

Diagnostic prospectif de vulnérabilité et d'opportunité au changement climatique

RESERVE NATURELLE GEOLOGIQUE DU LUBERON



© Laureen KELLER

Projet d'adaptation de la gestion des réserves naturelles de Provence-Alpes-
Côte d'Azur au changement climatique (2024 – 2025)

Autrices

KELLER Laureen – CEN PACA

GATEL Maëlle – CEN PACA

Contributeurs et relecteurs

LEGAL Stéphane – PNR du Luberon

MICHEL Laurent – PNR du Luberon

Citation de l'ouvrage

KELLER L. & GATEL M., 2025. Diagnostic prospectif de vulnérabilité et d'opportunité au changement climatique – Réserve naturelle géologique du Luberon. Projet Natur'Adapt Sud : Adaptation de la gestion des réserves naturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur au changement climatique. 41 pages.

Table des matières

Résumé.....	4
I. Introduction.....	5
1. Le projet LIFE Natur'Adapt	5
2. Le projet Natur'Adapt Sud.....	5
3. Philosophie de la démarche Natur'Adapt	7
II. Présentation du site	8
III. Analyse climatique	10
1. Climat de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur	10
2. Méthodologie d'analyse du climat	12
Sélection des paramètres climatiques	12
Méthodologie d'analyse du climat récent.....	12
Méthodologie d'analyse du climat futur	12
3. Analyse du climat du site.....	14
Indicateurs de température	14
Indicateurs de précipitation	18
Autres indicateurs	20
4. Synthèse	23
IV. Analyse de vulnérabilité.....	25
1. Sélection des objets d'analyse	25
Critères de sélection.....	25
Objets d'analyse sélectionnés	26
2. Méthodologie d'analyse.....	26
Analyse détaillée du patrimoine naturel.....	26
Analyse de l'évolution des activités socio-économiques.....	28
Analyse de l'évolution des outils et moyens de gestion	28
3. Facteurs extérieurs.....	29
Description des facteurs extérieurs	29
Synthèse	29
4. Résultats de l'analyse de vulnérabilité.....	30
Vulnérabilité et opportunité des objets du patrimoine naturel.....	30
Evolutions potentielles des activités socio-économiques.....	35
Evolutions potentielles des outils et moyens de gestion	35
5. Nouveaux arrivants	37
V. Récit prospectif	38
VI. Conclusion.....	39
Liste des acronymes	40
Bibliographie	41

Résumé

Située au sein du parc naturel régional (PNR) du Luberon, la Réserve naturelle géologique du Luberon est constituée de 28 sites paléontologiques qui accueillent un patrimoine géologique exceptionnel, de renommée internationale. En effet, il est possible d'observer sur la Réserve le stratotype de l'Aptien, ainsi que des dalles à empreintes de pas de mammifères, des fossiles dans les calcaires en plaquettes oligocènes exceptionnellement conservés, ou encore des gisements de références à mammifères continentaux fossiles.

L'analyse du climat passé et des projections dans le futur jusqu'à l'horizon 2100 ont permis de mettre en évidence une poursuite de l'augmentation des températures sur le territoire de la Réserve, comme attendue en région PACA et plus largement en France métropolitaine. Ce réchauffement devrait se traduire par une hausse de la durée des vagues de chaleur et par la diminution du nombre de jours de gel. En parallèle, les précipitations pourraient avoir tendance à augmenter en hiver et à diminuer le reste de l'année, favorisant l'allongement des périodes de sécheresses et la hausse de l'évapotranspiration potentielle, ce qui renforcerait le risque incendie.

Ainsi, ce document s'inscrivant dans le cadre de la démarche Natur'Adapt vise à comprendre les impacts du changement climatique et mener une réflexion afin d'anticiper d'éventuelles modifications dans le fonctionnement des écosystèmes et d'adapter la gestion de la Réserve. Pour analyser l'impact des évolutions climatiques sur la Plaine des Maures, 12 objets ont été sélectionnés : 7 issus du patrimoine naturel, 3 outils et moyens de gestion et 2 activités humaines. Les informations utilisées pour l'analyse proviennent principalement de la littérature scientifique, des dires de différents experts et de l'équipe gestionnaire de la Réserve.

Globalement, les évolutions climatiques devraient renforcer les risques d'érosion et de dégradation de la majorité des objets géologiques analysés et des fossiles qu'ils contiennent. L'érosion peut également constituer une opportunité de découverte de nouveaux éléments fossile par exemple. Seuls les gisements à invertébrés marins se situant au sein de grottes devraient être préservés. Les espèces de la flore des marnes pourraient quant à elle se maintenir si elles retrouvent des conditions proches de celles des pays plus au sud dans lesquels elles se développent bien.

Ainsi, les analyses issues de ce diagnostic visent à alimenter le récit prospectif de la Réserve et servir de base à la construction d'un projet d'adaptation. Le document présente toutefois quelques limites liées au manque de connaissances scientifiques concernant les impacts du changement climatique sur certains objets. Ce travail constitue tout de même un outil de projection dans le futur, qui a permis au gestionnaire de s'approprier la thématique du changement climatique et de se questionner sur ce que ce dernier peut impliquer pour la Réserve.

I. Introduction

L'évolution du climat a des effets directs sur la nature. **Le changement climatique actuel provoque des modifications environnementales et contribue ainsi à l'érosion de la biodiversité**, en perturbant le rythme naturel d'adaptation des écosystèmes et en exacerbant les pressions existantes sur les espèces et leurs habitats. Le changement climatique a aussi des effets indirects sur la nature à travers les modifications des activités humaines (agricoles, touristiques, etc.) qu'il provoque. En complément des actions d'atténuation, il est nécessaire **d'anticiper ces évolutions pour adapter la gestion des espaces naturels protégés**. L'adaptation vise ainsi à limiter les impacts du changement climatique et les dommages associés sur la nature et les activités humaines qui en dépendent.

1. Le projet LIFE Natur'Adapt

Partant de ce constat, l'association Réserves Naturelles de France (RNF) et ses partenaires ont porté le projet LIFE Natur'Adapt, de 2018 à 2023. Ce projet visait à **intégrer les enjeux climatiques dans la gestion des aires protégées** en général et des réserves naturelles en particulier, notamment en apportant aux gestionnaires des outils méthodologiques expérimentés et testés sur des sites pilotes. Une démarche d'adaptation a ainsi été développée, accompagnée d'un [guide méthodologique](#) (COUDURIER *et al.*, 2023) et d'une formation en ligne à destination des gestionnaires. La démarche Natur'Adapt consiste en la réalisation d'un **diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité (DVO)** au changement climatique des éléments structurants de l'espace étudié, puis, sur cette base, d'un **plan d'adaptation au changement climatique** à l'échelle de l'aire protégée. Elle est composée de 4 étapes :



- 1- Immersion et cadrage
- 2- Analyse prospective (4 composantes principales : le climat, le patrimoine naturel, les activités humaines qui influencent la gestion, et les pratiques de gestion)
- 3- Adaptation de la gestion
- 4- Bilan et capitalisation

2. Le projet Natur'Adapt Sud

Le **projet d'adaptation de la gestion des réserves naturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) au changement climatique**, appelé **Natur'Adapt Sud**, est la déclinaison en région PACA de la démarche développée dans le cadre du LIFE sur 13 réserves volontaires (Figure 1). Il répond à une volonté des gestionnaires d'espaces naturels d'être accompagné dans la prise en compte du changement climatique dans leur gestion.

Le projet est piloté par la Tour du Valat en partenariat avec le Conservatoire d'espaces naturels de PACA (CEN PACA), avec le soutien financier de la DREAL PACA et de la Région Sud – Provence-Alpes-Côte d'Azur.

RNF et la Communauté de communes Alpes d'Azur accompagnent également le projet pour apporter un appui technique et leur retour d'expérience à la suite du LIFE.

Le projet régional Natur'Adapt Sud (2024-2025) prévoit de réaliser, pour chacun des sites participants, un diagnostic prospectif de vulnérabilité et d'opportunité face au changement climatique et un plan d'adaptation de la gestion. Ce dernier pourra ensuite être intégré au document de gestion. Le projet permet ainsi de faire monter en compétence les gestionnaires de réserves naturelles de la région sur les thématiques du changement climatique et de ses impacts sur la nature. Le travail en réseau est au cœur de ce projet d'ampleur régionale, au terme duquel une majorité des réserves naturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur seront dotées d'une stratégie d'adaptation au changement climatique.

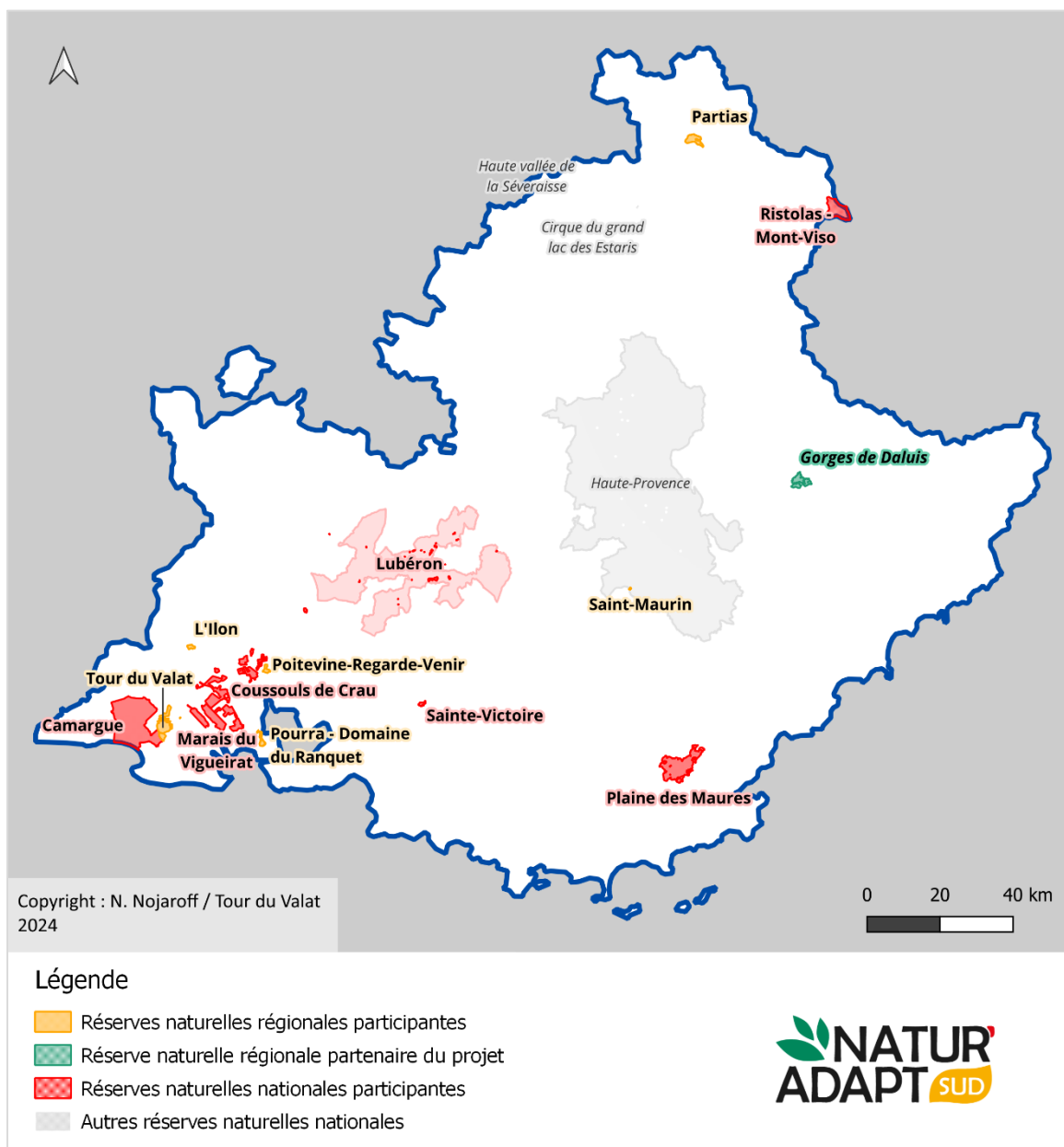


Figure 1 : Carte des réserves naturelles participant au projet Natur'Adapt Sud

3. Philosophie de la démarche Natur'Adapt

Avant de mettre en œuvre la méthodologie Natur'Adapt sur les réserves participantes, il est nécessaire de rappeler la philosophie de cette démarche.

La démarche Natur'Adapt est **une opportunité pour** :

- Monter en compétence sur le climat ;
- Mieux connaître son aire protégée et le territoire environnant, et porter un autre regard dessus ;
- **S'interroger sur les vulnérabilités et les opportunités** provoquées par le changement climatique ;
- Développer une **vision prospective**, à partager, de l'évolution de l'aire protégée sous l'effet du changement climatique ;
- **Anticiper les évolutions et réfléchir à ses pratiques de gestion** face au changement climatique ;
- Lancer une **dynamique interne et locale** autour du changement climatique et poser les premiers jalons d'un diagnostic de vulnérabilité et d'un plan d'adaptation ;
- Faire évoluer ses relations avec les acteurs locaux, adopter un nouveau positionnement et **réfléchir ensemble aux usages**, présents et à venir ;
- Communiquer différemment sur son aire protégée et (ré)affirmer son rôle au sein du territoire.

A l'inverse, la démarche Natur'Adapt **n'est pas** :

- Une étude scientifique ni une modélisation précise de l'évolution du climat et de la nature : il s'agit d'identifier des tendances et d'appréhender les incertitudes ;
- Un travail exhaustif et figé : la démarche d'adaptation est un processus continu !
- Un catalogue d'actions nouvelles et innovantes : 90% des mesures d'adaptation sont des actions déjà en cours ou envisagées dans d'autres objectifs ; l'innovation réside dans le changement d'approche de la gestion ;
- Un livre de recette : chaque territoire doit construire sa démarche en fonction de son contexte.

II. Présentation du site

La **Réserve naturelle nationale géologique (RNNG) du Luberon**, située à cheval sur les départements des **Alpes-de-Haute-Provence** et du **Vaucluse**, regroupe **28 sites paléontologiques** répartis sur **20 communes**, pour une surface totale de **398 hectares**.

Créée en **1987**, elle est **gérée par le Parc naturel régional du Luberon (PNRL)**. En **1996**, un **périmètre de protection** d'une surface de **69 663 hectares** a été institué afin d'étendre la préservation à un territoire plus vaste et cohérent. Ce périmètre couvre **27 communes** et inclut **25 des 28 sites** de la Réserve, dont un partiellement (Figure 2).

Le territoire s'inscrit dans le **Géoparc mondial UNESCO du Luberon**, reconnaissance internationale qui valorise la richesse géologique et la démarche de gestion intégrée menée par le Parc.

La Réserve s'étend sur le **massif du Luberon** et ses bordures, au nord comme au sud, ainsi que sur le **rebord des monts de Vaucluse**. Elle s'étire d'**ouest en est**, de **Cheval-Blanc** à **Manosque**, et, du **sud au nord**, de la **vallée de la Durance** jusqu'aux **premiers contreforts des monts de Vaucluse**, en englobant la ville d'**Apt**, cœur du territoire.

Ce territoire abrite un **patrimoine géologique d'importance internationale** : le **stratotype de l'Aptien**, des **dalles à empreintes de mammifères**, les **calcaires en plaquettes oligocènes** à fossiles remarquablement préservés, ou encore des **gisements de référence à mammifères continentaux fossiles** confèrent à la Réserve un caractère scientifique et patrimonial exceptionnel.

La **gestion de la Réserve** s'appuie sur le **Plan de gestion 2019-2028** et sur la **Charte du Parc naturel régional du Luberon 2025-2040** (notamment la *mesure 17* : "*Protéger et valoriser le patrimoine géologique*"). La **reconnaissance en Géoparc mondial UNESCO** est intégrée dans ces deux cadres, assurant la cohérence des actions de conservation, de valorisation et d'adaptation au changement climatique.

Cette analyse est conduite à l'échelle du **périmètre de protection de la Réserve**, étendue à quelques **sites géologiques situés hors périmètre** mais étroitement liés à la gestion de la Réserve ou du Géoparc.

Réserve naturelle géologique du Luberon

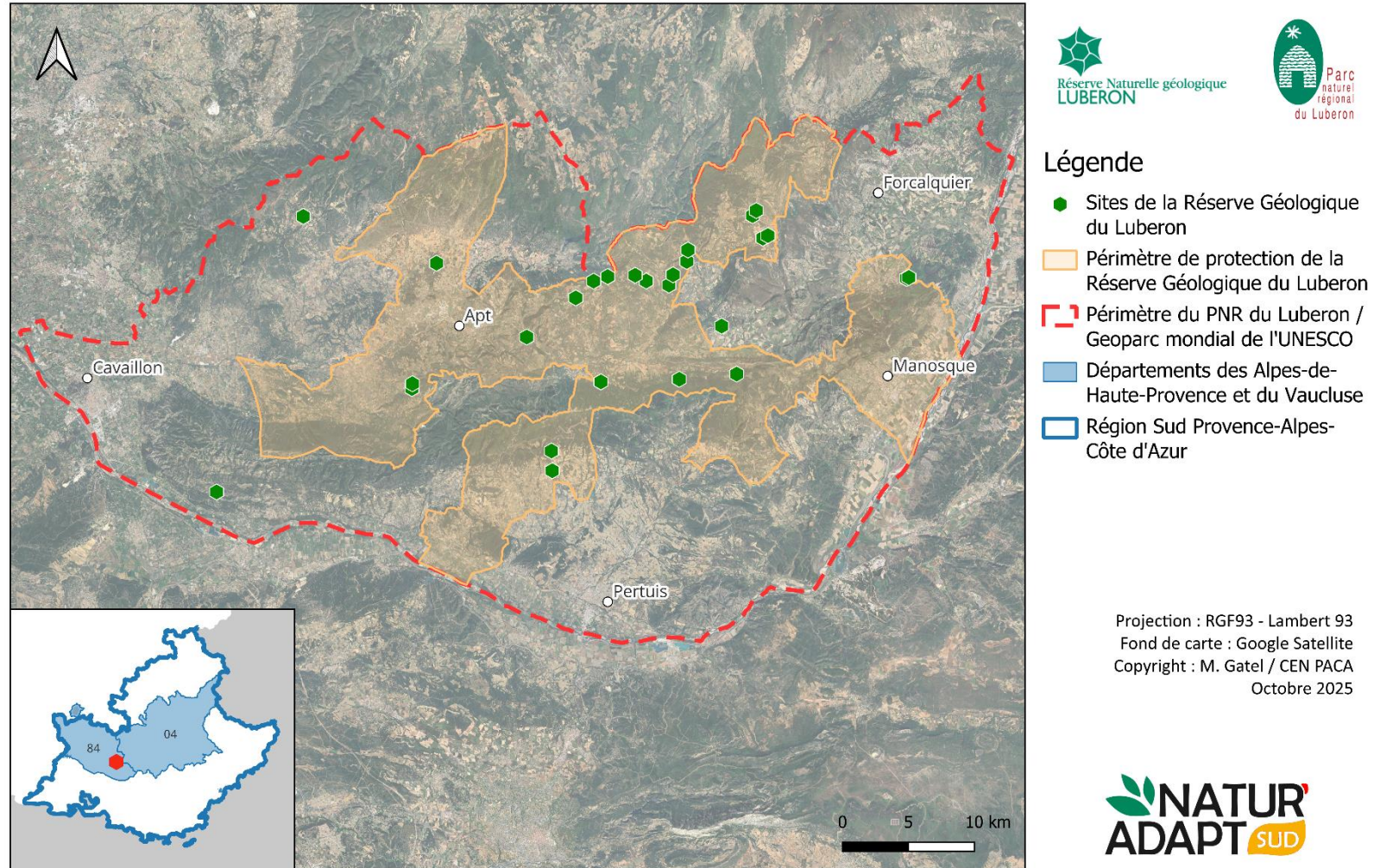


Figure 2 : Localisation de la Réserve naturelle géologique du Luberon

III. Analyse climatique

L'analyse climatique est l'étape qui permet **d'étudier les chroniques passées et récentes du climat, ainsi que les projections climatiques futures** au niveau de la Réserve naturelle. Cette analyse permet d'identifier de grandes tendances d'évolution pour un ensemble d'indicateurs du climat déterminants pour la Réserve.

2 questions pour comprendre le changement climatique

- **Quelle différence entre météo et climat ?**

La météo concerne les prévisions à court terme des conditions atmosphériques. Le climat est la moyenne des conditions météorologiques, les extrêmes et les tendances sur le long terme.

Les normales climatiques, calculées sur 30 ans, servent de référence pour analyser l'évolution du climat.

- **Qu'est-ce que le changement climatique actuel ?**

Bien que le climat ait toujours varié, le réchauffement observé depuis 1900 est essentiellement d'origine anthropique, en lien avec les modifications d'usage des sols (déforestation, bétonisation...) et les importantes émissions de gaz à effet de serre (GES) produites par les activités humaines. Le CO₂ est particulièrement préoccupant en raison de sa longévité dans l'atmosphère, jusqu'à des centaines d'années. Par conséquent, même si nous réduisons les émissions aujourd'hui, les effets du réchauffement se poursuivront pendant des décennies, voire des siècles. En revanche, les actions mises en place maintenant peuvent limiter l'ampleur du réchauffement futur (atténuation). Il est également nécessaire de se préparer aux effets inévitables du réchauffement déjà en cours : c'est l'adaptation.

Le changement climatique contemporain se distingue par son intensité, sa rapidité et son origine humaine.

1. Climat de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Le Groupe Régional d'Experts sur le Climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-SUD), organisme de référence en PACA en matière d'analyse climatique, a produit plusieurs cahiers thématiques en lien avec les effets du changement climatique, ainsi qu'une infographie récapitulative des enjeux climatiques régionaux (GREC-SUD, 2023) (Figure 3).

Les synthèses du GREC-SUD en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

ENJEUX CLIMATIQUES EN RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Le GIEC rappelle qu'il est impératif de limiter le réchauffement climatique global à +1,5°C. Et si le problème est bel et bien global, les solutions d'adaptation et d'atténuation, elles, sont avant tout **LOCALES** !
Alors, quelles sont nos pistes d'action pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ?

SPÉCIFICITÉS DE LA RÉGION



ÉTÉ

Le fort rayonnement solaire et la circulation atmosphérique **anticyclonique** dominante de la région expliquent les fortes chaleurs et les sécheresses en période estivale.



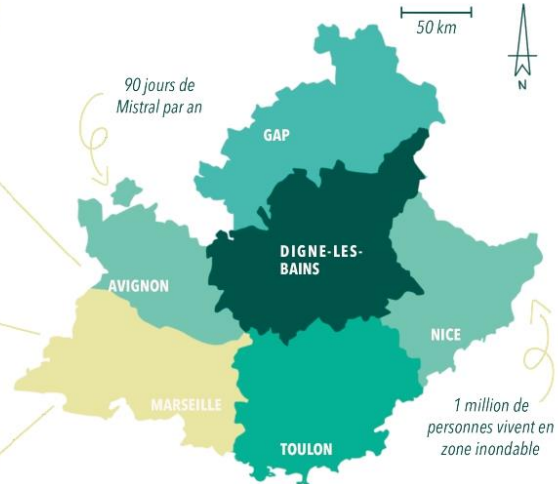
HIVER

La présence de reliefs, comme les Préalpes, provoque un « effet de fœhn » d'ouest, engendrant un fort vent, mais aussi plus de **chaleur et de sécheresse**.

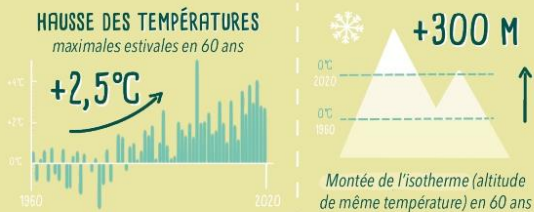


AUTOMNE & PRINTEMPS

De l'automne au printemps, la région subit les « épisodes méditerranéens » : des averses orageuses parfois excessives pouvant apporter plus de 200 mm de pluie en 1 jour !



ÉVOLUTIONS PASSÉES (1960 à 2020)



ÉVOLUTIONS FUTURES (2050 à 2100)

L'incertitude de ces prévisions dépend de nos futurs choix socio-économiques. Nous pouvons anticiper la réaction du climat avec précision, mais nous ne pouvons prédire la direction que prendront les actions humaines qui l'influencent...



Il est donc certain que, même dans le scénario socio-économique d'évolution climatique le plus optimiste, de nombreux bouleversements sont à prévoir dans notre région... Comment nous en prémunir ?

Figure 3. Infographie des enjeux climatiques en région PACA (GREC-SUD, 2023) © MACHA

2. Méthodologie d'analyse du climat

SÉLECTION DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES

De très nombreux paramètres climatiques existent et peuvent être étudiés pour comprendre le climat d'un lieu donné. Dans le cadre de la démarche Natur'Adapt, l'analyse climatique a pour objectif de **comprendre l'exposition et la vulnérabilité du site au changement climatique**. Ce sont donc les **paramètres climatiques déterminant l'existence et le fonctionnement de la Réserve naturelle** du Luberon qui sont sélectionnés ici.

Un autre critère important concerne la disponibilité et la nature des données. En effet, l'analyse climatique nécessite l'accès à **des informations suffisamment nombreuses, fiables, et anciennes** pour l'étude du climat passé, ainsi que des **données existantes dans les modélisations du climat futur**.

Les 12 paramètres et variables retenus pour l'analyse climatique du Luberon sont les suivants :

- **Température atmosphérique** : moyenne, minimale, maximale, vagues de chaleur, nombre de jours de forte chaleur, nombre de jours de gel
- **Précipitations** : cumul moyen, nombre de jours de pluie, nombre de jours de fortes pluies, périodes de sécheresse
- **Autres paramètres** : évapotranspiration potentielle, sensibilité aux feux de forêt

Selon les paramètres, les données sont analysées sur un pas de temps annuel, mensuel et/ou saisonnier. Les saisons météorologiques retenues sont les suivantes : printemps (mars, avril et mai), été (juin, juillet et août), automne (septembre, octobre et novembre), hiver (décembre, janvier et février).

MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU CLIMAT RÉCENT

Les analyses du climat passé du territoire du Luberon proviennent principalement du cahier produit par le GREC-SUD (GREC-SUD, 2020). En complément, il a parfois été nécessaire d'utiliser les services climatiques **Climat HD** (Météo-France, 2025a) qui synthétisent les grandes tendances de certains indicateurs à l'échelle régionale.

Les normales climatiques correspondent aux moyennes des paramètres climatiques sur une période de 30 ans. Afin d'utiliser les données homogénéisées de Météo France, c'est encore la période 1976 – 2005 qui est la plus souvent utilisée pour le climat actuel. Pour le climat du passé, les périodes choisies varient en fonction des données disponibles (à partir de 1900, 1950, 1960 selon les paramètres et stations).

MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU CLIMAT FUTUR

Les données du climat futur sont principalement issues du **service climatique DRIAS** de Météo France (Météo-France, 2025b). Lorsqu'une autre source est utilisée, elle est indiquée à la suite de l'information concernée. Les projections du climat futur sont disponibles dans DRIAS à l'échelle des mailles SAFRAN (soit 64 km²). Pour la Réserve naturelle géologique du Luberon, c'est la **maille n°4819** qui est utilisée car elle couvre la majorité de la surface de la Réserve et est représentative des différents habitats qui s'y trouvent.

► *Scénarios de projection*

Pour avancer de manière coordonnée sur le sujet de l'adaptation au changement climatique, les autorités françaises ont défini en 2023 une Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) à l'échelle nationale. Elle permet notamment de se préparer à un réchauffement de +4°C sur la France hexagonale en fin de siècle. La TRACC s'appuie sur les engagements actuels des Etats en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre (Soubeyroux *et al.*, 2024). Cependant, les tendances actuelles induisent un risque de dépassement de ces engagements, qui ne peut être ignoré. De plus, l'ensemble des paramètres climatiques analysés n'est pas modélisé avec la TRACC.

Ainsi, malgré l'intérêt de cet outil en termes de planification de l'adaptation, le choix a été fait dans le cadre de la présente démarche, d'utiliser les scénarios d'émission RCP (Representative Concentration Pathway).

Les **scénarios d'émissions RCP** correspondent à différents schémas d'évolution des émissions de Gaz à Effet de Serre proposés par le GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Un RCP est utilisé comme paramètre d'entrée des modèles d'évolution du climat. Sa valeur peut être associée à des hypothèses d'évolution socio-économique, mais également à des politiques d'adaptation et d'atténuation. Trois scénarios sont disponibles dans DRIAS : RCP 2.6 (émissions maîtrisées), RCP 4.5 (émissions modérées), et RCP 8.5 (émissions non réduites). Deux scénarios sont comparés dans cette analyse : le **RCP 4.5** (« plutôt optimiste ») et le **RCP 8.5** (« pessimiste »). Le choix de 2 scénarios permet de montrer une fourchette des évolutions possibles, et de tenir compte des incertitudes liées au climat futur.

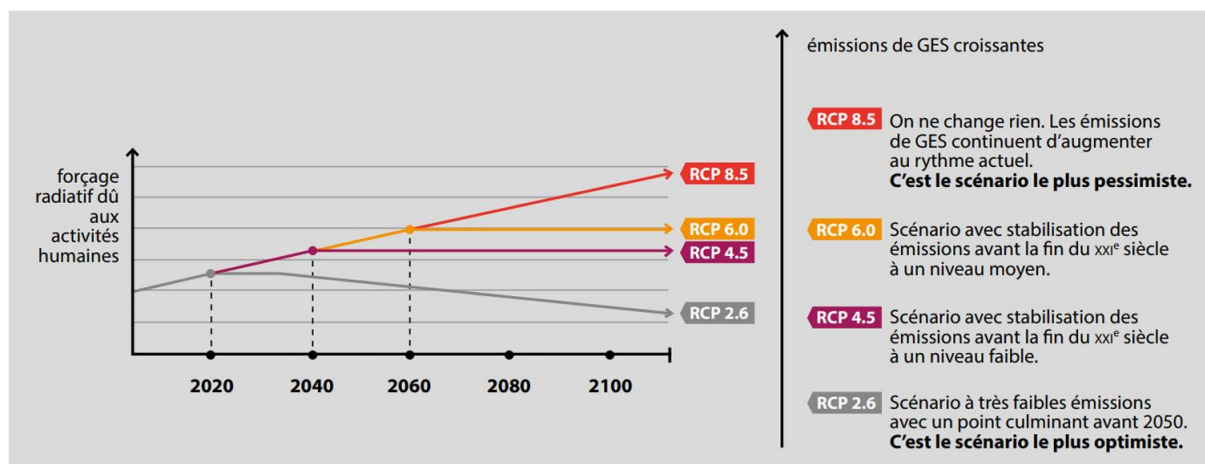


Figure 4. Schéma des différents scénarios d'émissions RCP (ONERC, 2015)

► Pas de temps

De nombreux services climatiques, dont DRIAS, proposent des modélisations sur des périodes de 30 ans. L'horizon temporel de moyen terme se base sur la période 2041-2070, traduit dans cette analyse sous le terme d'**horizon 2050**. L'horizon temporel de long terme concerne, quant à lui, la période 2071-2100, repris ici comme l'**horizon 2100**.

Ces **horizons, 2050 et 2100**, ont été choisis car ils constituent des repères tant en matière de gestion que pour l'appropriation du sujet par un large public.

Afin de caractériser les tendances d'évolution du climat, les projections aux horizons 2050 et 2100 sont comparées à la période de référence proposée par DRIAS : **1976-2005**.

► Modèles climatiques

Plusieurs modèles climatiques existent et diffèrent selon la méthode utilisée et le pays. Afin de tenir compte des incertitudes liées à la modélisation du climat futur, le choix a été fait, dans cette analyse, de retenir la médiane de l'ensemble des modèles disponibles sur le service climatique DRIAS (DRIAS 2020).

Afin de prendre en compte l'incertitude liée à l'outil de modélisation, un intervalle de prédiction, comprenant les valeurs comprises entre le 5^{ème} centile (valeurs basses) et le 95^{ème} centile (valeurs hautes), a également été intégré. Cette approche permet ainsi de prendre en compte la majorité des valeurs qu'un paramètre climatique donné peut prendre selon les différents modèles.

3. Analyse du climat du site

Les valeurs présentées dans les tableaux correspondent à la médiane des projections issues des modèles climatiques. Dans le texte, certaines valeurs issues de modèles présentant des variations plus importantes sont parfois mentionnées.

INDICATEURS DE TEMPÉRATURE

La température est l'un des paramètres les plus importants pour le suivi des évolutions climatiques. Il permet de suivre l'ampleur du changement climatique ainsi que son rythme. Ces évolutions peuvent impacter particulièrement la fonctionnalité des milieux, la répartition et la phénologie des espèces ainsi que les activités humaines.

► *Température moyenne*

La température moyenne journalière correspond à la **température moyenne enregistrée sur une période de 24 heures**. À l'échelle mensuelle, cet indicateur correspond à la moyenne des températures moyennes journalières.

❖ Evolution récente et projections futures

Depuis 1960, une **hausse des températures moyennes annuelles de l'ordre de +0.3°C par décennie** est enregistrée en région PACA. Ce réchauffement est **plus intense en été** avec une tendance des températures moyennes estivales de **+0.5°C par décennie**. Depuis les années 1980, cette tendance s'est accélérée, avec des écarts de plus en plus marqués par rapport à la moyenne de référence (1961-1990). A Apt, la température moyenne a augmenté d'environ **+1.8°C** depuis 1960.

Quel que soit le scénario ou le modèle étudié, l'augmentation des températures moyennes devrait se poursuivre jusqu'à la fin du siècle. Selon la médiane des projections futures, une hausse de la température moyenne annuelle de l'ordre de **+1.8°C** (scénario d'émissions modérées) à **+2.4°C** (scénario d'émissions non réduites) **est attendue d'ici 2050. D'ici 2100**, cette augmentation serait encore plus forte avec une élévation de l'ordre de **+2.2°C à +4.4°C**, selon le scénario d'émissions considéré. Ce réchauffement serait **particulièrement marqué en été**, avec des températures moyennes **pouvant potentiellement atteindre +7°C d'ici la fin du siècle** selon certains modèles.

Tableau 1 – Projections de l'évolution des températures moyennes annuelles sur la Réserve géologique du Luberon
RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;
Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

ANNEE	Ecart à la référence	Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		-	+1.8°C	+2.4°C	+2.2°C	+4.4°C
	Température moyenne	12.4°C	14.2°C	14.8°C	14.6°C	16.8°C

► **Température minimale quotidienne**

La température minimale quotidienne correspond à **la température la plus basse enregistrée sur une période de 24 heures**. À l'échelle mensuelle, cet indicateur correspond à la moyenne des températures minimales quotidiennes. Il fournit une vision complémentaire à celle des températures moyennes et maximales, en permettant notamment de visualiser les extrêmes climatiques et l'amplitude thermique quotidienne.

❖ **Evolution récente et projections futures**

Globalement, les températures minimales ont suivi une tendance de réchauffement similaire à celle des températures moyennes, avec une augmentation particulièrement marquée depuis les années 1980.

Cette tendance devrait également se poursuivre jusqu'à la fin du siècle. Selon la médiane des projections futures, une hausse de la moyenne annuelle des températures minimales quotidiennes de l'ordre de **+1.8°C** (scénario d'émissions modérées) à **+2.5°C** (scénario d'émissions non réduites) **est attendue d'ici 2050. D'ici 2100**, cette augmentation serait encore plus forte avec une élévation de l'ordre de **+2.2°C à +4.3°C**, selon le scénario d'émissions considéré. Ce réchauffement affecterait toutes les saisons mais serait **particulièrement marqué en été**.

Il est également intéressant de noter qu'à l'horizon 2100, **les températures minimales futures pourraient correspondre aux températures moyennes actuelles**, ce qui témoigne de l'intensification du phénomène de réchauffement.

Tableau 2 - Projections de l'évolution des températures minimales annuelles sur la Réserve géologique du Luberon
RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;
Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	+1.8°C	+2.5°C	+2.2°C	+4.3°C
	Température minimale	7.7°C	9.5°C	10.2°C	9.9°C	12°C

► **Température maximale quotidienne**

La température maximale quotidienne correspond à **la température la plus élevée enregistrée sur une période de 24 heures**. À l'échelle mensuelle, cet indicateur correspond à la moyenne des températures maximales quotidiennes. Il fournit une vision complémentaire à celle des températures moyennes et minimales, en permettant notamment de visualiser les extrêmes climatiques et l'amplitude thermique quotidienne.

❖ **Evolution récente et projections futures**

Globalement, les températures maximales ont suivi une tendance de réchauffement similaire à celle des températures moyennes, avec une augmentation particulièrement marquée depuis les années 1980.

Cette tendance devrait également se poursuivre jusqu'à la fin du siècle. Selon la médiane des projections futures, une hausse de la moyenne annuelle des températures maximales quotidiennes de l'ordre de **+1.7°C** (scénario d'émissions modérées) à **+2.2°C** (scénario d'émissions non réduites) **est attendue d'ici 2050. D'ici 2100**, cette augmentation serait encore plus forte avec une élévation de l'ordre de **+2°C à +3.9°C**, selon le scénario d'émissions considéré. Ce réchauffement affecterait toutes les saisons mais serait **particulièrement marqué en été**.

Il est également intéressant de noter qu'à l'horizon 2100, **les températures moyennes futures pourraient atteindre les températures maximales actuelles**, ce qui témoigne de l'intensification du phénomène de réchauffement.

Tableau 3 - Projections de l'évolution des températures maximales annuelles sur la Réserve géologique du Luberon
RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;
Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	+1.7°C	+2.2°C	+2°C	+3.9°C
	Température maximale	19.4°C	21.1°C	21.6°C	21.4°C	23.3°C

► Nombre de jours d'une vague de chaleur

Pour chaque date du calendrier, une température de référence est calculée au regard de la moyenne des températures enregistrées (ou modélisées) sur la période de référence pour ladite journée. Autrement dit, on peut considérer qu'il s'agit de la température « attendue » à cette date.

Selon DRIAS, une vague de chaleur est une période de plus de 5 jours consécutifs lors desquels la température est supérieure de 5°C à la température maximale de référence pour ces mêmes dates.

Le nombre de jours d'une vague de chaleur fait état du nombre de jours, dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs, où la température maximale est supérieure de 5°C à la température maximale de référence. Il s'agit donc d'un indicateur de durée et non pas d'un indicateur de fréquence des vagues de chaleur ou de leur intensité.

❖ Evolution récente et projections futures

A l'échelle de la région PACA, les vagues de chaleur recensées depuis 1947 ont été sensiblement plus nombreuses et plus longues au cours des dernières décennies. En effet, 18 des 28 vagues de chaleur enregistrées depuis 1947 ont eu lieu entre 2000 et 2019. A Apt, elles étaient quasi-absentes avant les années 1980 et se multiplient ces dernières années avec 22 vagues de chaleur en moyenne par an (GREC-SUD, 2020).

Selon les projections futures, ces phénomènes extrêmes devraient devenir **plus intenses**. Les vagues de chaleur devraient voir **leur durée considérablement augmenter**. Cette tendance serait particulièrement marquée d'ici la fin du siècle, notamment en été. Dans le scénario d'émissions non réduites, la médiane des modèles climatiques indique que la durée **des vagues de chaleur estivales pourrait atteindre 45 jours consécutifs à l'horizon 2100**. Certains modèles estiment même que cette durée pourrait atteindre jusqu'à 53 jours.

Tableau 4 - Projections de l'évolution de la durée moyenne d'une vague de chaleur sur la Réserve géologique du Luberon
 RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;
 Hiver : D, J, F / Printemps : M, A, M / Été : J, J, A / Automne : S, O, N ;
 Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	+ 25 jours	+ 38 jours	+ 32 jours	+ 93 jours
	Jours	11 jours	36 jours	49 jours	43 jours	104 jours
HIVER	Ecart à la référence	-	+ 2 jours	+ 5 jours	+ 4 jours	+ 13 jours
	Jours	≤ 5 jours	7 jours	10 jours	9 jours	18 jours
PRINTEMPS	Ecart à la référence	-	+ 5 jours	+ 7 jours	+ 6 jours	+ 20 jours
	Jours	7 jours	12 jours	14 jours	13 jours	27 jours
ETE	Ecart à la référence	-	+ 10 jours	+ 15 jours	+ 14 jours	+ 39 jours
	Jours	6 jours	16 jours	21 jours	20 jours	45 jours
AUTOMNE	Ecart à la référence	-	+ 5 jours	+ 11 jours	+ 10 jours	+ 24 jours
	Jours	≤ 5 jours	10 jours	16 jours	15 jours	29 jours

► Nombre de jours de forte chaleur

La température maximale journalière correspond à la température la plus élevée enregistrée sur une période de 24 heures.

Le nombre de journées de forte chaleur correspond au nombre de jours lors desquels la température maximale enregistrée sur une journée (nuit exclue) est supérieure à 35°C.

❖ Evolution récente et projections futures

Au cours de la période de référence, le territoire du Luberon ne subissait quasiment pas de jours de forte chaleur. En revanche, **d'ici la fin du siècle, jusqu'à 31 jours de forte chaleur par an pourraient être enregistrés**. Celles-ci auraient principalement lieu en juillet et août mais pourraient également parfois être en juin et en septembre, voire au mois de mai.

Tableau 5 - Projections de l'évolution du nombre annuel de jours de forte chaleur sur la Réserve géologique du Luberon
 RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;
 Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	+6 jours	+11 jours	+8 jours	+31 jours
	Jours	1 jour	7 jours	12 jours	9 jours	32 jours

► Nombre de jours de gel

Le nombre de jours de gel correspond au nombre de jours, sur une période donnée, lors desquels la température minimale quotidienne est descendue à 0°C ou en dessous.

❖ Evolution récente et projections futures

Sur le territoire du Luberon, les mois de décembre à janvier sont ceux enregistrant le plus grand nombre de jours de gel, soit 10 à 14 jours par mois sur la période 1976-2005. Quelques jours de gel sont également enregistrés aux mois de novembre et mars. A Apt, le nombre de jours de gel est plutôt stable depuis la fin des années 1960, même si un “tassement” est observé depuis 2013 (GREC-SUD, 2020).

Les projections climatiques indiquent une diminution du nombre annuel de jours de gel pouvant atteindre jusqu’à **-27 jours d’ici 2050** et **-39 jours d’ici 2100**. Ainsi, il ne gèlerait probablement plus en novembre, mars et avril. Les mois de décembre à février verraient également leur nombre de jours de gel drastiquement diminuer et il est ainsi possible de s’attendre à ce qu’ils n’enregistrent plus que quelques jours d’ici la fin du siècle. Des épisodes de gel tardif pourraient tout de même avoir lieu avec des conséquences sur la végétation.

Tableau 6 - Projections de l’évolution du nombre annuel de jours de gel sur la Réserve géologique du Luberon
RCP 4.5 : scénario d’émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d’émissions non réduites ;
Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	-19 jours	-27 jours	-26 jours	-39 jours
	Jours	49 jours	30 jours	22 jours	23 jours	10 jours

INDICATEURS DE PRÉCIPITATION

Les précipitations sont l’un des paramètres les plus importants pour le suivi des évolutions climatiques. Elles impactent, directement et indirectement, la fonctionnalité des milieux, la répartition et la phénologie des espèces ainsi que les activités humaines.

Contrairement aux températures, l’évolution des précipitations présente des **incertitudes importantes**. Cela s’explique par leur **forte variabilité**, aussi bien dans le temps que dans l’espace, et par leur dépendance à des phénomènes atmosphériques non linéaires, susceptibles de générer des événements extrêmes, violents et très localisés. Ces caractéristiques rendent leur **modélisation climatique particulièrement complexe**.

► Cumul des précipitations

Le cumul des précipitations correspond à la **somme des précipitations liquides et solides** pour une période donnée. Il se mesure en hauteur d’eau (en mm).

❖ Evolution récente et projections futures

Depuis 1960, le **cumul annuel de précipitations**, enregistré en région PACA, ne présente **pas de tendance marquée**. Les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité, tant intra- qu’interannuelle. Dans le Luberon, les cumuls annuels enregistrent une légère tendance à la baisse. Les tendances saisonnières sont toutefois plus contrastées, avec une diminution des cumuls en été et en hiver, et une légère augmentation au printemps et en automne (GREC-SUD, 2020).

Concernant les projections futures, il reste difficile d'identifier des tendances nettes concernant l'évolution des précipitations, notamment en raison de divergences entre les résultats des différents modèles climatiques. Pour rappel, les chiffres présentés dans le tableau ci-dessous sont des moyennes, issus de la médiane des modèles climatique proposée directement par DRIAS. Il est donc possible que les précipitations réelles futures présentent des évolutions plus marquées, dans un sens ou l'autre, sans qu'on puisse les prédire plus précisément. Il est en revanche assez certain que **les précipitations resteront très variables** d'une année à l'autre.

Néanmoins, malgré ces incertitudes, la médiane des modèles climatiques fait ressortir quelques tendances. Globalement, **le cumul annuel devrait peu évoluer**. La répartition des précipitations dans l'année pourrait légèrement changer avec une **légère augmentation des précipitations en hiver** et une **légère diminution au cours des autres saisons**, surtout en été. Le pic automnal semble tout de même être conservé.

Tableau 7 - Projections de l'évolution du cumul annuel de précipitations sur la Réserve géologique du Luberon

RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;

Hiver : D, J, F / Printemps : M, A, M / Été : J, J, A / Automne : S, O, N ;

Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	- 9 mm (-1%)	+ 4 mm (+0.5%)	+ 8 mm (+1%)	- 71 mm (-9%)
	Cumul	781 mm	772 mm	785 mm	789 mm	710 mm
HIVER	Ecart à la référence	-	+24 mm (+14%)	+20 mm (+12%)	+34 mm (+20%)	+24 mm (+14%)
	Cumul	169 mm	193 mm	189 mm	203 mm	193 mm
PRINTEMPS	Ecart à la référence	-	-5 mm (-2%)	+4 mm (+2%)	-5 mm (-3%)	-22 mm (-10%)
	Cumul	206 mm	201 mm	210 mm	201 mm	184 mm
ETE	Ecart à la référence	-	-13 mm (-11%)	-25 mm (-20%)	-17 mm (-14%)	-37 mm (-30%)
	Cumul	124 mm	111 mm	99 mm	107 mm	87 mm
AUTOMNE	Ecart à la référence	-	-6 mm (-2%)	-8 mm (-3%)	+2 mm (+1%)	-27 mm (-10%)
	Cumul	282 mm	276 mm	274 mm	284 mm	255 mm

► Nombre de jours de fortes précipitations

On considère de fortes précipitations à partir du moment où les précipitations quotidiennes atteignent ou dépassent 20mm. Cet indicateur fait état du nombre de jours de fortes précipitations enregistrés ou modélisés sur une période donnée.

❖ Evolution récente et projections futures

Le territoire du Luberon a enregistré environ 9 jours de fortes précipitations au cours de l'année sur la période 1976-2005, avec au maximum un jour par mois de septembre à novembre. **Cet indicateur devrait rester assez stable**, avec seulement un jour de plus ou de moins envisagé pour certains mois de l'année. A noter que cet indicateur ne fait pas état d'une éventuelle augmentation du volume d'eau reçu par le

territoire lors de ces journées de forte précipitation. Ainsi, si leur nombre n'évolue pas, leur intensité pourrait évoluer, notamment en hiver, période à laquelle le cumul des précipitations tendrait à augmenter.

► Périodes de sécheresse

L'indicateur période de sécheresse recense le nombre maximum de jours consécutifs, sur une période donnée (mois, saison, année) pour lesquels les précipitations quotidiennes sont inférieures à 1 mm.

❖ Evolution récente et projections futures

Sur la période 1976-2005, la plus longue période de sécheresse de l'année durait 32 jours et se situait plutôt en été.

Selon les projections futures, quel que soit le scénario étudié, un **allongement de quelques jours** des périodes de sécheresses est attendu à toutes les saisons **d'ici la fin du siècle**, en particulier en été. En effet, si les émissions ne sont pas réduites, la médiane des modèles estime que les périodes de sécheresses estivales pourraient atteindre **jusqu'à 33 jours, voire 51 jours** selon certains modèles.

Tableau 8 - Projections de l'évolution de la durée des périodes de sécheresse sur la Réserve géologique du Luberon

RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;

Hiver : D, J, F / Printemps : M, A, M / Été : J, J, A / Automne : S, O, N ;

Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	+ 0 jour	+ 2 jours	+ 2 jours	+ 9 jours
	Jours	32 jours	32 jours	34 jours	34 jours	41 jours
HIVER	Ecart à la référence	-	- 1 jour	- 1 jour	- 2 jours	- 1 jour
	Jours	21 jours	20 jours	20 jours	19 jours	20 jours
PRINTEMPS	Ecart à la référence	-	+ 0 jour	+ 2 jours	+ 2 jours	+ 3 jours
	Jours	17 jours	17 jours	19 jours	19 jours	20 jours
ETE	Ecart à la référence	-	+ 2 jours	+ 3 jours	+ 4 jours	+ 9 jours
	Jours	24 jours	26 jours	27 jours	28 jours	33 jours
AUTOMNE	Ecart à la référence	-	+ 2 jours	+ 1 jour	+ 2 jours	+ 4 jours
	Jours	17 jours	19 jours	18 jours	19 jours	21 jours

AUTRES INDICATEURS

D'autres indicateurs sont également utiles pour comprendre les impacts du changement climatique sur les différentes composantes de la Réserve.

► Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle peut se définir comme la somme de la transpiration du couvert végétal et de l'évaporation théorique du sol. Cet indicateur est un cumul de l'évapotranspiration potentielle sur une période donnée.

Cependant, l'évapotranspiration potentielle est calculée pour une végétation basse (type gazon), elle ne prend pas en compte la variabilité liée au type de sol et de la végétation (FAO, 1998). De plus, du fait qu'elle soit en condition non-limitante, elle a souvent une valeur supérieure à l'évapotranspiration réelle.

❖ Evolution récente et projections futures

Bien que l'évapotranspiration potentielle fluctue selon les saisons, les projections climatiques futures suggèrent que **le cumul de l'évapotranspiration potentielle pourrait augmenter tout au long de l'année**, en particulier au printemps et en été. D'ici la fin du siècle, la médiane des modèles estime que la hausse annuelle pourrait varier de **+8 à +20%** selon le scénario considéré.

Tableau 9 - Projections de l'évolution de l'évapotranspiration potentielle sur la Réserve géologique du Luberon

RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;

Source des données : DRIAS 2020 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	+ 72 mm (+8%)	+ 100 mm (+11%)	+ 72 mm (+8%)	+ 181 mm (+20%)
	Cumul	912 mm	984 mm	1012 mm	984 mm	1093 mm

► Sensibilité aux feux de forêt

L'Indice Feu Météorologique (IFM) caractérise la propension d'un feu de forêt à éclore et se propager sous l'influence des conditions météorologiques. Il est calculé à partir de données météorologiques telles que la température, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et le cumul de précipitations. Ces données alimentent un modèle numérique qui simule l'état hydrique de la végétation et le danger météorologique quotidien d'incendie qui en découle. De nombreuses études ont montré une corrélation claire entre l'IFM moyen et le nombre de départs de feu.

Plusieurs seuils ont été définis pour l'IFM afin de qualifier le risque incendie. Dans la littérature, le seuil de 20 est fréquemment utilisé. Il correspond au seuil pour lequel la sensibilité de la végétation vivante aux feux de forêt est « modérée », mais où la probabilité de départ d'un incendie est non négligeable (Chatry et al., 2010; ORCAE, 2024).

Pour les projections futures, l'indicateur analysé est le nombre de jours où l'IFM à 12h est supérieur ou égal à 20 pour 3 saisons (printemps, été, automne). Il n'y a pas de données disponibles pour l'hiver car il est considéré qu'il n'y a pas de feux de forêts à cette saison.

❖ Evolution récente et projections futures

L'IFM n'étant pas disponible pour la période passée, la base de données sur les incendies de forêt de France (BDIFF) a été utilisée. Elle permet de connaître le nombre de feux recensés ainsi que la surface parcourue par le feu sur la zone géographique sélectionnée.

Sur les communes concernées par la Réserve et son périmètre de protection, des données sont disponibles de 1973 à 2023 et semblent relativement bien renseignées même si quelques manques peuvent persister. Ainsi, 787 incendies ont été recensés entre 1973 et 2023 soit environ 16 feux par an. Les années 1990 et 2003 et 2022 ont été les plus marquantes avec respectivement 403 ha, 198 ha et 240 ha parcourus par le feu.

Dans la BDIFF, la nature du départ des feux est renseignée pour seulement 329 incendies, ce qui signifie que 60% des causes de départ ne sont pas connues. Selon les données disponibles, la majorité des incendies

sont de nature involontaire (travaux ou particuliers). Les actes de malveillance et les causes accidentelles arrivent respectivement en deuxième et troisième position.

Dans la maille SAFRAN sélectionnée pour les analyses, il existe un risque réel de déclenchement d'un feu pendant 77 jours par an au cours de la période de référence (1976-2005). L'été est la saison la plus à risque avec 55 jours lors desquels l'IFM est supérieur ou égal à 20. Les projections prévoient une **augmentation du risque incendie de l'ordre de +22 à +25 jours d'ici 2050 et de +21 à +46 jours d'ici 2100** par rapport à la période de référence.

Tableau 10 - Projections de l'évolution de l'IFM sur la Réserve géologique du Luberon

RCP 4.5 : scénario d'émissions modérées / RCP 8.5 : scénario d'émissions non réduites ;

Source des données : DRIAS 2022 – médiane des modèles

		Période de référence (1976-2005)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
ANNEE	Ecart à la référence	-	+ 22 jours	+ 25 jours	+ 21 jours	+ 46 jours
	Nombre de jours où l'IFM ≥ 20	77 jours	99 jours	102 jours	98 jours	123 jours

4. Synthèse

Les projections climatiques futures convergent vers une poursuite du réchauffement global jusqu'à la fin du siècle, avec une intensité variable selon le scénario d'émissions considéré. Si les émissions ne sont pas réduites, une hausse des températures moyennes de l'ordre de **+2.2°C est attendue d'ici 2050**, pouvant atteindre **+4.4°C d'ici 2100**. **Les étés connaîtront un réchauffement particulièrement prononcé**, avec des températures moyennes estivales pouvant dépasser de plus de 7°C les moyennes actuelles. Les températures minimales et maximales suivront une tendance similaire.

Certains phénomènes comme **les vagues de chaleur devraient voir leur fréquence et leur durée rallongée**, quelle que soit la saison. Les **journées de forte chaleur verront également leur nombre augmenter**, en particulier en été. De plus, **le nombre de jours de gel devrait fortement diminuer sur l'ensemble de la période hivernale**. En effet, d'ici la fin du siècle, il n'y aurait plus de jours de dégel en novembre, mars et avril, et seuls quelques jours persisteraient pour les mois de décembre à février. Néanmoins, ces projections n'excluent pas la possibilité d'épisodes de gel tardif qui pourraient grandement impacter la végétation.

Concernant les précipitations, les projections demeurent plus incertaines en raison des divergences entre les modèles climatiques liées à une **grande variabilité interannuelle**, ce qui rend difficile l'identification de tendances nettes. Néanmoins, certaines tendances semblent tout de même se dessiner. Bien que le cumul annuel devrait peu évoluer, **le cumul hivernal pourrait légèrement augmenter tandis qu'une diminution aurait tendance à se produire au printemps, en été et en automne**. Toutefois, en raison des fortes températures, des périodes de sécheresse prolongées et d'une évapotranspiration accrue, ces précipitations pourraient ne pas être suffisamment efficaces pour compenser le déficit hydrique.

Enfin, la hausse des températures et des périodes de **sécheresse augmentera le nombre de jours présentant un risque avéré de départ d'incendie**, en particulier en été. Ces aléas pourraient ainsi devenir plus fréquents et plus intenses au fil des années.

En résumé, ces projections suggèrent une évolution du climat vers des **étés encore plus secs et intenses**, et des **hivers plus doux**. Les mois de mai et septembre connaîtront une évolution similaire à celle de l'été, ce qui suggère un décalage des saisons actuelles : une **saison estivale plus précoce et plus étendue, un printemps qui débiterait plus tôt et un démarrage de l'automne plus tardif**.

Tableau 11. Synthèse climatique de la réserve géologique du Luberon

Tendances générales	Période de référence DRIAS (1975-2006)	Horizon moyen (2041-2070)		Horizon lointain (2071-2100)	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
<p>↗ des températures moyennes, minimales et maximales. Hausse plus importante en été. Délimitation entre saisons moins nette et allongement de la période estivale.</p> <p>↗ de la durée des vagues de chaleur* et hausse de la fréquence des évènements.</p> <p>↗ du nombre de jours de forte chaleur**, principalement en été.</p> <p>↘ du nombre de jours de gel Probablement plus de gel en novembre, mars et avril ; Seuls quelques jours restant de décembre à février.</p>	Température moyenne annuelle : 12.4°C	Annuelle : +1.8° C Jusqu'à +3.5°C en été	Annuelle : +2.4°C Jusqu'à +4.5°C en été	Annuelle : +2.2°C Jusqu'à +4°C en été	Annuelle : +4.4°C Jusqu'à +7°C en été
	Mêmes tendances pour les moyennes, les minimales et les maximales				
	6 jours consécutifs en été	+10 jours en été	+15 jours en été	+14 jours en été	+39 jours en été
	1 jour par an	+6 jours	+11 jours	+8 jours	+31 jours
<p>Forte variabilité interannuelle mais : ↘ du cumul de précipitations au printemps, en automne et en particulier en été. ↗ du cumul de précipitations en hiver.</p> <p>Pas de variation du nombre de jours de fortes précipitations***</p> <p>↗ de la durée des périodes de sécheresse, notamment au printemps et en été.</p>	781 mm par an	-1% (-9 mm)	+0.5% (+4 mm)	+1% (+8 mm)	-9% (-71 mm)
	Fortes incertitudes concernant les précipitations				
	13 jours par an	+1 jour	+1 jour	+1 jour	=
Maximum 32 jours consécutifs par an	+0 jour	+2 jours	+2 jours	+9 jours	
<p>↗ du cumul d'évapotranspiration, notamment au printemps et en été.</p>	912 mm par an	+8% (+72 mm)	+11% (+100 mm)	+8% (+72 mm)	+20% (+181 mm)
<p>↗ de la sensibilité aux feux de forêt****, en particulier en été.</p>	77 jours à risque par an	+22 jours	+25 jours	+21 jours	+46 jours

* Période de plus de 5 jours consécutifs lors desquels la température est supérieure de 5°C à la température maximale de référence

** Température maximale enregistrée sur une journée (nuit exclue) > 35°C.

*** Précipitations quotidiennes ≥ 20mm

**** Indice Feu Météo ≥ 20

IV. Analyse de vulnérabilité

1. Sélection des objets d'analyse

L'ensemble des éléments composant le site du Luberon ne peut pas être étudié de manière exhaustive dans le cadre de cette démarche. En effet, celle-ci ne constitue pas un projet de recherche complet sur les impacts du changement climatique, mais un cheminement vers une gestion adaptative ; il s'agit d'initier un processus de réflexion continue chez le gestionnaire, fondé sur une vision prospective intégrant les enjeux liés au changement climatique.

Ainsi, la démarche Natur'Adapt propose de sélectionner un nombre restreint d'éléments du site, appelés « objets » et appartenant à 3 catégories : le **patrimoine naturel**, les **outils et moyens de gestion** et les **activités socio-économiques**.

Les objets du patrimoine naturel et des moyens de gestion forment une liste d'éléments d'intérêt issue d'une réflexion sur les enjeux et la gestion du site. Les activités socio-économiques sur et autour du site peuvent être en lien avec le patrimoine ou la gestion et/ou représenter des pressions pour l'espace naturel.

Une analyse est ensuite menée sur ces différentes composantes pour déterminer leur évolution potentielle, en particulier sous l'effet du changement climatique. Ces dernières peuvent interagir entre elles et sont donc analysées de manière croisée. Les résultats permettront de nourrir le récit prospectif du site.

CRITÈRES DE SÉLECTION

Les objets d'analyse sélectionnés correspondent aux éléments les plus représentatifs et/ou structurants de chaque composante mais aussi à des éléments emblématiques parlants pour les acteurs du territoire.

► *Patrimoine naturel*

Les objets du patrimoine naturel correspondent aux éléments les plus représentatifs ou emblématiques de la Réserve naturelle, présentant un enjeu important ou relevant d'une forte responsabilité pour la structure gestionnaire. Pour la Réserve naturelle géologique du Luberon, le choix des objets d'analyse du patrimoine naturel est basé sur les enjeux identifiés dans le plan de gestion de la Réserve. Il a été choisi de travailler sur différents objets géologiques de la Réserve et sur certains cortèges d'espèces.

► *Outils et moyens de gestion*

Les outils et moyens de gestion sont l'ensemble des actions et moyens permettant la gestion de l'espace naturel. La sélection porte sur ce qui occupe une grande partie du temps du gestionnaire (comme les suivis scientifiques), et ce qui est indispensable à la gestion du site (comme l'ancrage territorial).

► *Activités socio-économiques*

Les activités socio-économiques sélectionnées sont celles ayant lieu sur le territoire du Luberon et pouvant exercer une influence sur les différents patrimoines de la Réserve.

OBJETS D'ANALYSE SÉLECTIONNÉS

Au total, 18 objets d'analyse ont été sélectionnés et sont présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12. Objets d'analyse sélectionnés pour chaque composante de la Réserve naturelle géologique du Luberon

Nom de l'objet	Description/Justification
Patrimoine naturel	
calcaires en plaquettes oligocènes	Sur les 28 sites classés, 17 sont situés dans la formation des calcaires en plaquettes oligocènes dit de « Campagne-Calavon ». Le contenu paléontologique y est très riche et diversifié. Les fossiles de vertébrés, de végétaux et d'insectes y sont très nombreux et bien conservés, donnant une grande valeur scientifique à la Réserve.
Affleurements de surface en dalles à ichnites	La Réserve et le territoire du Parc accueillent plusieurs dalles à empreintes de pas de mammifères et d'oiseaux. Ces dernières sont particulièrement rares à l'échelle de la planète et présentent un grand intérêt scientifique. Elles se situent parfois en contexte argileux.
Ensemble des affleurements des marnes de l'Aptien des gisements à vertébrés continentaux	Les marnes grises ont servi de référence à la création de l'étage Aptien encore identifié à ce jour dans les étages de l'échelle internationale des temps géologiques. La conservation de ces derniers affleurements est un enjeu très important vu ce qu'ils représentent au niveau international. Ces affleurements abritent une exceptionnelle richesse en vertébrés continentaux fossilisés. Les gisements à vertébrés continentaux sont particulièrement rares et présentent un intérêt scientifique majeur.
Contenu paléontologique des gisements à invertébrés marins et terriers fossiles	Un certain nombre de sites à invertébrés marins existent sur le territoire dont certains sont remarquables. C'est le cas de trois des 28 sites de la RN, classée pour leur rareté, à savoir Régalon (gisement pliocène marin), Caramone (gisement dans la formation des marnes marines tortoniennes dite de Cabrières d'Aigues) et le Vallon (gisement marin Burdigalien). Le vallon de Reillanne abrite également des terriers fossiles sur molasses.
Massif des ocres	Le massif des ocres et plus spécifiquement le Colorado provençal constituent un enjeu géologique de première importance reconnu comme tel au titre du Géoparc mondial de l'UNESCO. Ils constituent un élément d'intérêt paysager et touristique.
Espèces floristiques à enjeu des marnes	Notamment le Sainfoin humble d'Europe (<i>Hedysarum boveanum europaeum</i>) et le Chou allongé à feuilles entières (<i>Brassica elongata subsp. integrifolia</i>)
Outils et moyens de gestion	
Gestion du patrimoine géologique	Des fouilles sont régulièrement conduites sur les différents gisements de la Réserve, sous l'impulsion de la Réserve ou, plus souvent, de chercheurs extérieurs.
Sites pédagogiques de découvertes (géosites)	La Réserve dispose d'un financement dédié à l'éducation aux enjeux géologiques. Cet axe consiste en des aménagements (sentiers de découverte), des animations et au développement d'outils pédagogiques comme la carte géo-touristique (portée avec le Géoparc).
Gestion de l'avancée du couvert forestier	Les objectifs actuels de gestion tendent vers une limitation de la progression du couvert dans les zones où elle entre en concurrence directe avec des milieux ouverts à enjeux écologiques ou dans les pentes des affleurements de l'Aptien.
Activités humaines	
Fréquentation	La Réserve, et le Parc qui l'abrite, constituent un point d'intérêt. E fonction des sites la fréquentation peut-être à dominante locale (marne de la Tuilière) ou touristiques (Colorado). L'activité de randonnée est celle qui domine même si des vététistes sont également rencontrés.

2. Méthodologie d'analyse

ANALYSE DÉTAILLÉE DU PATRIMOINE NATUREL

Diagnostic prospectif de vulnérabilité et d'opportunité au changement climatique
Réserve naturelle géologique du Luberon

► **Analyse par questionnaire**

La méthodologie Natur'Adapt propose d'évaluer la vulnérabilité des objets du patrimoine naturel de l'aire protégée pour imaginer son évolution dans le futur en contexte de changement climatique. Analyser la vulnérabilité ou les opportunités consiste à apprécier **la sensibilité, l'exposition et la capacité d'adaptation** de chaque élément considéré, ainsi que les facteurs d'influence et leur évolution. Pour faciliter la démarche, la méthodologie Natur'Adapt propose un cheminement via un ensemble de questionnements.

La sensibilité est « la propension intrinsèque d'un système humain ou naturel à être affecté favorablement ou défavorablement par des variations climatiques (et leurs conséquences physiques) » (COUDURIER *et al.*, 2023).

→ *Quels sont les paramètres climatiques qui affectent l'objet considéré, positivement ou négativement ? A quel point peut-il être affecté ?*

L'exposition correspond à « la nature, au degré, et à la fréquence des variations climatiques (et leurs conséquences physiques) susceptibles d'être subies par les systèmes humains ou naturels » (COUDURIER *et al.*, 2023).

→ *Comment pourraient évoluer ces paramètres dans le futur ? Cette évolution serait-elle favorable ou défavorable à l'objet considéré ?*

La capacité d'adaptation est la « qualité intrinsèque qui permet à un système humain ou naturel de réduire les effets négatifs et/ou tirer parti des effets positifs du changement climatique » (COUDURIER *et al.*, 2023).

→ *L'objet considéré est-il capable de s'adapter aux variations climatiques et à leurs effets ? A quel point ?*

Les informations sur la sensibilité, l'exposition et la capacité d'adaptation au changement climatique sont complétées par les **facteurs non climatiques** pouvant représenter des pressions ou influencer la vulnérabilité au changement climatique.

→ *Quels sont les facteurs extérieurs pouvant limiter ou favoriser la vulnérabilité de l'élément, et quelles pourraient être leurs évolutions futures ?*

Le cheminement par questions autour de ces caractéristiques permet de comprendre l'influence du changement climatique sur le patrimoine naturel, d'apprécier le degré de vulnérabilité/opportunité face au changement climatique et d'identifier l'existence ou non de leviers pour l'adaptation.

► **Ressources utilisées**

Pour analyser la vulnérabilité du patrimoine naturel au changement climatique, des recherches bibliographiques ont été menées sur chaque composante, et croisées avec les connaissances de l'équipe gestionnaire et/ou d'experts de certaines thématiques. **Laurent Michel**, botaniste du Parc naturel régional du Luberon et **Thierry Tortosa**, conservateur de la Réserve géologique de la Saint Victoire, associés dans le cadre de la démarche, ont également apporté des éléments utiles à l'analyse.

► **Grille d'évaluation**

Une fois les informations récoltées, leur croisement dans le tableau suivant (proposé dans le guide Natur'Adapt) permet de donner une idée du degré de vulnérabilité ou d'opportunité au changement climatique pour chaque objet. Le choix de l'appréciation reste subjectif et est le reflet du point de vue du gestionnaire au moment de l'analyse.

Dans certains cas, le niveau de vulnérabilité ou d'opportunité n'a pas pu être déterminé et est alors indiqué comme « **incertain** ». Ce résultat traduit généralement de fortes incertitudes, notamment liées aux projections climatiques mais aussi des lacunes de connaissances concernant les effets directs et indirects

du changement climatique sur l'objet concerné. Un résultat incertain ne doit pas être confondu avec un niveau « neutre », qui signifie que l'objet étudié devrait être peu affecté par le changement climatique.

Enfin, il convient de rappeler que l'évaluation présentée est propre au site considéré et ne peut pas être généralisée à des contextes différents.

Tableau 13. Grille d'évaluation de la vulnérabilité des objets du patrimoine naturel au changement climatique

Sensibilité	Exposition	Capacité d'adaptation			
		Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Forte	Défavorable	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne
Moyenne		Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible
Faible		Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible	Vulnérabilité faible
Forte ou Moyenne ou Faible	Neutre ou incertaine	Neutre ou incertain			
Faible	Favorable	Opportunité faible	Opportunité faible	Opportunité moyenne	Opportunité forte
Moyenne		Opportunité faible	Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte
Forte		Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte	Opportunité très forte

ATTENTION !

Ne pas confondre :

- **La vulnérabilité ou l'opportunité attribuée à chaque objet**, qui découle de ses caractéristiques propres, et reflète sa position face au changement climatique.
 - Ex : le changement climatique peut constituer une opportunité pour le sanglier en facilitant sa recherche de ressource alimentaire sur certains territoire.
- **L'intérêt ou l'inconvénient que peut représenter ce résultat pour le gestionnaire.**
 - Ex : le développement des populations de sanglier peut constituer une pression pour le gestionnaire qui va devoir adapter sa gestion.

ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES ACTIVITÉS SOCIO-ÉCONOMIQUES

L'analyse des activités socio-économiques ayant lieu dans et autour de la Réserve naturelle a consisté à envisager leurs évolutions potentielles, en particulier celles liées au changement climatique. Ces réflexions visent notamment à analyser leur impact potentiel sur le patrimoine naturel et les outils et moyens de gestion.

L'analyse des activités socio-économiques a été réalisée à dire d'expert à partir **des connaissances du gestionnaire**. Des recherches bibliographiques complémentaires ont également alimenté la réflexion.

ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES OUTILS ET MOYENS DE GESTION

Pour cette composante, il s'agit de se projeter sur les potentiels effets de l'évolution du climat et des activités humaines sur les outils et moyens de gestion mis en place sur la Réserve. Ces réflexions permettent notamment d'analyser si la gestion actuelle est adaptée au contexte du changement climatique.

L'analyse de la vulnérabilité des outils et moyens de gestion a été réalisée en grande partie à dire d'experts, à savoir **l'équipe gestionnaire** de la Réserve.

3. Facteurs extérieurs

DESCRIPTION DES FACTEURS EXTÉRIEURS

Les facteurs extérieurs regroupent l'ensemble des activités humaines ou des facteurs naturels exerçant un effet direct ou indirect sur les objets analysés, et susceptibles d'en influencer l'évolution. Les facteurs pris en compte dans l'analyse de vulnérabilité des objets du patrimoine naturel sont listés et décrits dans les paragraphes suivants. Ces derniers correspondent aux éléments prépondérants identifiés lors de la réflexion mais la liste reste **non exhaustive**.

Il convient de noter que plusieurs activités socio-économiques ou moyens de gestion analysés dans les parties dédiées ci-après sont eux-mêmes des facteurs de pression non climatiques pour d'autres composantes (notamment du patrimoine naturel). C'est notamment le cas de la fréquentation (activité humaine), dont les impacts peuvent être significatifs sur certains sites sensibles, comme les affleurements marneux.

► *Incendies*

Le territoire du Luberon, caractérisé par un climat sec et une fréquentation importante, est exposé à un risque incendie susceptible de s'accroître avec l'augmentation des températures et la fréquence des périodes de sécheresse.

Aucun incendie n'a été recensé à ce jour sur la Réserve, mais le risque demeure réel. Les feux peuvent également représenter une menace indirecte pour le patrimoine fossilifère : la disparition du couvert végétal, qui joue un rôle de stabilisation des sols, pourrait accentuer le ruissellement et favoriser le lessivage de gisements paléontologiques.

► *Risque naturel pour le patrimoine bâti*

Certaines constructions situées à proximité immédiate de la Réserve reposent sur des terrains composés d'**argiles gonflantes**, dont le volume varie selon l'humidité du sol : elles se dilatent en période humide et se rétractent en période sèche.

Cette plasticité des sols pourrait engendrer, à l'avenir, des dégradations accrues sur le bâti sous l'effet conjugué de sécheresses plus marquées et d'épisodes pluvieux intenses.

La Réserve ne dispose que de peu de leviers d'action face à ce phénomène, mais peut jouer un rôle de **veille et d'alerte** auprès des acteurs concernés.

► *Moyens techniques et humains*

Plusieurs composantes, en particulier les outils et moyen de gestion, peuvent être impactés par le climat mais sont surtout dépendants des moyens techniques et humains permettant leur mise en œuvre. Ces moyens dépendent principalement des choix du gestionnaire, de ses financeurs et d'autres instances décisionnaires. Leur évolution est donc inconnue.

SYNTHÈSE

Tableau 14. Synthèse des évolutions récentes et attendues des facteurs extérieurs

Facteurs	Évolution récente	Évolution future possible
Incendies	→	→ ou ↗
Risque naturel pour le patrimoine bâti	→	↗
Moyens techniques et humains	→	?

4. Résultats de l'analyse de vulnérabilité

Les résultats de l'analyse des effets du changement climatique sur les différents objets sont présentés ci-dessous pour chaque composante. Il est toutefois important de noter que cette analyse est indicative et est réalisée à partir des connaissances disponibles au moment de la rédaction du document. Les différents niveaux de vulnérabilité attribués pour le patrimoine naturel restent subjectifs et permettent notamment une première hiérarchisation des objets pour tenter de définir les priorités d'actions dans le plan d'adaptation. Le classement et les réflexions pourront être amenés à évoluer dans le futur à mesure que les connaissances se développent sur la Réserve et au sein de la sphère scientifique.

VULNÉRABILITÉ ET OPPORTUNITÉ DES OBJETS DU PATRIMOINE NATUREL

► Calcaires en plaquettes oligocènes

VULNÉRABILITÉ INCERTAINE

Les calcaires en plaquettes (Lagerstätten lacustres) renferment une **diversité remarquable** de fossiles (vertébrés, végétaux, insectes), constituant une **valeur scientifique majeure** pour la Réserve.

Du fait de leur structure physique, les calcaires en plaquettes présentent une forte sensibilité à l'érosion. En effet, ils ont une **forte tendance à se fragmenter, sous l'effet du gel** principalement, en petits débris de roche rapidement emportés par les pluies.

Localement, le changement climatique, **en réduisant le nombre de jour de gel** de moitié d'ici 2050 (voire 2100, selon les scénarios), pourrait limiter ce phénomène et ainsi **réduire le rythme de dégradation naturelle** de ces éléments. Cependant, ce **phénomène pourrait être contrebalancé** par une **augmentation de l'intensité des fortes précipitations et, par conséquent, du ravinement**. Les projections concernant ce second élément restant très incertaines, il apparaît difficile aujourd'hui de conclure clairement.

La dynamique naturelle des milieux se développant sur ces calcaires tend globalement à la fermeture. Cette tendance pourrait se renforcer localement sous l'effet du changement climatique. Or, **le développement d'un couvert forestier** sur les calcaires en plaquettes est un **facteur de stabilisation du sol favorable** au maintien de leur contenu paléontologique. Là encore, le bénéfice de ce phénomène est à questionner au regard de l'impact que pourrait avoir le développement racinaire en termes de destruction des fossiles.

► Affleurements de surface en dalles à ichnites

VULNÉRABILITÉ TRÈS FORTE

Cette entité regroupe des **dalles à empreintes fossiles de mammifères** (Saignon, Viens Caseneuve, Apt, Manosque, Montjustin, Revest-Saint-Martin) et des **dalles à terriers fossiles** du vallon à Reillanne (04). Ce vallon abrite sur son plateau sommital une dalle portant des empreintes en forme de U, traces de terriers fossiles mises à jour par l'érosion.

Les dalles à empreintes de pas de mammifères constituent des trésors paléontologiques. Étant donné la rareté de ce type de formations à l'échelle mondiale, le territoire de la Réserve et ses alentours, avec 11

sites connus, constitue un enjeu international. Au-delà de leur intérêt scientifique, les dalles à empreintes sont un témoignage de la présence de ces animaux et, à ce titre, un support exceptionnel de pédagogie.

Depuis la découverte et la mise à nu de ces différentes dalles, **les effets de l'érosion générés par les conditions climatiques ont déjà été constatés**. L'étude menée par le laboratoire d'étude et de recherches sur les matériaux entre 1996 et 1997 a confirmé l'action des éléments climatiques, **vent, pluie, soleil et fortes amplitudes thermiques comme facteurs de détérioration des dalles**. Les précipitations et le ruissellement ont un effet plus ou moins marqué en fonction de l'inclinaison des dalles. La vulnérabilité à l'érosion est accentuée par le transfert de matériaux déplacés par le ruissellement (gravillons). **Le gel a également un effet sur les dalles les plus fissurées**, notamment celle de Saignon. Les précipitations, le gel et les fortes amplitudes thermiques participent à la disparition de détails sur les empreintes et les terriers.

Dans le cas d'un renforcement de l'intensité des précipitations (moins fréquentes mais potentiellement plus intenses) et de l'accentuation des amplitudes thermiques au cours de la journée, sous l'effet des changements climatiques, **la dégradation des dalles pourrait être accélérée**. Le bénéfice de la réduction du nombre de jour de gel est inconnu.

Historiquement, des prélèvements ont pu être constatés mais ce phénomène n'a plus été observé depuis le classement en RNN. La fréquentation a un impact limité sur les sites (bâtons de marche et piétinement à limiter). Les modifications de la fréquentation (période, horaires, reports sur site ombragés...) ne devraient affecter que marginalement les dalles qui se situent, pour les plus saisissantes, sur des sites très accessibles mais dans des zones découvertes, exposées aux fortes chaleurs, peu attractive sur les périodes estivales.

► ***Ensemble des affleurements des marnes de l'Aptien des gisements à vertébrés continentaux***

VULNÉRABILITÉ TRÈS FORTE

Les affleurements marneux considérés sont d'une part les marnes de l'Aptien et d'autre part les marnes oligocènes à vertébrés d'Aubenas-les-Alpes (marnes de Viens).

Les affleurements de l'Aptien sont caractérisés par des marnes grises fossilifères situées entre Gordes et Simiane-la-Rotonde. Ces marnes constituent la référence historique internationale de l'étage Aptien (stratotype).

La formation des Marnes de Viens, à Aubenas-les-Alpes, notamment aux sites du Plan et des Ribasses, livrent une faune fossile exceptionnelle datant de l'Oligocène (environ 28 millions d'années). Elles conservent les restes de mammifères, reptiles, amphibien... Ces dépôts constituent une référence européenne pour l'étude de l'évolution des mammifères après l'Éocène.

Du fait de leur nature et de leur exposition, les marnes sont particulièrement sensibles au ruissellement qui génère un ravinement et par endroits, la formation de reliefs dits en « dos d'éléphant », comme dans les marnes aptiennes. L'érosion par les pluies conduit au dégagement des fossiles conservés dans la roche et à leur exposition aux intempéries, ce qui en accélère leur dégradation. Ce phénomène est d'autant plus fort pour les fossiles pyriteux qui s'oxydent à l'air libre.

Sous l'effet du changement climatique, **l'érosion pourrait se renforcer** selon deux procédés :

- Éventuelle **intensification des pluies** notamment en hiver ;

- **Accentuation et allongement des périodes de sécheresse** : les marnes asséchées en profondeur se craquellent et deviennent plus vulnérables à l'érosion naturelle (pluie, ruissellement, gel) ou anthropique.

Une accentuation de l'érosion sous l'effet de longues périodes de sécheresse et d'intenses pluies, auraient un effet notable sur la préservation des fossiles, tout particulièrement les fossiles pyriteux de l'Aptien.

► **Massif des ocre** – zoom sur le **Colorado provençal**

VULNÉRABILITÉ TRÈS FORTE

Le Colorado provençal, à Rustrel, se situe en dehors de la Réserve naturelle mais est limitrophe du périmètre de protection de la Réserve naturelle et est située dans le Géoparc. Au-delà de son intérêt géologique, il constitue un patrimoine paysager exceptionnel protégé comme site classé et engagé dans une Opération Grand Site de France. Roches issues de dépôts sédimentaires du Crétacé altérés sous climat tropical humide, les sables ocreux et l'ensemble du profil d'altération associés, offrent un paysage lié à l'exploitation du minerai et à l'érosion naturelle.

Sa nature sableuse en fait un **substrat fortement soumis aux effets de l'érosion**. Le ruissellement des eaux de pluie emporte des matériaux et creuse des sillons. Le gel génère quant à lui des phénomènes d'effondrements de pans entiers de parois.

Le vent pourrait potentiellement jouer un rôle dans l'érosion du massif.

Tout autant que les marnes, les sables ocreux sont particulièrement vulnérables. Toute modification du climat, même réduite, est donc susceptible d'accentuer les phénomènes d'érosion.

Le site constitue un point d'attrait touristique majeur. Des mesures de régulation de la fréquentation ont déjà été mises en place pour limiter le nombre de visiteurs les matinées en période touristique et éviter l'érosion dans certains secteurs. L'augmentation des températures pourrait limiter la fréquentation par le public à certaines heures de la journée et dans les saisons les plus chaude (tendance déjà observée).

► **Contenu paléontologique des gisements à invertébrés marins**

VULNÉRABILITÉ NEUTRE

Le canyon du Régalon, sur la commune de Cheval-Blanc, abrite des gisements d'invertébrés marins fossiles conservés dans des cavités naturelles.

Formés il y a environ 5,33 millions d'années, lors de la réouverture du détroit de Gibraltar, ces dépôts sableux fossilifères témoignent de la remontée puis du retrait des eaux marines jusque dans cet affluent de la Durance.

Le substrat sableux, bien que sensible à l'érosion, est ici protégé par la position abritée des grottes, non traversées par des circulations d'eau souterraine et à l'abri du soleil.

Le site, généralement ouvert au public, n'est fermé qu'en cas d'éboulement — comme actuellement. L'accès direct aux affleurements est limité par des barrières, et la communication volontairement réduite autour de ce lieu majestueux et ombragé contribue à en préserver l'intégrité. Ainsi, les conditions de conservation restent stables et la vulnérabilité de ces gisements demeure faible.

► **Espèces floristiques à enjeu des marnes**

OPPORTUNITÉ FAIBLE

Les **marnes aptiennes** accueillent une **flore caractéristique**, adaptée à la mobilité du substrat et à l'alternance de périodes d'engorgement temporaire et de forte sécheresse. Ces milieux instables abritent plusieurs **espèces végétales d'intérêt patrimonial**, dont le **Sainfoin humble d'Europe** (*Hedysarum boveanum* subsp. *europaeum*). À proximité, d'autres terrains, oligocènes, abritent le **Chou allongé à feuilles entières** (*Brassica elongata* subsp. *integrifolia*).

Le Sainfoin humble d'Europe

Le Sainfoin humble d'Europe se situe en limite nord de son aire de répartition. Il est présent en Afrique du Nord dans des conditions de sécheresse et de températures plus marquées. Dans le Luberon, il se développe, dans la Réserve, principalement sur les pentes marneuses où il se maintient grâce à un système racinaire très développé qui lui permet de s'ancrer sur milieu instable et sur pente. Dans ces pentes, il subit peu la compétition d'autres végétaux. En effet, le développement d'essences forestières depuis l'abandon des pratiques pastorales reste cantonné principalement sur les zones de replat. Même sur ces zones, des observations de dépérissements de jeunes individus sous l'effet de sécheresse laisse penser que le changement climatique pourrait localement freiner le phénomène. La question pourrait se poser de l'expansion du Sainfoin humble d'Europe, sur les marges de replat où la forêt régresserait.

Le Chou allongé à feuilles entières

Le Chou allongé à feuilles entières se développe également sur sol marneux et gypseux. Seules deux stations sont connues en France. Il s'agit d'une plante vivace adaptée à l'alternance d'hivers humides et d'été secs. C'est une espèce un peu énigmatique, de répartition méditerranéenne et asiatique, mais dont les stations connues sont rarissimes (peut-être relictuelle de climats passés).

Effets du changement climatique

Il apparait ici d'autant plus important de suivre les effets du changement climatique qui pourraient être accentué sur ces substrat très sombres sur lesquels le rayonnement solaire est amplifié.

Pour le Sainfoin humble d'Europe, **le changement climatique pourrait constituer une opportunité**. En effet, les tendances climatiques pourraient évoluer vers des **conditions proches de celles que l'on retrouve dans des zones géographiques où il s'exprime et présente des populations en bon état de conservation** (Afrique du nord, Espagne). La situation est beaucoup plus incertaine pour le Chou allongé à feuilles entières, d'autant que la station du bassin d'Apt est déjà très réduite en nombre de pieds.

On ne connaît cependant pas les effets que la couleur très sombre du substrat pourrait avoir en termes d'accentuation des rayonnements solaires et donc sur la température au niveau du sol. **L'allongement des périodes de sécheresse**, s'il est trop important **pourrait également devenir limitant**.

A l'inverse, **la diminution**, sous l'effet du changement climatique, **de la concurrence** sur les marges de présence de ces espèces pourrait permettre une expansion.

► Synthèse

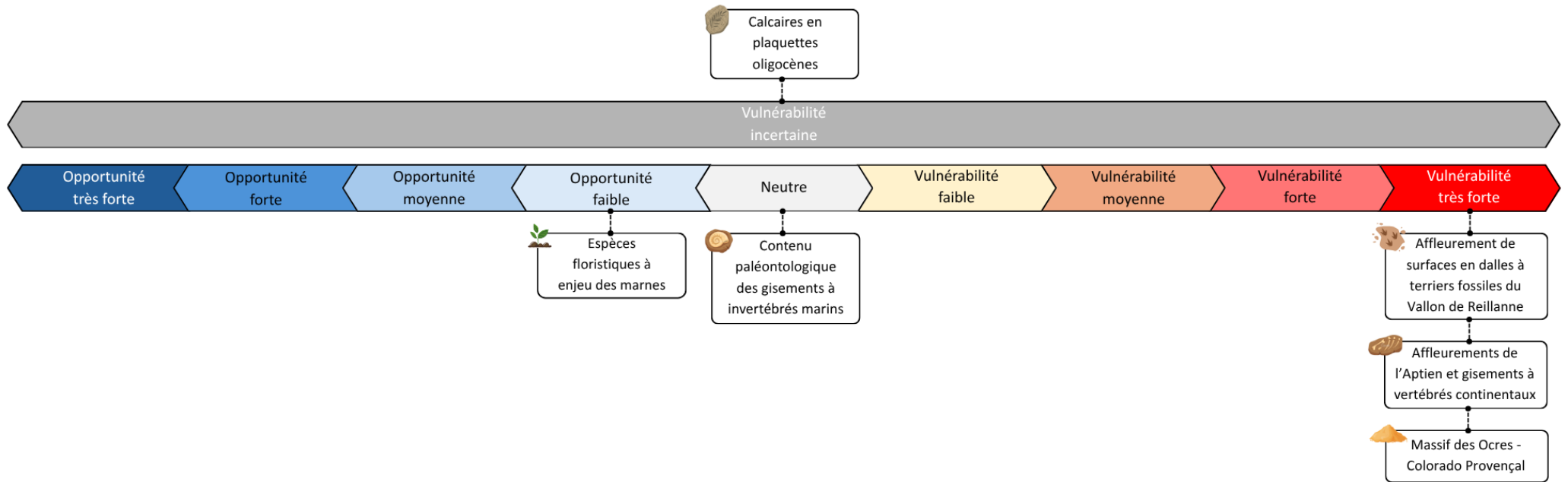


Figure 5. Schéma synthétique des résultats de l'analyse de vulnérabilité et d'opportunité au changement climatique des objets du patrimoine naturel

EVOLUTIONS POTENTIELLES DES ACTIVITÉS SOCIO-ÉCONOMIQUES

► *Fréquentation*

La Réserve s'inscrit au sein du Parc naturel régional du Luberon. Depuis plus de 20 ans, celui-ci développe une politique forte de promotion d'un tourisme durable, conciliant accueil du public et préservation des milieux. Le développement du géo-tourisme en est l'un des axes majeurs, s'appuyant sur la richesse géologique exceptionnelle du territoire. Ainsi, les dalles à empreintes de mammifères, les gorges du Régalon ou encore le Massif des Ogres constituent des points d'intérêt emblématiques, fréquentés par un public nombreux, parfois très important. Le Colorado provençal, par exemple, a accueilli environ 240 000 visiteurs en 2022, illustrant l'attractivité croissante du patrimoine géologique du Luberon.

Sur ce site, comme sur d'autres espaces naturels du Parc, **les effets de l'augmentation des températures sur la fréquentation sont déjà perceptibles**. Les visiteurs recherchent davantage les lieux ombragés ou rafraîchissants : la fréquentation dans les gorges du Régalon, ombragées, est plus importante en période de forte chaleur, alors que d'autres sites sont délaissés. Cette évolution traduit une adaptation progressive des comportements touristiques au changement climatique.

À l'avenir, **les chaleurs estivales, plus intenses, attendues risquent de dissuader une partie des visiteurs**, tandis que des hivers plus doux et des intersaisons plus clémentes pourraient, à l'inverse, encourager une **fréquentation accrue au printemps et à l'automne**. Les visiteurs adapteront probablement leurs horaires, privilégiant les moments les plus frais de la journée, tôt le matin ou en fin d'après-midi, comme cela est déjà observé. Ces nouveaux rythmes d'usage coïncident toutefois souvent avec les périodes d'activité de la faune, ce qui pourrait accentuer les risques de dérangement, notamment pour certaines espèces sensibles.

Par ailleurs, **l'augmentation du risque incendie** et la multiplication des périodes de sécheresse pourraient entraîner des fermetures ponctuelles de massifs, limitant temporairement l'accès à certains sites emblématiques. Ces restrictions, combinées à la recherche de fraîcheur, risquent de **concentrer encore davantage la fréquentation sur un nombre réduit de secteurs refuges**, générant localement des **pressions accrues sur les milieux naturels**.

Dans ce contexte, la gestion de la fréquentation devient un enjeu central : il s'agit à la fois de maintenir l'attractivité du territoire et de préserver la qualité des paysages et des habitats. Le Parc et la Réserve travaillent ainsi à développer une approche adaptative du tourisme de nature : observation fine des flux, information du public, régulation des usages sur les sites sensibles et diversification des parcours de découverte vers des espaces moins fréquentés. Ces orientations rejoignent les ambitions de la Charte du Parc 2025-2040 et du Plan de gestion de la Réserve, qui visent à faire du Luberon un territoire exemplaire en matière d'écotourisme résilient face au changement climatique.

EVOLUTIONS POTENTIELLES DES OUTILS ET MOYENS DE GESTION

► *Gestion du patrimoine géologique*

Le patrimoine archéologique de la Réserve est sujet à l'érosion causée notamment par les pluies, l'infiltration de l'eau, les épisodes de gel et l'augmentation des amplitudes thermiques. La volonté du gestionnaire est de préserver cet héritage ancien et de le valoriser d'un point de vue pédagogique. Le changement climatique, en renforçant les phénomènes d'érosion, impliquera sûrement de questionner encore plus qu'aujourd'hui la pertinence de mises à nue de fossiles.

► *Sites géologiques de découverte du Géoparc du Luberon (géosites)*

La Réserve s'inscrit au sein du Géoparc mondial UNESCO du Luberon, à vocation de sensibilisation et de géotourisme. L'accueil de tous les publics (scolaires, touristes...) pourrait être pris en considération tant

concernant les sites que les périodes et horaires pour une adaptation aux nouvelles conditions de fortes chaleurs.

► ***Gestion de l'avancée du couvert forestier***

Le changement climatique pourrait favoriser le développement du couvert forestier sur certaines zones de la Réserve, au détriment des pelouses et des espèces qui leur sont inféodées. Les objectifs actuels de gestion visent à limiter cette expansion dans les secteurs où elle entre en concurrence directe avec des milieux ouverts à forts enjeux écologiques, notamment sur les pentes et affleurements de l'Aptien.

Toutefois, dans ces mêmes milieux, l'assèchement progressif des sols et leur instabilité pourraient entraîner un dépérissement des jeunes plants d'essences forestières, limitant naturellement leur installation. Un suivi spécifique serait donc à mettre en place afin d'objectiver ces évolutions et d'évaluer les effets du changement climatique sur la dynamique de végétation.

5. Nouveaux arrivants

Les nouveaux arrivants sont les espèces ou habitats actuellement absents du site et qui pourraient émerger dans le futur. On s'intéresse ici aux potentiels nouveaux arrivants liés au changement climatique. Globalement en France, les espèces migrent vers le nord et en altitude afin de s'adapter à la hausse des températures et ses conséquences. A mi-chemin entre mer et montagne, la Réserve naturelle géologique du Luberon bénéficie majoritairement d'un climat méditerranéen et des premières influences montagnardes.

Sous l'effet du changement climatique, le climat méditerranéen devrait gagner du terrain au détriment des zones plus fraîches, reléguées aux ubacs. Ce phénomène pourrait permettre l'expansion d'espèces thermovoir xérophiles, notamment des invertébrés, en provenance des régions plus au sud.

V. Récit prospectif

Le récit prospectif fera l'objet d'un travail spécifique à l'issue de la démarche.

VI. Conclusion

Parmi les objets du patrimoine naturel de la Réserve naturelle géologique du Luberon analysés, les affleurements de surface en dalles à terriers fossiles du vallon de Reillanne, les affleurements de l'Aptien et leur contenu paléontologique de gisements à vertébrés continentaux et le Colorado provençal du Massif des Ogres présentent une très forte vulnérabilité au changement climatique. En effet, ce dernier devrait renforcer l'érosion de ces différents objets géologiques, notamment en raison d'une accentuation de l'amplitude thermique des journées, de la possible augmentation de l'intensité des précipitations et du renforcement des périodes de sécheresses. Les projections sont plus incertaines pour les calcaires en plaquettes oligocènes en raison d'effets antagonistes entre la diminution du nombre de jours de gel et la potentielle intensification des précipitations hivernales. En revanche, le contenu paléontologique des gisements à invertébrés marins devrait rester relativement préservé car il est protégé des pluies et du soleil. Enfin, les espèces floristiques à enjeu des marnes pourraient profiter de l'évolution des conditions climatiques car ces dernières se rapprocheraient de celles où les espèces s'expriment bien dans d'autres pays plus au sud. Des inconnues subsistent tout de même quant à l'effet du substrat sombre et des sécheresses.

Ainsi, ce DVO intègre des projections de l'évolution des écosystèmes, des activités humaines et des outils et moyens de gestion mis en œuvre sur la Réserve par le prisme du changement climatique. Elles sont basées sur les connaissances scientifiques disponibles au moment de la rédaction et du ressenti des experts interrogés, dont ceux de l'équipe gestionnaire. Elles ne peuvent pas être exhaustives et il n'est pas possible d'affirmer avec certitude que toutes les trajectoires énoncées seront suivies, compte-tenu des nombreuses inconnues concernant l'évolution future de nos socio-écosystèmes.

Néanmoins, ce travail a permis au gestionnaire de la Réserve de s'approprier la thématique du changement climatique et de développer une vision dynamique et évolutive des écosystèmes dans ce contexte. La gestion actuelle mise en œuvre sur le site semble d'ailleurs déjà s'inscrire dans une démarche d'accompagnement des changements qui pourront avoir lieu. Ainsi, le rôle de la Réserve sera de faciliter l'acceptation de cette philosophie sur son territoire.

Ce document constitue ainsi la première étape de la démarche de prise en compte du changement climatique sur la Réserve naturelle géologique du Luberon et permettra de construire et alimenter le plan d'adaptation de la gestion.

Liste des acronymes

CEN	Conservatoire d'espaces naturels
DFCI	Défense des forêts contre les incendies
DREAL	Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DVO	Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité
ETP	Evapotranspiration potentielle
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GREC-SUD	Groupe régional d'experts sur le climat en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PNR	Parc naturel régional
RCP	Representative Concentration Pathway
RNF	Réserves Naturelles de France
RNG	Réserve naturelle géologique
TRACC	Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

Bibliographie

CHATRY, Christian, LE GALLOU, Jean-Yves, LE QUENTREC, Michel, LAFITTE, Jean-Jacques, LAURENS, Denis et CREUCHET, Bertrand, 2010. Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts. . 2010.

COUDURIER, Christine, PETIT, Laetitia et TISSOT, Anne-Cerise, 2023. *Démarche d'adaptation au changement climatique Natur'Adapt – Guide méthodologique d'élaboration d'un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité et d'un plan d'adaptation à l'échelle d'une aire protégée. LIFE Natur'Adapt – Réserves Naturelles de France.*

GREC-SUD, 2020. *Le Parc naturel régional du Luberon à l'épreuve du changement climatique* [en ligne]. Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR Climat). [Consulté le 2 juin 2025]. Les cahiers du GREC-SUD. ISBN 978-2-9560060-9-1. Disponible à l'adresse : <https://www.grec-sud.fr/publications/cahier-luberon/>

GREC-SUD, 2023. *Les synthèses des cahiers du GREC-SUD. Enjeux climatiques en région Provence-Alpes-Côte d'Azur* [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.grec-sud.fr/wp-content/uploads/2023/01/Synthese-region-2023.08.25.pdf>

MÉTÉO-FRANCE, 2025a. CLIMAT HD par Météo-France. [en ligne]. 2025. [Consulté le 27 mai 2025]. Disponible à l'adresse : <https://meteofrance.com/climathd>

MÉTÉO-FRANCE, 2025b. DRIAS, Les futurs du climat. [en ligne]. 2025. [Consulté le 20 mai 2025]. Disponible à l'adresse : <https://www.drias-climat.fr/>

ONERC, 2015. *Scénarios d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* mars 2015.

ORCAE, 2024. *Fiche indicateur - Risque Feux de forêt : Evolution temporelle et spatiale de l'Indice Forêt Météo - IFM données 2022.* 30 juillet 2024.

SOUBEYROUX, Jean-Michel, BERNUS, Sebastien, SAMACOÏTS, Raphaëlle, ROUSSET, Fabienne, SCHNEIDER, Michel, DROUIN, Agathe, MADEC, Thumette, TARDY, Marc et CORRE, Lola, 2024. *A quel climat s'adapter en France selon la TRACC ?* [en ligne]. [Consulté le 23 mai 2025]. Disponible à l'adresse : <https://meteofrance.com/sites/meteofrance.com/files/files/editorial/rapport-trajectoire-rechauffement-adaptation-changement-climatique-partie-1.pdf>

NATUR ADAPT SUD

Coordinateur du projet



Partenaires techniques



Partenaires financiers



Réserves naturelles participantes



Réserve Naturelle
CAMARGUE



Réserve Naturelle
COUSSOLS DE CRAU



Réserve Naturelle
L'ILON



Réserve Naturelle géologique
LUBERON



Réserve Naturelle
MARAI DU VIGUEIRAT



Réserve Naturelle
DES PARTIAS



Réserve Naturelle
PLAINE DES MAURES



Réserve Naturelle
POURRA - DOMAINE DU RANQUET



Réserve Naturelle
POITEVINE-REGARDE-VENIR



Réserve Naturelle
RISTOLAS – MONT-VISO



Réserve Naturelle
SAINTE-VICTOIRE



Réserve Naturelle Régionale
SAINT-AURIN



Réserve Naturelle
TOUR DU VALAT