Engen, S. (2004). Climate influences on avian population dynamics. *Advances in Ecological Research*, 35: 186–209.
- Sandercock, B.K., Martin, K. & Hannon, S.J. (2005). Demographic consequences of age-structure in extreme environments: population models for arctic and alpine ptarmigan. *Oecologia*, 146: 13–24.
- Scherini, G.C., Tosi, G. & L.A. Wauters (2003). Social behaviour, reproductive biology and breeding success of alpine Rock Ptarmigan *Lagopus mutus helveticus* in northern Italy. *Ardea*, 91: 11–23.
- Slagsvold, T. & T. Grasaas (1979). Autumn population size of Capercaillie Tetrao urogallus in relation to weather. *Ornis Scandinavica*, 10: 37-41.
- Steen, J.B. & S. Unander (1985). Breeding biology of Svalbard Rock Ptarmigan *Lagopus mutus hyperboreus*. *Ornis Scandinavica*, 16: 191–197.
- Swenson, J.E., Saari, L. & Z. Bonczar (1994). Effects of weather on Hazel Grouse reproduction: an allometric perspective. *Journal of Avian Biology*, 25: 8–14.
- Terrádez, Juan, Idoia Arauzo et Emilia Gutiérrez (2018). Le changement climatique dans les pyrénées: impacts, vulnérabilités et adaptation: bases de connaissances pour la future stratégie d'adaptation au changement climatique dans les pyrénées. *Collserola*. 149 p.
- Thomas, C. D. & J. J. Lennon (1999). Birds extend their ranges northwards. *Nature*, 399: 213.
- Thouvenot, Louis, 2004. La bryoflore de la réserve naturelle de Jujols (Pyrénées-Orientales, France). Rapport d'inventaire. Toulouges : association Charles-Flahault. 70 p.
- Trochet Audrey, Deluen Marine, Bertrand Romain, Calvez Olivier, Martínez-Silvestre Albert, *et. al.* (2019). Body Size Increases with Elevation in Pyrenean Newts (*Calotriton asper*), *Herpetologica* 5, 30-37 p.
- Vigneau, Jean-Pierre (1986). Climat et climats des Pyrénées-Orientales. Ramonville : Jean-Pierre Vigneau éditeur. 594 p.
- Wang, G., T., Hobbs, N., Giesen, K. M., Galbraith, H., Ojima, D.S. & C.E. Braun (2002b). Relationships between climate and population dynamics of white-tailed ptarmigan *Lagopus leucurus* in Rocky Mountain National Park, Colorado, USA. *Climate Research*, 23: 81-87.

- Watson, A., Moss, R. & S. Rae (1998). Population dynamics of Scottish Rock Ptarmigan cycles. *Ecology*, 79: 1174–1192.
- Wegge, P., Vesteras, T. & J. Rolstad (2010). Does timing of breeding and subsequent hatching in boreal forest grouse match the phenology of insect food for the chicks. *Ann. Zool. Fennici*, 47: 251-260.
- Zuckerberg, B., Woods, A. M. & W.F. Porter (2009). Poleward shifts in breeding bird distributions in New York State. *Global Change Biology*, 15 : 1866–1883
- Baptist Florence, Poulet Nicolas et Nirmala Séon-Massin (coordinateurs), 2014. Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et piste pour l'adaptation, ONEMA, collection « *comprendre pour agir* », 128 p.

## INDEX DES ILLUSTRATIONS

---

Illustration 1 : Versant nord du mont Coronat vue depuis la haute vallée de Nohèdes ; au fond, les crêtes du massif du Canigou, au premier plan, un plan d'eau artificiel, l'Estany del Clot (cliché D. Morichon)...	p.1
Illustration 2 : Régions géographiques des Pyrénées-Orientales (en rouge, emplacement des réserves naturelles du mont Coronat).....	p.2
Illustration 3 : Localisation des réserves naturelles de Jujols, Conat et Nohèdes sur le Massif du Madres-Coronat.....	p.3
Illustration 4 : Carte thermo-pluviométrique du département des Pyrénées-Orientales, d'après Vigneau, 1986.....	p.4
Illustration 5 : Le stratus méditerranéen s'étendant sur toute la plaine des Pyrénées-Orientales, vu depuis la pointe orientale du mont Coronat (cliché E. Hornsperger).....	p.5
Illustration 6 : Vue tridimensionnelle du mont Coronat depuis l'ouest ; en rouge sont figurées les limites des trois réserves naturelles.....	p.6
Illustration 7 : Projection des isohyètes du modèle AURHELY sur le bassin versant de la rivière de Nohèdes (in Cuxac, 2019).....	p.8
Illustration 8 : Différence entre les estimations de précipitations de Gottardi (2009) et celle de la méthode AURELHY (précipitations annuelles moyennes sur lapériode 1971-2000) ; l'emplacement de la vallée de Nohèdes (un peu plus de 18 km) est figuré par un trait rouge (d'après Gottardi, 2009).....	p.8
Illustration 9 : Températures moyennes annuelles relevées à Nohèdes de 1959 à 2008 et droite de régression de la série.....	p.10
Illustration 10 : Les trois mailles retenues pour couvrir la zone d'étude.....	p.11
Illustration 11 : Climogramme des trois mailles du jeu de données Drias-2020.....	p.11
Illustration 12 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2069.....	p.12
Illustration 13 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212.....	p.12
Illustration 14 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2211.....	p.13
Illustration 15 : Localisation des mailles climatiques de référence sur le climagramme de Defaut ; en tirets bleus, l'emprise climatique hypothétique du massif du Madres.....	p.16
Illustration 16 : . Durée et intensité des vagues de chaleur observées en Languedoc-Roussillon entre 1947 et 2019 (en brun, celles qui ont eu lieu depuis l'année 2000) (Météo France).....	p.19
Illustration 17 : Durée et intensité des vagues de froid observées en Languedoc-Roussillon entre 1947 et 2019 (en bleu, celles qui ont eu lieu depuis l'année 2000) (Météo France).....	p.20
Illustration 18 : Cartes de l'évolution prévue des formations végétales en France entre 1980 et 2099 (d'après Lelièvre et al., 2011).....	p.20
Illustration 19 : Sapinière de Conat en 2011 ; quelques arbres morts sur pied portent encore leurs aiguilles rousses (cliché D. Morichon).....	p.22
Illustration 20 : Climogramme des trois mailles du jeu de données Drias, pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5, aux horizons H <sub>2</sub> et H <sub>3</sub> .....	p.23
Illustration 21 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2069, scénario 4.5.....	p.24
Illustration 22 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2069, scénario 8.5.....	p.24

Illustration 23 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212, scénario 4.5.....	p.25
Illustration 24 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212, scénario 8.5.....	p.25
Illustration 25 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2211, scénario 4.5.....	p.26
Illustration 26 : Climatogramme de Gausсен-Bagnouls pour la maille 2212, scénario 8.5.....	p.26
Illustration 27 : Évolution des paramètres climatiques de la maille 2069.....	p.27
Illustration 28 : Évolution des paramètres climatiques de la maille 2212. En-dessous, zoom sur la trajectoire.....	p.28
Illustration 29 : Évolution des paramètres climatiques de la maille 2211. En-dessous, zoom sur la trajectoire.....	p.29
Illustration 30 : Évolution de l'écart de la température moyenne annuelle dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.....	p.30
Illustration 31 : Évolution de l'écart de la température moyenne printanière dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.....	p.30
Illustration 32 : Évolution de l'écart de la température moyenne hivernale dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.....	p.31
Illustration 33 : Évolution de l'écart de la température moyenne estivale dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.....	p.31
Illustration 34 : Écarts des cumuls de précipitations hivernales dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.....	p.32
Illustration 35 : Écarts des cumuls de précipitations printanières dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.....	p.32
Illustration 36 : Évolution du nombre de jours d'été dans la maille 2069, au fil du temps et au gré des scénarios.....	p.33
Illustration 37 : Évolution du débit moyen annuel du Callan en cas d'absence de stockage hivernal de neige (in Cuxac, 2019).....	p.34
Illustration 38 : Diversité comparée des hautes Pyrénées audoises et des RN du mont Coronat.....	p.36
Illustration 39 : Indice de similitude de Sørensen.....	p.37
Illustration 40 : Le domaine d'endémicité ouest-méditerranéen.....	p.39
Illustration 41 : Distribution actuelle et futures de la hêtraie (selon le site climessence).....	pp.42-43
Illustration 42 : Photographie du Gorg Estelat (Alain mangeot).....	p.55
Illustration 43 : Calotriton des Pyrénées (Alain Mangeot).....	p.58

## Index des tableaux

Tableau 1. Paramètres climatiques des mailles.....	12
Tableau 2. Nomenclature et définition des bioclimats potentiels sur le massif du Madres.....	15
Tableau 3. Paramètres climatiques des mailles (la symbologie utilisée pour le graphique est indiquée entre parenthèses).....	23
Tableau 4. Postes climatiques en France de paramètres ombrothermiques actuels voisins des projections climatiques pour le massif du Madres.....	23
Tableau 5. Statistiques élémentaires concernant les températures extrêmes et moyennes au fil des saisons pour la maille 2069.....	29
Tableau 6. Statistiques élémentaires concernant les températures extrêmes et moyennes au fil des saisons pour la maille 2069.....	30
Tableau 7. Effets des scénarios sur le débit de la rivière pour chaque sous-bassin versant (in Cuxac, 2019).....	33
Tableau 8. Diversité comparée des RN du mont Coronat et des RN du massif du Canigou..	36
Tableau 9. Répartition de la diversité spécifique des végétaux vasculaires entre les trois RN du mont Coronat.....	36



[naturadapt.com](http://naturadapt.com)

**Le projet LIFE Natur'Adapt** vise à intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Coordonné par Réserves Naturelles de France, il s'appuie sur un processus d'apprentissage collectif sur 5 ans (2018-2023), autour de trois axes :

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

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

### Coordinateur du projet



Grâce au soutien financier de



Contact : [naturadapt@rnfrance.org](mailto:naturadapt@rnfrance.org) / 03.80.48.91.00

### Partenaires engagés dans le projet



### Financeurs du projet



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

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

Juillet 2022