

Cahier thématique du groupe travail « Montagne »

Impacts du changement climatique et transition(s) dans les Alpes du Sud



Octobre 2018

Ce cahier thématique a été réalisé par le Groupe régional d'experts sur le climat en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-SUD). Il a été coordonné par l'association A.I.R. Climat (Philippe ROSSELLO) qui a pour mission d'animer le GREC-SUD. Ce cahier approfondit les notions abordées dans les publications du GREC-SUD suivantes : panorama général, climat, agriculture et forêt, mer et littoral, ressources en eau.

Le projet bénéficie d'un financement au titre de la convention État - Région Provence-Alpes-Côte d'Azur - ADEME.

Réalisation : GeographR.

Date de publication : octobre 2018.

Crédit photos :

Photo 1 : ©Xavier Bodin

Photo 2 : ©ONF-RTM 05

Photo 3 : ©Romain Gaucher

Photo 4 : ©ComCom Guillestrois et Queyras

Photo 5 : ©Pierre-Allain Duvillard

Photo 6 : ©Grégory Loucougaray

Photo 7 : ©GeographR

Photo 8 : ©Thierry Gauquelin

Photo 9 : ©J.-P. Telmon, Parc national des Écrins

Photo 10 : ©Albert Christophe, PN des Écrins

Photo 11 : ©Chevalier Robert, Parc national des Écrins

Photo 12 : ©Mireille Coulon, Parc national des Écrins

Photo 13 : ©Laurent Cavalli

Photo 14 : ©Office de tourisme, Le Sauze

Photo 15 : ©Mireille Coulon, Parc national des Écrins

Photo 16 : ©Studio Berthier, Office du tourisme des Orres

Photo 17 : ©Corail Marc, Parc national des Écrins

Photo 18 : ©Jérémy Nahmiyaz

Photo 19 : ©Rémy Masségia, Léz'art création

Photo 20 : ©Paul Wagner

Photo 21 : ©Jérémy Nahmiyaz

Photos d'illustration : ©Parc national des Écrins (1^{ère} couverture, avant-propos, introduction, §1.5, §2.4, 4^{ème} de couverture), ©Parc naturel régional du Queyras (édito, §4.4), ©Jean-Pierre Nicollet (§3.3), ©Grégory Loucougaray (§5.1), ©Rodolphe Papet (conclusion)

Crédit dessins : ©Freepik (§2.4, §3.1, §4.2)



Cet été 2018 a encore été marqué par des températures particulièrement élevées, couplées à des événements d'ampleur exceptionnelle : je pense notamment à celui du Pas de l'Ours (§Zoom 2) ayant touché le territoire du Queyras, qui illustre un changement climatique majeur accéléré par les activités anthropiques.

Ce changement est particulièrement visible dans nos montagnes : les glaciers, par exemple, sont des marqueurs incontestables du changement climatique. Or nos espaces se caractérisent par des enjeux de vie majeurs : réservoirs de biodiversité soumis à des contraintes environnementales et climatiques fortes (écarts de températures, gel-dégel), poumons verts de nos forêts, systèmes aquatiques avec leur rôle d'autoépuration et de régulation de la ressource en eau... Ces milieux restent toutefois fragiles et vulnérables, et leurs processus complexes sont encore à explorer. Collecter les données, partager les connaissances, croiser les regards, les interpréter et agir pour préserver la montagne et sa biodiversité est donc essentiel. Mieux

comprendre le fonctionnement de ces milieux et leurs interactions permettra d'identifier les perturbations liées au changement climatique et d'adopter des mesures de gestion appropriées pour réduire l'empreinte carbone de l'homme et favoriser l'adaptation au changement climatique. De tout temps, la vie a su se frayer un chemin malgré les bouleversements, mais la rapidité du changement climatique soulève de légitimes inquiétudes. Il est urgent de transformer nos modes de vie pour limiter les impacts de l'évolution du climat et redevenir humble face à la nature et ses ressources dont nous dépendons.

L'adaptation au changement climatique et l'atténuation des gaz à effet de serre sont incontournables pour éviter les effets irréversibles de nos sociétés sur notre patrimoine naturel : n'est-ce pas une fabuleuse opportunité pour rendre notre modèle socio-économique plus respectueux de l'environnement ? Celle-ci nous offre la possibilité de repenser nos modes de fonctionnement dans tous les domaines : transport, agriculture, urbanisme, tourisme, environnement, énergie... Cette nouvelle ère ouvre une perspective de diversification à l'agriculture, mais aussi au tourisme afin d'évoluer vers d'autres modèles pensés collectivement.

Cette mutation doit encourager le dialogue, les échanges et la solidarité, contribuer à un rapprochement entre l'homme et son milieu, et privilégier de nouvelles relations humaines : mise en partage des solutions de mobilité et des outils de production, ressourcerie, mixité des usages, services économiques combinés... L'économie circulaire se présente comme un système économique résilient et ouvre un nouveau champ d'innovation. L'un des atouts des Alpes du Sud est aussi son fort potentiel énergétique (torrents, ensoleillement...). Les acteurs alpins doivent en profiter.

Ce cahier qui a mobilisé une soixantaine d'experts met en lumière l'état de la connaissance sur le changement climatique, souligne la vulnérabilité de nos territoires de montagne et constitue un véritable outil pour mettre en place des actions efficaces, car nous avons tous, habitants, entités publiques, privées et politiques, un rôle à jouer. Il faudra compter sur la créativité et l'inventivité des acteurs qu'il sera nécessaire de stimuler en mobilisant l'intelligence collective.

Nous avons déjà des démarches structurantes dans nos territoires qui ouvrent le dialogue et incitent l'écriture de projets de territoire ambitieux : charte des parcs naturels régionaux et des parcs nationaux, plan de gestion des réserves nationales et régionales, sites Natura 2000 et réserves de biosphère. Le chemin est d'ores et déjà engagé au travers de nombreuses initiatives individuelles, publiques et privées qu'il est nécessaire de consolider et multiplier dans une dimension stratégique coordonnée à haut niveau d'ambition.

Rassembler nos territoires autour d'une stratégie de transition écologique est un défi majeur !

Valérie Rivat,
directrice du parc naturel régional du Queyras.

Avant-propos

Pour approfondir les connaissances diffusées dans la publication générale¹ du Groupe régional d'experts sur le climat en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-SUD), animé par A.I.R. Climat, et apporter des réponses spécifiques, le comité régional d'orientations (CRO) a constitué des groupes de travail thématiques (GTT). Ces derniers sont composés de chercheurs de toutes les disciplines et de spécialistes du climat qui contribuent à la rédaction de cahiers thématiques² destinés aux décideurs et gestionnaires des territoires de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur : élus, ingénieurs et techniciens des collectivités locales ou des espaces protégés ou encore des grands équipements, mais aussi responsables d'associations et entreprises.

L'objectif est de décrypter les résultats scientifiques et les enjeux du changement climatique pour informer et sensibiliser le public visé à l'échelle régionale et locale. Par thème, une synthèse de travaux scientifiques est proposée afin d'évaluer les impacts du changement climatique sur le territoire et de proposer des pistes d'adaptation et d'atténuation concrètes. Ce nouveau cahier se focalise sur les effets du changement climatique sur les territoires des Alpes du Sud.

De nombreux chercheurs et spécialistes issus d'organismes publics et privés se sont mobilisés pour aider les décideurs et gestionnaires à mieux anticiper les impacts du changement climatique et mettre en œuvre des actions susceptibles de favoriser les politiques d'adaptation et d'atténuation des gaz à effet de serre (GES). Ce cahier, comme les précédents, invite le lecteur à prendre conscience des enjeux et des risques tout en délivrant des pistes et recommandations.

Pour aller plus loin, les décideurs et gestionnaires ont la possibilité de se rapprocher de la communauté scientifique pour réduire la vulnérabilité de leur territoire à court, moyen et long terme. Le dialogue permanent et les échanges d'expériences enrichissent les débats et favorisent l'émergence de solutions innovantes adaptées au contexte régional et/ou local.

Ce document se base sur les travaux des chercheurs qui ont accepté d'apporter leur contribution, et de manière plus large sur les résultats obtenus par la communauté scientifique. Tout lecteur peut demander la liste complète des références bibliographiques.



¹ *Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique*, juin 2015 :

http://www.grec-sud.fr/wp-content/uploads/2018/09/GREC-PACA_Cahier_Enjeux_CC_panorama_ref.pdf

² *Climat et changement climatique, effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt, ressources en eau, ville...*

Table des matières

Édito.....	3
Avant-propos.....	4
Introduction générale.....	6
1. Le Climat des Alpes du Sud.....	7
1.1. Climat du dernier millénaire dans les Alpes.....	7
1.2. Évolution du climat des Alpes du Sud depuis le début de l'ère industrielle.....	8
1.3. Entre +1,5 et +4°C, quels effets sur l'enneigement des Alpes du Sud ?.....	9
1.4. L'avenir des glaciers des Alpes du Sud.....	10
1.5. Le permafrost et les glaciers rocheux des Alpes du Sud.....	11
2. Les risques naturels dans les Alpes du Sud.....	14
2.1. Les avalanches ont-elles un avenir ?.....	14
2.2. Le changement climatique, un facteur aggravant des mouvements de terrain et des laves torrentielles ?.....	15
2.3. Les feux de forêt vont-ils progresser en montagne ?.....	16
2.4. L'adaptation de la gestion des risques naturels aux impacts du changement climatique.....	19
3. Les impacts du changement climatique sur l'agriculture de montagne.....	21
3.1. Le changement climatique, une opportunité pour l'agriculture de montagne ?.....	21
3.2. Quelle influence du changement climatique sur les pratiques agricoles en moyenne montagne ?.....	22
3.3. Regard inter-massifs : quelle situation dans le Massif central ?.....	23
4. Quels effets du changement climatique sur les forêts alpines.....	25
4.1. Les cycles phénologiques des arbres vont-ils bouleverser les paysages forestiers montagnards ?.....	25
4.2. Quelles nouvelles gestions forestières ?.....	26
4.3. Le développement de la filière bois dans les Alpes du Sud.....	27
4.4. Le chauffage au bois et la qualité de l'air dans les vallées alpines.....	28
5. La biodiversité en montagne menacée ?.....	31
5.1. La biodiversité rend-elle des services écosystémiques ?.....	31
5.2. Vers une perte de la biodiversité alpine ?.....	32
5.3. Les effets du bouleversement climatique sur les zones humides et les lacs de montagne.....	34
6. Des espaces habités face au changement climatique, une nécessité d'atténuation et d'adaptation.....	35
6.1. L'or blanc s'écrit-il en pointillé dans les Alpes du Sud ?.....	35
6.2. Les stations de montagne du futur, un visage polymorphe ?.....	37
6.3. La loi Montagne 2 : une intégration des changements climatiques dans la législation.....	38
6.4. Économie circulaire et numérique dans les Alpes du Sud, des modèles d'atténuation ?.....	39
6.5. Stratégies territoriales de transition(s) et leur reconnaissance, catalyseur d'une mise en mouvement collective et coopérative ?.....	40
6.6. La mobilité, le parent pauvre des territoires alpins ?.....	41
6.7. Quel urbanisme demain en montagne ?.....	42
Conclusion.....	45
Pour aller plus loin.....	46

Introduction générale

La montagne évoque à chacun de nous des images, des expériences, des sensations et des sentiments teintés de nuances et de couleurs : beauté, sommets, neige, ski, glaciers, froid, torrents, nature, espaces vierges, liberté, alpages, forêt, faune, flore, isolement, solitude, rudesse, dépassement de soi, risques, randonnée, air pur, ressourcement, contemplation, traditions, authenticité, ruralité, élevage... Nos découvertes, nos souvenirs, celles et ceux de nos proches, des conteurs et des aventuriers, mais aussi les vecteurs de communication, renforcent son caractère unique, son pouvoir d'attraction et de fascination. Ces clichés qui traduisent une certaine réalité sont surtout partagés par la population urbaine des basses terres. Les montagnards savent que leur territoire est plus complexe, et qu'il est en grande partie façonné, abîmé ou protégé par les hommes.

La montagne est avant tout en mouvement. Les Alpes ne font pas exception. Les migrations, les passages et les convoitises ont ponctué l'histoire du massif alpin qui abrite une population qui vient en grande majorité d'ailleurs. Cette mixité fait la force de ce territoire et construit son identité au fil du temps au gré des rencontres, des ambitions, de la volonté de survivre, des désirs partagés, des convergences, mais aussi des divergences. Ainsi, contrairement aux idées reçues, la montagne bouge et se transforme en permanence. Elle est un concentré d'activités (industrie, tourisme, agriculture, transport, sport, artisanat...), de projets et réalisations, d'innovations... Elle est un concentré de vie et fait partie de notre monde bouillonnant et actif.



Comme tous les territoires habités, la montagne contribue aux émissions de gaz à effet (GES) et donc au réchauffement climatique, mais à sa mesure. Cette dernière est modeste par rapport aux espaces urbains denses et surpeuplés des grandes métropoles réparties dans les différents pays du monde. Malgré cette faible contribution, elle subit un changement climatique plus rapide

et marqué qu'en plaine. La température de l'air a d'ores et déjà augmenté de près de 2°C dans les Alpes du Sud par rapport à l'ère préindustrielle, alors que la hausse est d'environ 1°C à l'échelle mondiale. Les effets du changement climatique sont perçus et/ou visibles depuis des décennies avec le recul (symbolique) des glaciers, un enneigement en basse et moyenne altitude moins abondant, même si certains hivers sont encore généreux, une période estivale plus marquée, le dépérissement du sapin, une phénologie des végétaux capricieuse... La montagne est témoin de ce bouleversement, et ce dernier pourrait avoir des effets irréversibles s'il se renforce encore. Hors causes naturelles, avec la croissance de la population mondiale, le climat des Alpes dépendra des émissions de GES des activités anthropiques qui tendront inmanquablement à croître si de fortes actions d'atténuation ne sont pas entreprises de l'échelle globale à locale.

Pour mieux évaluer les impacts du changement climatique dans les Alpes du Sud, ce cahier thématique du Groupe régional d'experts du climat en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-SUD) propose un état des connaissances scientifiques récentes sur l'évolution du climat, les risques naturels, l'agriculture, la forêt, la biodiversité, l'économie et l'aménagement. L'objectif est d'informer et d'alerter les acteurs publics (décideurs, gestionnaires, collectivités...) et privés, et de les accompagner en proposant des premières pistes d'adaptation au changement climatique et d'atténuation des GES susceptibles d'être mises en place pour basculer définitivement dans la transition verte. Les Alpes du Sud, grâce au dynamisme et à la volonté de tous, est en mesure de devenir un territoire exemplaire et donc de prendre de l'avance sur son temps.

Chapitre 1. Le climat des Alpes du sud

Le climat des Alpes a toujours connu des fluctuations naturelles au cours de son histoire, mais les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère bouleversent son évolution depuis le début de l'ère industrielle. En moins de 150 ans, la température de l'air à l'échelle mondiale a augmenté d'environ 1°C. Ce chiffre masque de fortes inégalités spatiales. Dans les régions montagneuses de tous les continents, l'augmentation est beaucoup plus significative. Dans les Alpes du Sud, la hausse est proche de 2°C. Ce réchauffement qui se renforcera inéluctablement ces prochaines décennies, si les émissions de gaz à effet de serre ne diminuent pas, joue un rôle fondamental sur la nature et l'homme. Pour mieux appréhender l'ampleur du changement climatique dans les Alpes du Sud, des réponses sur l'évolution du climat et ses effets sont apportées dans ce premier chapitre. Ces connaissances scientifiques complètent celles publiées dans le cahier thématique *Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur* en mai 2016.

1.1 Climat du dernier millénaire dans les Alpes

Il est aujourd'hui établi que le changement climatique en cours est lié aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre. L'attribution au forçage anthropique a nécessité au préalable un important travail pour reconstituer et comprendre la variabilité dite « naturelle » du climat, c'est-à-dire la variabilité climatique préexistante à l'ère industrielle qui répondait alors aux seuls forçages naturels tels que l'activité solaire et les éruptions volcaniques (principaux forçages de la variabilité climatique au cours du dernier millénaire).

Afin de reconstituer la variabilité naturelle du climat, des observations sur le long terme de paramètres météorologiques ou phénologiques (comme l'évolution des dates de vendanges qui dépendent étroitement de la température estivale) ont été retrouvées dans des corpus de documents historiques. Ces derniers, dans leur grande diversité (délibérations municipales, textes institutionnels, archives religieuses, littérature grise, etc.), donnent également des précisions sur la variabilité des événements extrêmes (sécheresses, inondations, incendies, tempêtes, etc.) face auxquels les populations ont été confrontées. Par ailleurs, de nombreux indicateurs naturels (cernes d'arbres, sédiments lacustres ou les formations géomorphologiques par exemple) ont été également étudiés pour évaluer la variabilité alpine de la température, des précipitations, des fluctuations glaciaires ou encore des crues au cours des derniers siècles et millénaires.

De cet ensemble de reconstitutions, deux périodes climatiques très contrastées ont été identifiées au cours du dernier millénaire (Figure 1). La première, l'optimum médiéval (OM, 950-1250 après J.C.), aussi appelée « anomalie climatique médiévale », est caractérisée dans les Alpes par un climat plutôt doux et sec qui a favorisé le retrait des glaciers alpins (§1.4, 1.5) et une diminution de la fréquence des crues aussi bien fluviales que torrentielles. À l'opposé, la période plus connue du Petit Âge glaciaire (PAG, 1300-1860 après J.C.) est une période globalement froide et (très) humide, favorisant des avancées glaciaires majeures et de fréquentes crues fluviales et torrentielles sur l'ensemble des Alpes. Dans le détail, des variations marquées à l'échelle séculaire peuvent être observées au sein de ces deux périodes (Figure 1). Vers 1050-1100, l'OM semble par exemple ponctuée par une période nettement plus humide, suite à laquelle les glaciers d'Aletsch et de la Mer de Glace connaissent une avancée remarquable. Quant à la période du PAG, elle a été initialement décrite du XVI^{ème} au XIX^{ème} siècle seulement, période à laquelle les glaciers alpins ont connu leurs « crues ». Si cette période est également caractérisée comme la plus froide du millénaire, elle était pourtant relativement sèche et la fréquence des crues était plutôt modérée. L'intensité des crues des grandes rivières alpines qui alimentent le Rhône paraît par contre particulièrement forte durant cette période.

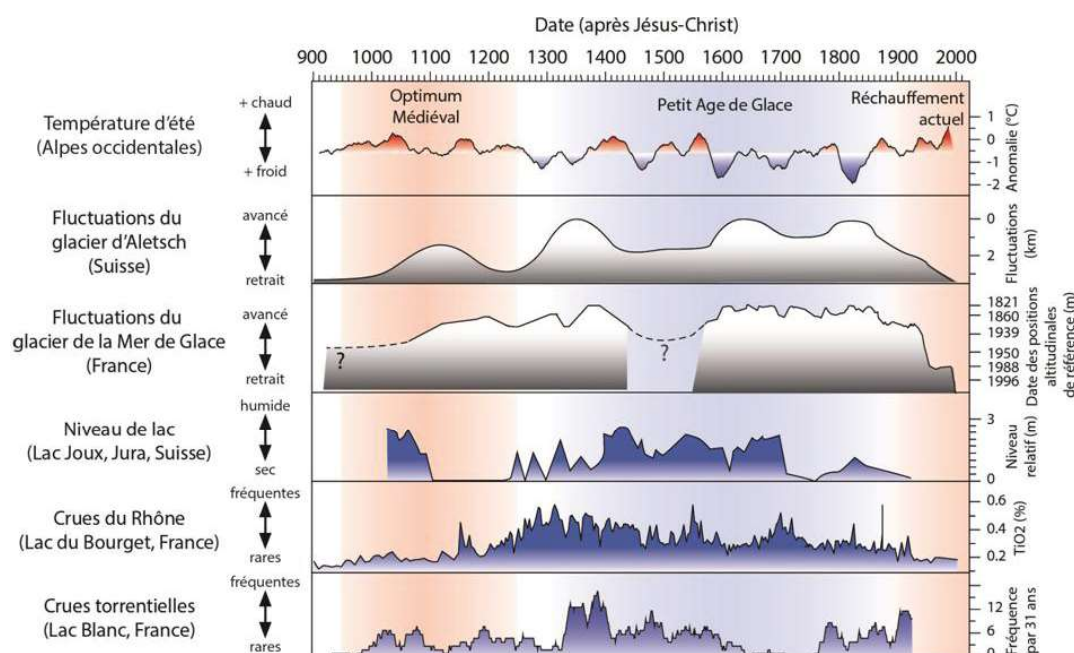
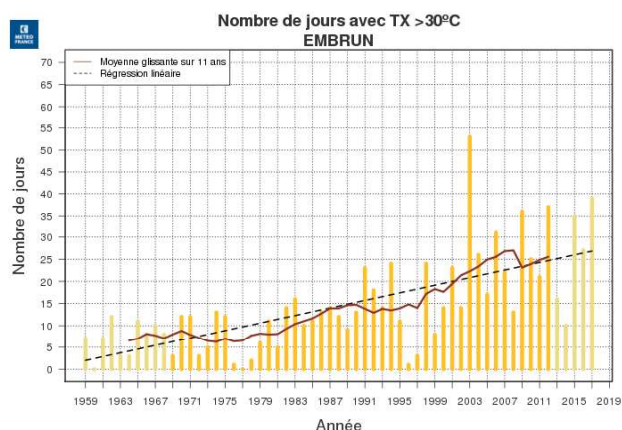


Figure 1. Le dernier millénaire comprend deux périodes climatiques très contrastées : l'optimum médiéval et le Petit Âge glaciaire, comme le révèlent les reconstitutions de la température d'été dans les Alpes, des fluctuations des glaciers d'Aletsch et de la Mer de Glace, du niveau du lac de Joux, des crues du Rhône et d'un torrent au-dessus de Chamonix

1.2 Évolution du climat dans les Alpes du Sud depuis le début de l'ère industrielle

Les Alpes du Sud n'échappent pas au réchauffement global mesuré depuis le début du XX^{ème} siècle. Ainsi, sur la période 1959-2009, une augmentation des températures moyennes annuelles d'environ 0,3°C par décennie est constatée. Cette hausse est inégalement répartie selon la saison. Le réchauffement est plus marqué en été avec une hausse de 0,4 à 0,5°C par décennie. L'augmentation du nombre de journées où la température dépasse 30°C en vallée est également importante (Figure 2). À Embrun, sur la période 1960-1980, la moyenne annuelle de jours où la température maximale dé-

passait ce seuil était bien inférieure à 10 jours, alors qu'à partir des années 2000, les 20 jours sont dépassés, avec 5 années excédant les 30 jours (année record 2003 : 53 jours). Cette tendance à la hausse est plus modérée en hiver (0,1°C par décennie) et en automne (0,2°C par décennie). C'est pour cette raison que la diminution du nombre de jours de gel, nettement détectable en altitude, est moins spectaculaire dans les vallées : vers 1500 mètres d'altitude, on passe d'environ 150 jours par an dans les années 60 à un peu moins de 130 jours actuellement.



+300 m d'altitude

Évolution de l'isotherme 0°C au printemps à l'horizon 2050, massif du Parpaillon, Hautes-Alpes

Figure 2. Évolution du nombre de jours dépassant les 30°C à Embrun entre 1959 et 2015 (Météo-France)

Concernant les précipitations observées, une très grande variabilité interannuelle est observée, ce qui explique pourquoi les tendances statistiques calculées ne sont pas très robustes. Sur la période 1959-2015, les pluies annuelles sont en très légère baisse, mais les pluies de printemps sont en faible augmentation. Ainsi, le signal du changement climatique reste encore incertain.

Comme les précipitations, l'enneigement est un paramètre très variable d'une année sur l'autre. De plus, le nombre de postes relevant les hauteurs de neige est réduit et les séries sont en gé-

néral moins longues et incomplètes, ce qui rend la détection de tendances plus difficile. En utilisant les séries disponibles les plus complètes, un signal à la baisse est toutefois mis en évidence. À la station d'Isola dans les Alpes-Maritimes, par exemple, sur une série complète depuis 1972, le signal à la baisse est significatif sur les paramètres de hauteur maximale de neige annuelle et de hauteur de neige au 1^{er} avril. Par contre, les hauteurs de neige au 15 décembre (Figure 3) et au 1^{er} mars ne sont pas en baisse de manière significative au sens statistique, même si la droite de tendance d'ajustement présente une pente légèrement descendante.

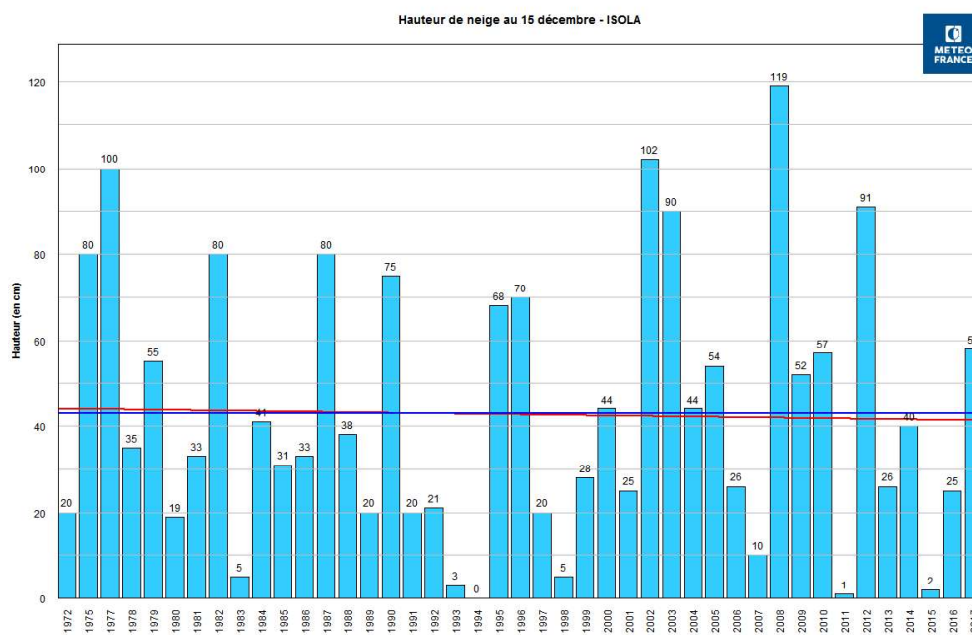


Figure 3. Tendances de la hauteur de neige au 15 décembre à Isola entre 1972 et 2017. La moyenne est en bleu, la courbe d'ajustement en rouge

1.3 Entre +1,5 et +4°C, quels effets sur l'enneigement des Alpes du Sud ?

L'enneigement dans les montagnes d'Europe dépend directement des variations du climat. En effet, le manteau neigeux est fortement influencé par plusieurs variables météorologiques dont la température et les précipitations. Le manteau neigeux réagit doublement aux fluctuations de la température : cette dernière gouverne la phase des précipitations, c'est-à-dire la part relative de pluie et de neige, et est fortement liée à la vitesse de fonte du manteau neigeux. Comme ces deux effets vont dans le même sens, le manteau neigeux est très sensible aux variations de la température, notamment à la limite altitudinale pluie-neige qui correspond peu ou prou au niveau de l'isotherme 0°C en moyenne hivernale.

Les simulations des modèles climatiques doivent être ajustées aux zones de montagne avant d'être utilisées comme données d'entrée des modèles d'impact (modèles de manteau neigeux par exemple). Le projet GICC ADAMONT a récemment permis

une mise à jour des projections climatiques relatives à la température, aux précipitations et à l'enneigement dans les Alpes. Il est complété dans les Pyrénées par le projet POCTEFA OPCC2

-16 cm

neige au sol, en moyenne, ces 30 dernières années
par rapport à la période 1961-1990, Les Orres

et son entrée thématique CLIM'PY. La méthodologie mise en œuvre lie directement les indicateurs locaux d'enneigement (hauteur moyenne ou nombre de jours au dessus d'un seuil d'épaisseur donné par exemple) aux variations de la température à l'échelle mondiale, en moyenne sur 30 ans.

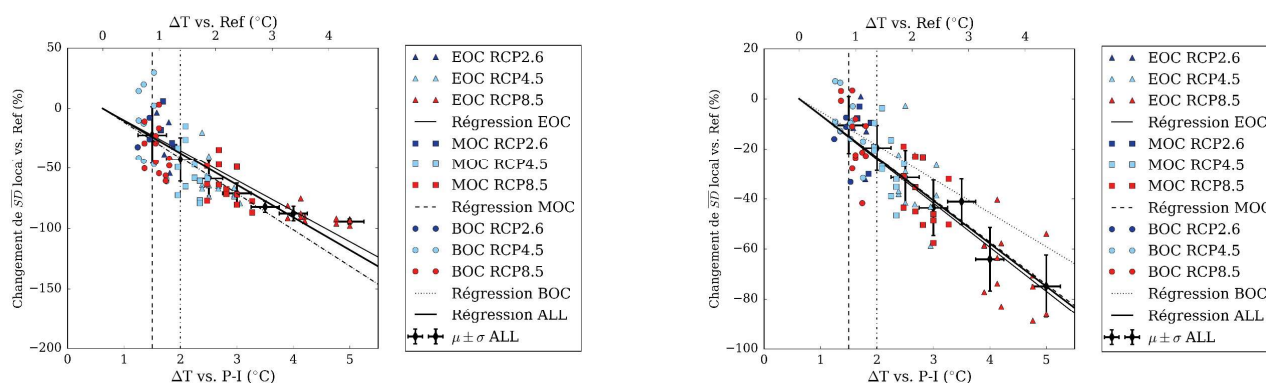


Figure 4. Variation de l'épaisseur moyenne du manteau neigeux en hiver (décembre à avril) dans le Mercantour en fonction du réchauffement à l'échelle planétaire : 1200 m à gauche, 2700m à droite.
(BOC : début de siècle 2010-2040, MOC : milieu de siècle 2040-2070, EOC : 2070-2100)

À titre d'illustration, la Figure 4 représente la variation en pourcentage de l'épaisseur moyenne de la neige en hiver (décembre à avril) dans le massif du Mercantour à 1200 m et 2700 m d'altitude, en fonction de l'incrément de la température mondiale depuis l'époque préindustrielle (1850-1880).

La Figure 4 montre que l'évolution du manteau neigeux est relativement linéaire en fonction de l'accroissement de la température mondiale, et dépend peu, pour un réchauffement donné, de la période temporelle (début, milieu ou fin de siècle) ou du scénario de concentrations de gaz à effet de serre (RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5 : de l'optimiste au pessimiste). Néanmoins, cette réponse varie en fonction de l'altitude, du fait des condi-

tions météorologiques et notamment des températures : à plus haute altitude, le froid étant plus marqué, un même niveau de réchauffement n'aura pas le même effet, car il se traduira par un impact plus limité sur les variations de phase des précipitations.

Le Tableau 1 représente une synthèse de la réponse des caractéristiques du manteau neigeux dans les massifs du Mercantour et du Champsaur en fonction de l'augmentation de la température moyenne mondiale, par rapport à la période de référence 1986-2005. Ces tendances de fond, qui diffèrent selon l'altitude et le massif, se superposeront à l'avenir à la forte variabilité interannuelle des conditions d'enneigement qui continuera à prévaloir.

	1,5°C	2°C	3°C	4°C	5°C
Mercantour 1200 m	-22,2 ± 23,7	-42,6 ± 18,3	-71,1 ± 8,7	-87,9 ± 6,0	-94,5 ± 2,2
Mercantour 2700 m	-10,5 ± 11,3	-19,6 ± 9,0	-43,6 ± 11,1	-64,1 ± 12,7	-74,9 ± 12,4
Champsaur 1200 m	-27,5 ± 16,5	-34,8 ± 17,1	-67,2 ± 9,1	-80,6 ± 7,3	-91,5 ± 1,9
Champsaur 2700 m	-8,7 ± 9,0	-14,0 ± 9,0	-39,2 ± 13,1	-47,5 ± 11,7	-65,7 ± 10,6

Tableau 1. Évolution du manteau neigeux (en %) dans le Mercantour et le Champsaur en fonction de l'altitude et de l'augmentation de la température moyenne mondiale

1.4 L'avenir des glaciers des Alpes du Sud

Les glaciers de montagne constituent l'un des plus sensibles marqueurs naturels de l'évolution du climat. Actuellement, les glaciers, quasiment tous en phase de récession dans le monde, sont même parfois décrits comme des icônes du changement climatique. L'évolution des glaciers est conditionnée par celle des conditions climatiques locales, régionales et globales. Le volume du glacier dépend de l'accumulation de neige à sa surface qui contribue à apporter de la masse, et la perte de neige et de glace, principalement par fusion, qui contribue à soustraire de la masse. Le bilan de masse annuel, représentant la somme de ces deux termes pour une année, dépend donc directement des conditions météorologiques au cours d'une année. De ces variables météorologiques annuelles en-

registrées par le glacier dépendra sa dynamique, c'est-à-dire un ajustement de sa vitesse, sa longueur et son épaisseur.

Prévoir le futur des glaciers nécessite de disposer de longues séries d'observations qui permettent notamment de déterminer leur sensibilité au climat. Dans les Alpes du Sud, ces séries d'observations de long terme du bilan de masse concernent le glacier Blanc (Figure 5), situé dans les Écrins et suivi depuis 1999. Les observations montrent que, sur la période 1999-2016, le glacier Blanc présente une perte de masse cumulée de -11,53 m d'équivalent en eau, ce qui correspond à retrancher près de 13 m de glace en moyenne sur l'ensemble de sa surface (4,8 km² en 2014). Naturellement, cette perte est plus importante à basse altitude.

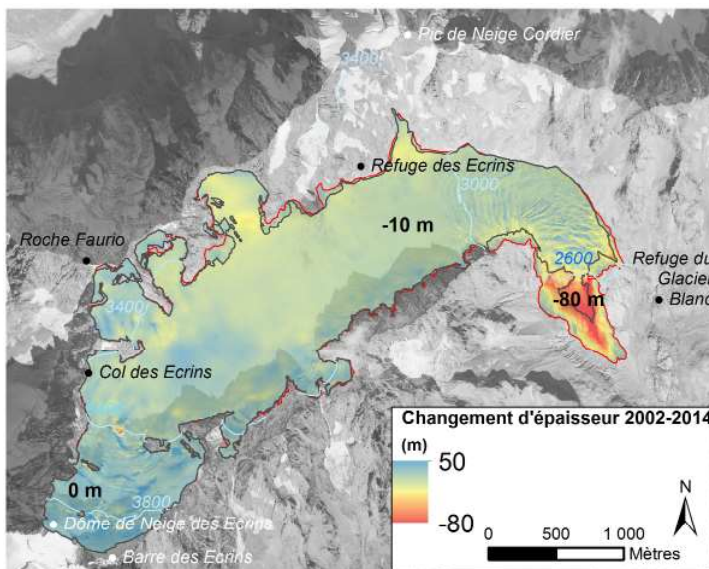


Figure 5. Variations d'épaisseur (dégradé de couleurs) et de surface (contours rouge et noir) du glacier Blanc entre 2002 et 2014 (source : Parc national des Écrins, Irstea-ETNA)

Plus généralement, dans les Alpes françaises, les mesures de bilan de masse (Figure 6) couvrant plusieurs décennies montrent des bilans particulièrement négatifs depuis l'année 2003 : sur les 40 ans de mesures (voire davantage) réalisées, 9 des 10 années les plus déficitaires se situent après 2003. Ce constat, généralisé à l'échelle des Alpes européennes, est principalement lié à une augmentation de la période de fonte estivale, avec une intensification de la fonte au cœur de l'été.

Les glaciers alpins n'ayant actuellement pas de zones d'accumulation au-delà de 3500 m d'altitude seront amenés à disparaître d'ici la fin du XXI^{ème} siècle. Dans le massif des Écrins, sur les 256 glaciers ou fragments de glaciers (fragmentation favorisée par le retrait glaciaire contemporain), seuls 25 d'entre eux ont une altitude dépassant ce seuil altitudinal. Il est donc hautement probable que seuls ces derniers seront encore présents à la fin du siècle. Durant la période d'extension maximale du Petit Âge glaciaire (vers 1850), la superficie des glaciers dans les Écrins atteignait 170 km². En 2015, date du dernier inventaire réalisé à partir d'images prises par le satellite européen Sentinel-2, la superficie des glaciers des Écrins couvrait 59 km². La perte de surface des glaciers dans le massif des Écrins, comme dans tous les massifs alpins, tend à s'accélérer depuis les années 2000. Elle a quasiment triplé entre 1980-2000 et 2000-2015.

« Bilan de masse des glaciers : sur 40 ans de mesures, 9 des 10 années les plus déficitaires se situent après 2003 »

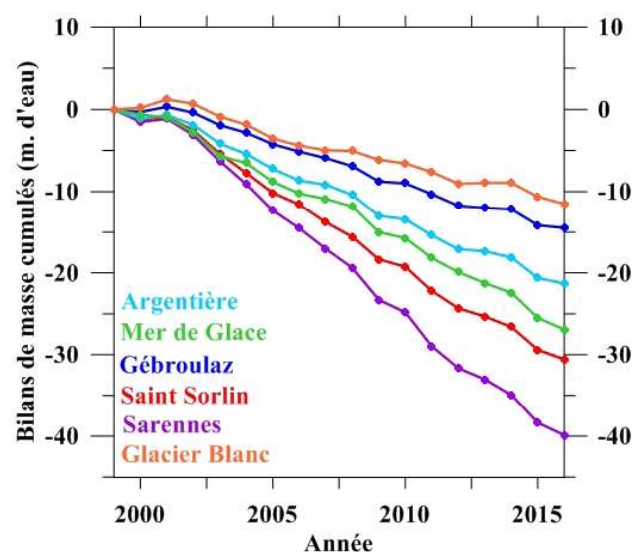


Figure 6. Bilans de masse cumulés des glaciers des Alpes françaises faisant l'objet d'un suivi de terrain (sources : GLACIOCLIM-IGE, Parc national des Écrins, Irstea-ETNA)

1.5 Le permafrost et les glaciers rocheux des Alpes du Sud

Le climat froid des hautes montagnes de l'arc alpin, y compris jusqu'à ses contreforts les plus méridionaux, permet un gel profond, parfois permanent, des sols. Dans les paysages, deux indices trahissent la présence du permafrost (ou pergélisol) de montagne : la présence de glaciers rocheux (Photo 1), ces langues de débris rocheux, rayées par des bourrelets en ogive et cernées de talus raides, et les glaciers suspendus, masses de glace littéralement collées à leur paroi.

Photo 1. Vue d'un glacier rocheux en automne : la neige et l'ombrage soulignent les contours de la forme, ainsi que les bourrelets et les sillons typiques de la déformation lente (1 mètre par an en moyenne) du mélange de glace et de débris rocheux



D'après des modèles récents (Figure 7), le permafrost occuperait entre 180 et 250 km² dans les Alpes du Sud (Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes), affectant essentiellement des glaciers rocheux, des éboulis et des moraines situés au-dessus de 2500 m d'altitude en ubac, 2800 m en adret. Les parois rocheuses contiendraient du permafrost à partir de 3000-3500 m, altitude à laquelle se rencontrent les glaciers suspendus. Au total, dans les Alpes du Sud, 1500 glaciers rocheux environ sont recensés, dont 200 dans les massifs de l'Oisans et des Écrins.

Les mesures de températures effectuées depuis 2009 dans le forage profond (100 m) des Deux-Alpes (Isère, 45° Nord), à plus de 3000 m d'altitude, révèlent une température de l'ordre de -1,3°C à 30 m de profondeur. Ainsi, la majorité du permafrost des

Alpes du Sud est probablement en cours de dégradation, avec une fonte plus ou moins avancée de la glace. Dès lors, quels sont les impacts de cette dégradation du permafrost dans les Alpes du Sud sur les différents versants ? Tout d'abord, concernant le permafrost de paroi rocheuse essentiellement restreint au massif des Écrins, le dégel des parois rocheuses lors des épisodes de canicule, comme dans le massif du Mont-Blanc, favorise le déclenchement des éboulements, en provoquant la fonte de la glace qui jouait le rôle de ciment. Pour les glaciers rocheux, les mesures réalisées depuis le début des années 80 dans la combe de Laurichard mettent en évidence une augmentation des vitesses d'écoulement du glacier rocheux, 2016-2017 étant l'année record. Ce constat est le même dans l'ensemble des Alpes.

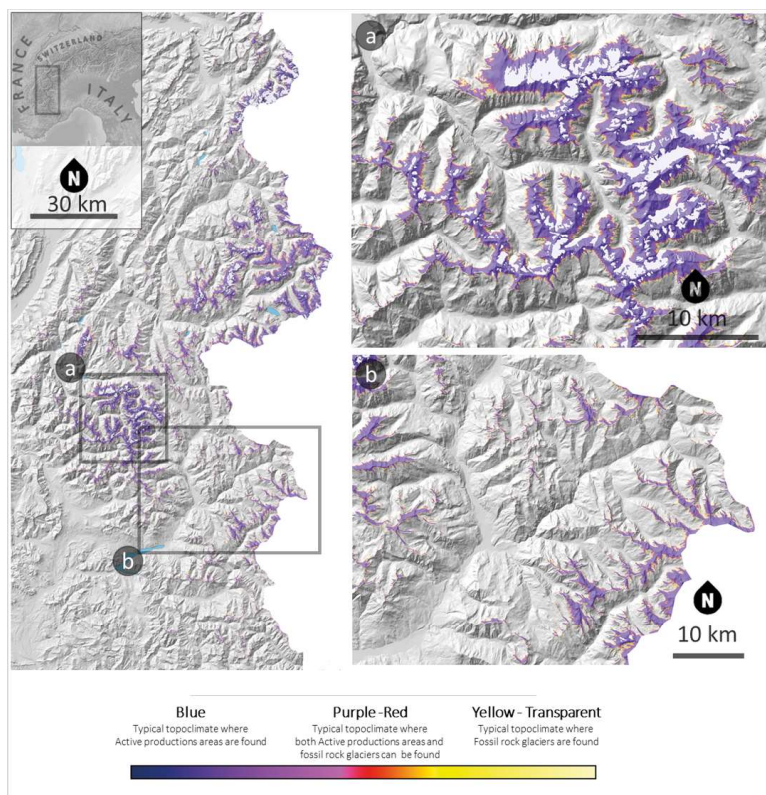


Figure 7. Carte de la distribution probable du permafrost d'après un modèle statistique basé sur l'inventaire des glaciers rocheux des Alpes française :
a) massif des Écrins ; b) Haute-Ubaye
(source : Marcer *et al.*, 2017)

Les glaciers rocheux sous surveillance

Outre l'intérêt paysager, les glaciers rocheux intriguent par leur instabilité constatée ces dernières années (Figure 8). Ainsi, sous l'influence du réchauffe-

ment climatique, la vitesse des glaciers rocheux a tendance à augmenter, parfois jusqu'à la rupture, et est à l'origine de risques émergents. La problématique de

l'eau relâchée par la fonte des glaciers rocheux est aussi très débattue, surtout dans les montagnes arides, comme les Andes centrales, où elle s'avère cruciale.



Figure 8. Évolution du glacier rocheux déstabilisé de Pierre Brune (Vanoise) depuis 2000

Les scientifiques s'accordent sur la naissance des glaciers rocheux après le retrait des grands glaciers de l'ère Quaternaire (il y a environ 10 à 15 000 ans), mais les avis sont plus partagés sur leur origine. La formation de la glace découlerait soit de processus dits « périglaciaires », c'est-à-dire au sein même du

sol gelé, soit de l'enfouissement d'un glacier « normal » sous les débris rocheux.

Situé dans le massif du Combeynot proche du col du Lautaret, le glacier rocheux de Laurichard (Figure 9) est l'un des mieux documentés au monde. En effet, les variations annuelles de ses vi-

tes d'écoulement sont enregistrées depuis 1984. Les mesures, historiquement réalisées à partir de relevés topographiques sur une trentaine de blocs marqués, sont désormais affinées grâce aux nouvelles technologies (laser scanner, lidar, drone...).

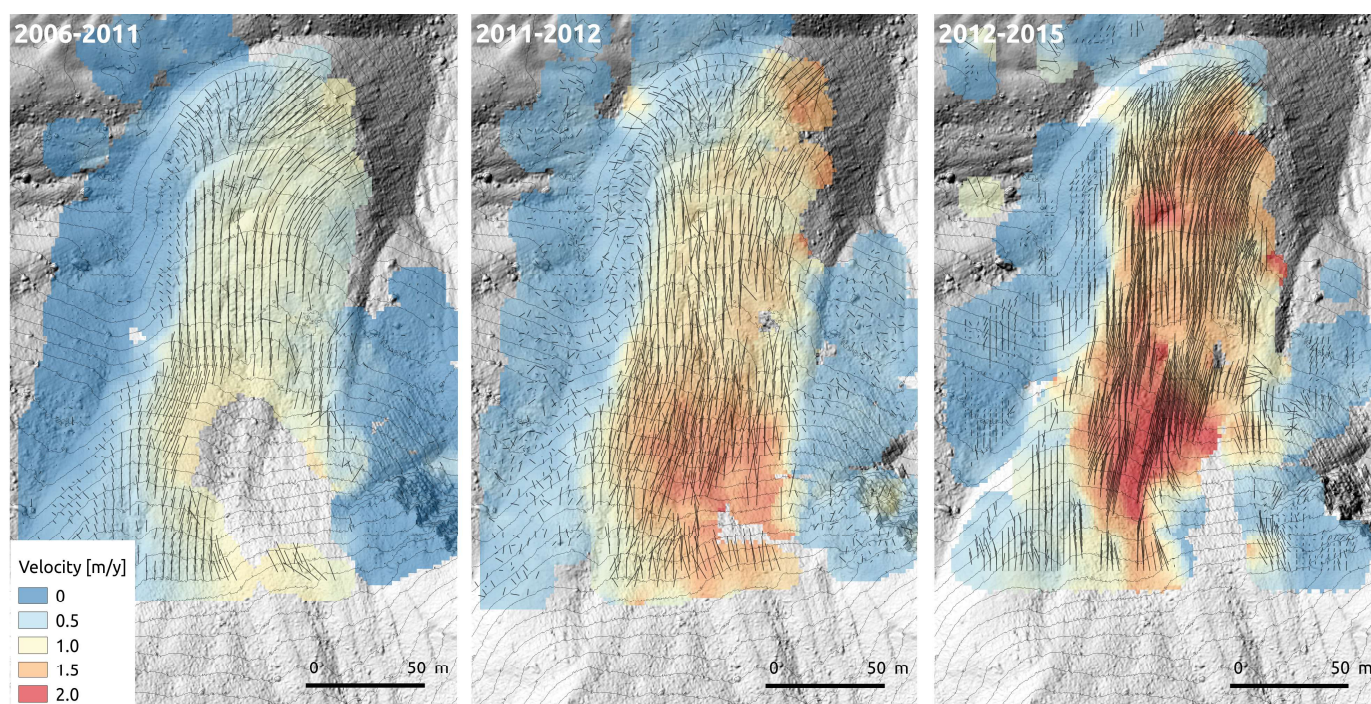


Figure 9. Accélération des vitesses de surface du glacier rocheux de Laurichard depuis 2005, mesurées à partir de levés lidar et par photogrammétrie

Zoom 1. Effondrement du glacier rocheux du Bérard

La question de la stabilité des versants gelés (permafrost) s'est posée dès 2006, en Ubaye, avec l'effondrement du glacier rocheux du Bérard (Photo 2). Sans conséquence humaine, ce phénomène a toutefois attiré l'attention des gestionnaires et des scientifiques sur les risques que représentent les glaciers rocheux qui sont déstabilisés par le réchauffement climatique. Entamé en 2009, les services de Restauration des terrains en montagne (RTM) alpins ont récemment finalisé un inventaire exhaustif des glaciers rocheux : sur les quelques 3000 formes recensées dans les Alpes françaises, 56 % sont situés dans les Alpes du Sud. Parmi ces glaciers rocheux méridionaux, 22 présentent des signes de déstabilisation : crevasses, fractures, arrachement et ravinement...



Photo 2. Le site du vallon du Bérard (Alpes-de-Haute-Provence) avec le glacier rocheux en cours d'effondrement au centre : photo prise le 9 août 2006, quelques jours après une première phase de forts mouvements et avant la rupture complète



Chapitre 2. Les risques naturels dans les Alpes du Sud

Les milieux naturels engendrent des risques à court, moyen et long terme. En montagne, les risques sont spécifiques et souvent exacerbés par les facteurs physico-environnementaux avec la présence d'avalanches, d'éboulements, de glissements de terrain, de crues et laves torrentielles... Certains d'entre eux dépendent directement ou indirectement de la météorologie et du climat. Le changement climatique aura-t-il tendance à limiter ou renforcer les impacts des risques naturels sur les territoires montagnards où les enjeux sont à la fois humains, environnementaux, sociaux, économiques et politiques ? La communauté scientifique analyse la survenue potentielle des aléas caractérisés par leur imprévisibilité, la probabilité d'occurrence des événements, la vulnérabilité des territoires qui diffèrent selon l'organisation des sociétés... Un état partiel des connaissances est ici proposé pour mieux évaluer les enjeux futurs.

2.1. Les avalanches ont-elles un avenir ?

Les analyses systématiques menées dans les Alpes françaises sur les dernières décennies mettent en évidence des évolutions cohérentes de l'activité avalancheuse naturelle avec le réchauffement et les modifications de l'enneigement. Celles-ci excluent l'activité avalancheuse liée à la fréquentation hiver-

nale à des fins récréatives qui est avant tout une affaire de pratiques sociales. En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la forte variabilité interannuelle du nombre d'avalanches, la tendance à la remontée des altitudes d'arrêt et la diminution de la proportion d'avalanches avec aérosol sont nettes (Figure 10).

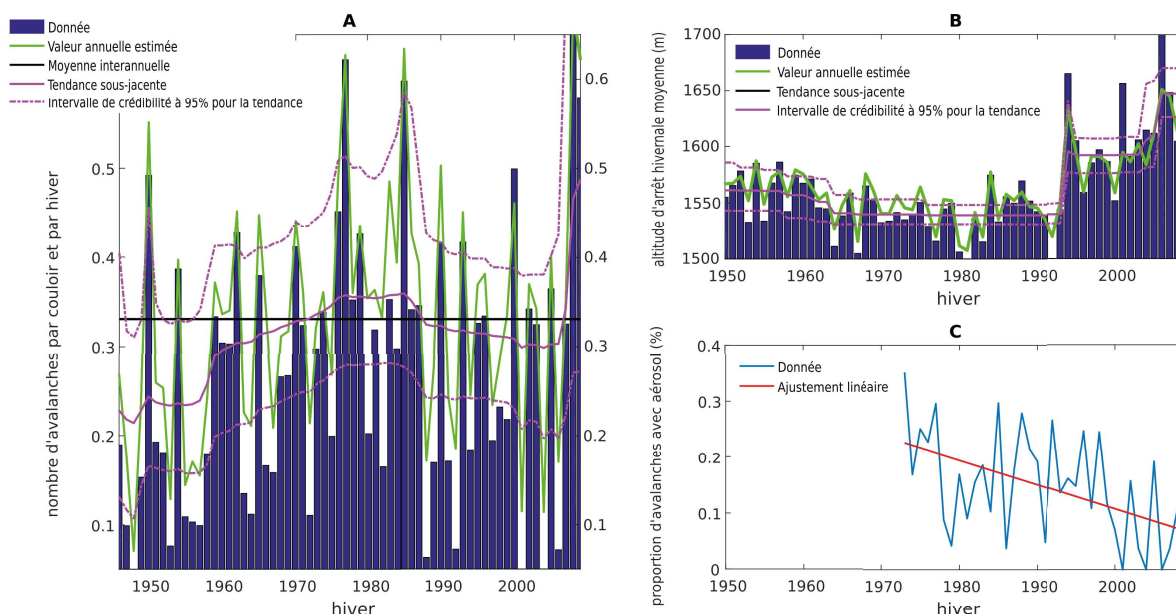


Figure 10. Évolutions récentes de l'activité avalancheuse en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes et Alpes-de-Haute-Provence), enregistrée par l'enquête permanente sur les avalanches (EPA) :

A) nombre moyen d'avalanches par couloir et par hiver ; B) altitude d'arrêt moyenne ;
C) proportion d'avalanches avec aérosol (incluant les écoulements mixtes)

Ce schéma global masque en réalité des évolutions différentes fortement contrôlées par l'altitude. À basse altitude, la réduction d'activité depuis 1980 a été drastique, due à la forte réduction de l'enneigement provoquée par le réchauffement du climat. Au contraire, à plus haute altitude, l'activité a augmenté depuis les années 70, peut-être sous l'effet de l'accroissement de la variabilité climatique hivernale. Sur des échelles de temps plus longues, les données paléo-environnementales, telles que l'analyse des cernes de croissance de mélèzes pluricentennaires du Queyras, ainsi que les archives historiques pluriséculaires suggèrent une diminution marquée de l'activité avalancheuse à la sortie du Petit Âge glaciaire. Les projections climatiques prédisent quant à elles une réduction globale

de l'activité au cours du XXI^{ème} siècle, sauf à haute altitude durant l'hiver où l'activité augmenterait temporairement, et ce à l'échelle de l'ensemble des Alpes françaises (Figure 11).

Les changements attendus sont déjà importants en 2050 et la période 2050-2100 sera caractérisée par la poursuite des évolutions déjà engagées. En matière d'avalanches, ces projections ne sont que légèrement modifiées selon l'hypothèse du scénario d'évolution des gaz à effet de serre considérée. Toutefois, il s'avère nécessaire d'affiner ces résultats avec la dernière génération de projections climatiques. Observations passées et projections futures s'accordent en tout cas sur l'augmentation de la part des avalanches de neige humide dans l'activité totale.

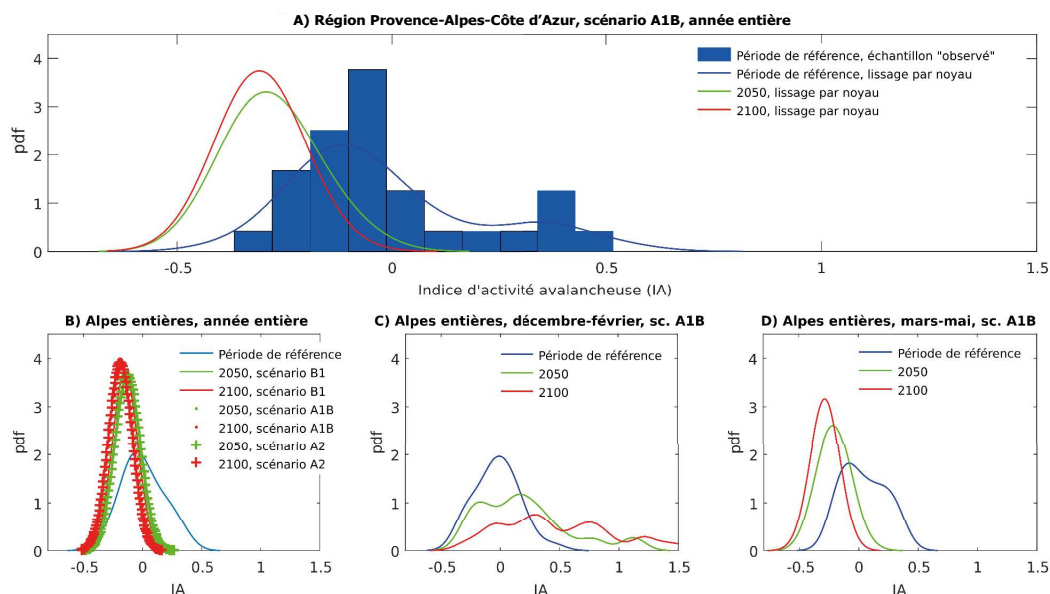


Figure 11. Projections futures de l'activité avalancheuse établies à partir des projections climatiques utilisées dans le 4^{ème} rapport de synthèse du GIEC (2007) : distribution interannuelle (30 ans, centrée sur 2050 et 2100) d'un indice d'activité avalancheuse totale standardisé par rapport à la période de référence 1960-1990 : A) année entière (décembre-mai) pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur sous hypothèse d'un scénario d'émission de gaz à effets de serre « moyen » (scénario SRES A1B) ; B) effet du scénario à l'échelle des Alpes françaises entières) ; C-D) par saison

2.2. Le changement climatique, un facteur aggravant des mouvements de terrain et des laves torrentielles ?

Un mouvement de terrain (éboulement, glissement, coulée, effondrement, etc.) se définit comme le déplacement d'un volume de roche ou de sol sous l'effet de la gravité. De nombreux paramètres influencent le déclenchement et l'activité des mouvements de terrain : les précipitations, la fonte des neiges, les variations de température, les séismes ou encore

l'action de l'homme par exemple. Toutefois, il est important de signaler qu'étant donné les incertitudes des simulations climatiques selon les scénarios socio-économiques et la diversité des phénomènes considérés, seules des hypothèses sur l'évolution de cet aléa peuvent être émises, toutes projections ou prédictions quantitatives restant très incertaines.



Photo 3. Coulée de boue sur pente enneigée

« Des événements remarquables parfois dramatiques, liés aux forçages météo-climatiques, ont récemment illustré l'**intensification des risques naturels dans les Alpes** : avalanche rocheuse causée par la dégradation du permafrost à l'origine de la disparition de 8 randonneurs et d'une crue torrentielle destructrice au village de Bondo dans les Alpes suisses, en août 2017 ; épisode de crues et d'instabilités de versant généralisées provoquées par la fonte des neiges suite à la réactivation de la tempête Eleanor dans les Alpes françaises du Nord en janvier 2018 (5 décès) ; enclavement des vallées alpines par la réactivation des glissements de terrain du Chambon et du Pas de l'Ours... », **Benjamin Einhorn**, directeur du Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN)

La diversité des paysages en montagne, de la géologie et des régimes climatiques font de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur un territoire singulier face à l'aléa « mouvements de terrain ». On y recense toutes les typologies de mouvements¹. Par exemple, l'aléa « éboulements-chutes de blocs » est particulièrement présent dans les Préalpes du Sud et le cœur des zones montagneuses. Ces phénomènes sont notamment sensibles aux variations de températures et à l'intensité des précipitations. L'augmentation des températures et des précipitations extrêmes accroîtrait ainsi leur fréquence. L'aléa « glissements » est également présent partout dans la région. Il convient de différencier, selon le volume et la profondeur de rupture, les glissements superficiels (< 5 m) des glissements profonds (> 5 m). Le déclenchement des glissements est favorisé par la saturation et l'augmentation des pressions d'eau dans les sols et les roches. Il existe en particulier un effet « seuil », propre à chaque site, au-delà duquel la vitesse de déplacement peut augmenter brutalement et de manière non linéaire. Ainsi, des épisodes de pluie hivernale plus intenses, associés à de fortes amplitudes de variations de températures (générant des fontes de neige précoces), induiraient de nombreux glissements superficiels et

leur propagation en coulée de boue (Photo 3). À l'inverse, l'augmentation des températures estivales, favorisant l'évapotranspiration, conduirait à une diminution des mouvements en été. Les glissements profonds affectant des versants entiers, comme celui de la Clapière (Alpes-Maritimes), répondent aux précipitations sur des pas de temps plus longs, c'est-à-dire saisonniers à pluriannuels. Leur évolution dépendra davantage des totaux pluviométriques et de leur répartition saisonnière, et reste particulièrement incertaine. La surveillance en temps réel de ces phénomènes permet de comprendre leur dynamique et leur réponse aux variations climatiques.

Les laves torrentielles, affectant principalement les hautes vallées, sont causées par des épisodes de précipitations intenses. L'augmentation probable de la tendance orageuse, de l'intensité des averses et des retours d'est provoquerait une augmentation de la fréquence et du volume des événements. Dans le cas spécifique des bassins versants de haute altitude, des crues dues à la fusion de la glace ou du permafrost pourraient se produire, même sur des cours d'eau où aucune lave torrentielle n'a été rapportée à ce jour.

¹ www.georisques.gouv.fr/

2.3. Les feux de forêt vont-ils progresser en montagne ?

Les incendies de forêts et de milieux naturels sont présents quasiment partout, des milieux boréaux aux zones tropicales, en montagne comme en plaine. Par comparaison avec les zones méditerranéennes, les territoires montagnards sont caractérisés par une moindre activité des incendies de forêts : en effet, leur climat humide et frais limite l'extension spatiale des incendies, et la densité relativement faible des activités humaines limite le nombre de départs de feux. Pourtant, les incendies sont présents depuis l'Holocène (10 000 dernières années) en montagne, avec une activité localement forte. L'analyse des cicatrices de feux passés sur les troncs ou des charbons de bois dans les sols montrent par exemple que le feu est passé environ tous les 100 ans dans certaines forêts de mélèzes ou de manière rapprochée (quelques années) dans des pelouses pâturées et brûlées par l'homme. Les feux d'origine humaine destinés à la culture sur brûlis ou à l'écobuage, ou plus rarement les feux déclenchés par la foudre, ont ainsi profondément modifié la végétation alpine en diminuant la présence d'espèces sensibles au feu (sapin, frêne, tilleul) et en favorisant des espèces résistantes.

Au cours des dernières décennies, environ 130 incendies ont été recensés par an dans les Alpes du Sud en France, et environ 35

dans les Alpes du Nord. Le régime d'incendie est caractérisé par des feux de petite surface (< 10 ha), d'intensité faible à moyenne, se déplaçant principalement dans les litières, la végétation herbacée et ligneuse basse, avec deux pics d'activité annuelle : en été et en hiver (principalement en mars). Du fait de ces caractéristiques, les impacts humains et économiques des incendies restent limités, mais les impacts écologiques peuvent être forts.

Les incendies de forêts sont gouvernés par trois facteurs clefs : le climat qui contrôle l'état hydrique de la végétation, la végétation qui sert de combustible et les activités anthropiques qui génèrent l'essentiel des départs de feux. L'activité incendie a évolué durant la période récente du fait des changements climatiques, de l'évolution de l'occupation du sol et des activités humaines. Dans les Alpes françaises, les changements climatiques en cours ont déjà conduit à une nette augmentation de l'indice forêt météo (IFM) qui estime le niveau d'humidité de la végétation et d'intensité potentielle du feu. Cette évolution est marquée partout dans les Alpes du Sud et, à basse altitude, dans les Alpes du Nord. La saison propice aux incendies s'est allongée de 3 semaines au sud (légèrement plus en altitude) et 1 semaine au nord (essentiellement en

dessous de 800 m d'altitude) durant les 60 dernières années. La zone géographique propice aux feux s'est aussi étendue en altitude et vers le Nord. La période de retour d'IFM élevé a diminué partout. Enfin, la fenêtre météo d'opportunité pour les incendies (nombre de jours consécutifs avec un IFM > 10) a nettement augmenté. L'ensemble de ces évolutions est plus marqué dans les Alpes du Sud à basse altitude (< 800 mètres). La forêt méditerranéenne est donc clairement la plus exposée au risque d'incendie croissant.

Ces changements climatiques ne sont pas partout traduits par une augmentation parallèle des incendies car environ 90 % des incendies sont allumés par l'homme. Mais les conditions sont réunies pour une évolution rapide : un climat plus favorable, une végétation forestière en expansion, un recul des activités agricoles et pastorales qui entretiennent la végétation et maintiennent les paysages ouverts, et une multiplication des activités humaines (accroissement de la population, habitat, infrastructures, industries, tourisme). Les évolutions seront probablement différentes suivant les conditions climatiques, environnementales et socio-économiques régionales. Les scénarios futurs penchent vers une augmentation de l'aléa et du risque lié à l'évolution des enjeux humains, écologiques et économiques dans la zone alpine. Une stratégie de mitigation et d'adaptation est donc nécessaire sur le moyen terme pour limiter les départs de feux et leurs impacts sur les espaces naturels et les activités humaines : débroussaillage à proximité des espaces habités, gestion forestière plus active, meilleure information de la popu-

lation sur le risque croissant.

Bien connaître les zones à risque d'incendie et l'impact des feux sur les forêts est particulièrement important dans les Alpes : en effet, une grande partie des forêts alpines ont un rôle de protection. Elles limitent l'érosion et les chutes de blocs en aval. En 2003, le passage d'un grand incendie au-dessus de Grenoble (massif du Néron) a déclenché des chutes de blocs sur les maisons et les infrastructures situées dans les vallées en aval, par un effet « cascade ».

« La saison propice aux incendies s'est allongée de 3 semaines au sud (légèrement plus en altitude) et 1 semaine au nord (essentiellement en dessous de 800 m d'altitude) durant les 60 dernières années. La zone géographique propice aux feux s'est aussi étendue en altitude et vers le Nord »

Pour contribuer à la gestion durable de ces territoires, Irstea a récemment développé une cartographie (Figure 12) et une typologie des peuplements les plus vulnérables au passage du feu. Des simulations numériques permettent aussi d'évaluer l'effet du passage d'un feu en termes d'augmentation de la probabilité de chutes de blocs dans les différents types de peuplements.

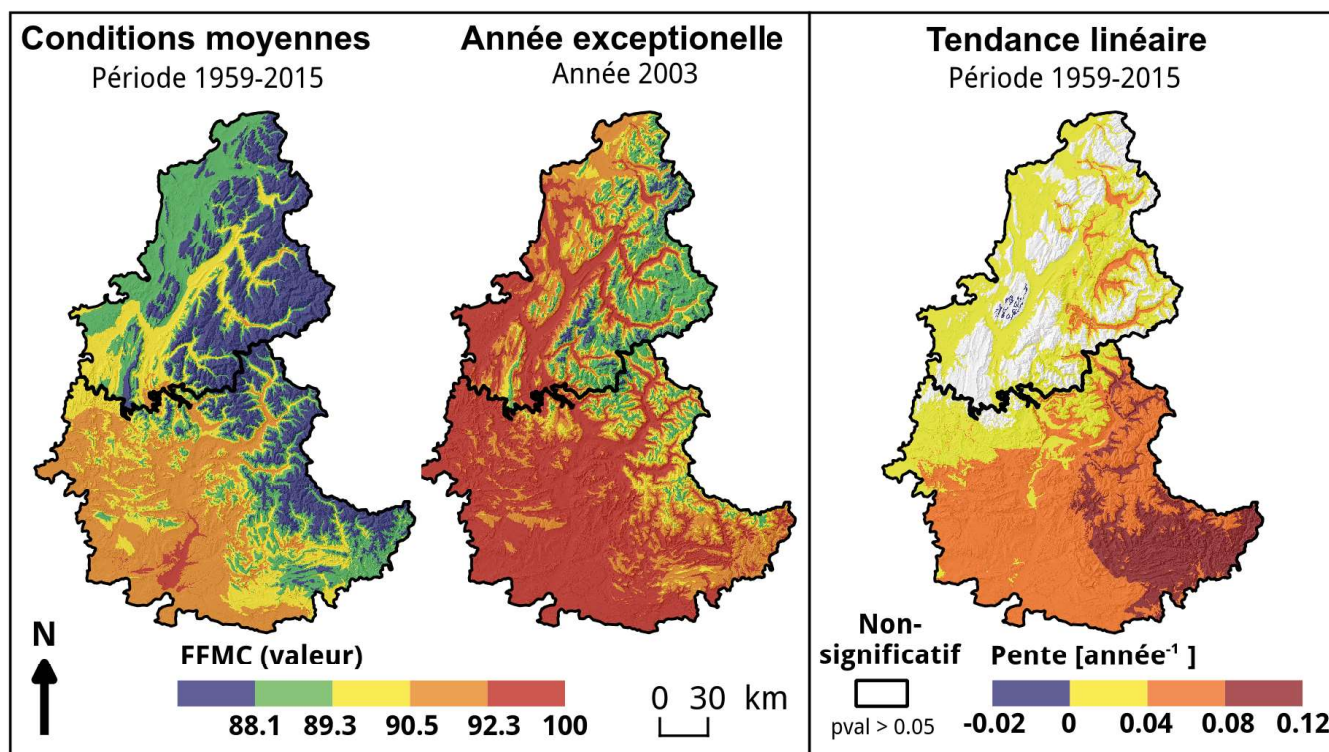


Figure 12. Évaluation numérique de la teneur en eau de la litière et d'autres combustibles légers, grâce à la carte de l'indice d'humidité des combustibles fins (FFMC : Fine Fuel Moisture Code). Les fortes valeurs de FFMC correspondent aux conditions les plus sèches. Concernant la tendance linéaire observée sur la période 1959-2015, plus la pente est élevée, plus l'augmentation de l'aléa incendie est élevée (source : Dupire *et al.*, 2017)

Zoom 2. Les effets des mouvements de terrain sur les équipements routiers et touristiques

Comme l'ont démontré les récents événements du Chambon et du Pas de l'Ours, les populations montagnardes vivent en permanence sous une menace d'enclavement au gré des aléas naturels susceptibles de couper les accès aux vallées. L'enjeu routier est une composante primordiale pour la pérennité et le développement des territoires de montagne. Or, si les zones urbanisées se sont majoritairement développées dans des secteurs sécurisés, les axes de communication traversent des zones à risques parfois importants. Ce faisant, l'enclavement temporaire de certains villages est habituel sur des durées variables selon l'événement :

- si l'événement (avalanche, coulée de boue, chute de pierres...) a peu d'impacts sur les ouvrages routiers, la durée d'isolement est courte (quelques jours). En amont, il est possible de limiter les dégâts en mettant en place des parades de protection qui s'avèrent toutefois coûteuses et qui nécessitent un entretien permanent pour optimiser leur efficacité ;
- si l'événement est plus significatif (glissement de terrain ou effondrement par exemple), avec des dommages substantiels au niveau du patrimoine routier, il est nécessaire de mettre en œuvre des stratégies de résilience, afin d'assurer la pérennité des activités humaines. Comme il est parfois impossible de se protéger d'un événement majeur, il est primordial d'anticiper le risque d'enclavement en créant de nouveaux accès et en chiffrant le coût des conséquences socio-économiques sur les populations locales. Un riche panel d'acteurs locaux doit être impliqué dans la réflexion menant à la résilience.

Dans le cas du glissement de terrain du Pas de l'Ours, situé sur la rive droite du Guil (commune d'Aiguilles), une route provisoire (Photo 4) a été construite, les réseaux ont été déplacés, un plan de secours a été élaboré pour assurer le passage à la population locale. Par ailleurs, une stratégie de développement durable est en cours d'élaboration avec comme objectif de maintenir une attractivité du territoire : la création d'un sentier pédagogique, par exemple, est envisagée en face du glissement. Les évolutions climatiques semblent toutefois favorables à l'augmentation de l'occurrence des événements extrêmes et par conséquent, un accroissement du risque d'enclavement des vallées de montagne est à craindre ces prochaines décennies.



Photo 4. Glissement de terrain au Pas de l'Ours
(photo prise depuis la route provisoire)

Les dommages sur les constructions et les équipements touristiques sont aussi problématiques. Le pylône de la gare supérieure du télésiège de Bellecombes (Les Deux-Alpes, 2711 m d'altitude), construit sur un glacier rocheux, est par exemple affecté par les mouvements du terrain sous-jacents causés par la dégradation du permafrost (Photo 5). Durant l'été 2013, sa réimplantation a été nécessaire pour des raisons de sécurité.



Photo 5. Pylône de la gare supérieure du télésiège de Bellecombes affecté par les mouvements du terrain

2.4. L'adaptation de la gestion des risques naturels aux impacts du changement climatique

Les Alpes font partie des régions européennes les plus vulnérables face au changement climatique. Les changements observés et potentiels dans l'occurrence spatiale et temporelle des aléas naturels (fréquence, intensité, saisonnalité ou localisation) se surimposent à l'augmentation continue des vulnérabilités socio-économiques (matérielle, structurelle, organisationnelle) dans les vallées alpines comme en haute montagne (urbanisation, mobilités, aménagements touristiques). Il en résulte un potentiel de dommages accru et, depuis plusieurs années, une multiplication des pertes causées par les catastrophes naturelles dans l'arc alpin.

L'adaptation de la gestion des risques en montagne est donc une priorité aujourd'hui pour faire face aux évolutions et anticiper les changements futurs en prenant des mesures appropriées permettant d'éviter ou de minimiser les répercussions. Les poli-

tiques publiques en vigueur dans les pays alpins et de nombreux projets de recherche et de coopération territoriale sont consacrés à cet objectif.

Dans cette perspective, la Gestion Intégrée des Risques Naturels (GIRN) dans les Alpes est préconisée depuis 15 ans par les gestionnaires et soutenue par les instances européennes, nationales et régionales pour développer des modes de gestion adaptés aux spécificités alpines et locales. La GIRN privilégie une approche globale et territorialisée co-construite par les acteurs locaux pour améliorer la cohérence et l'efficacité des systèmes de gestion. Le but est de relier l'ensemble des temps de gestion des risques sur un territoire, de la prévention à la gestion de la crise (Figure 13). Les risques sont ainsi appréhendés comme un des enjeux de développement du territoire et non plus seulement comme une contrainte physique ou réglementaire.

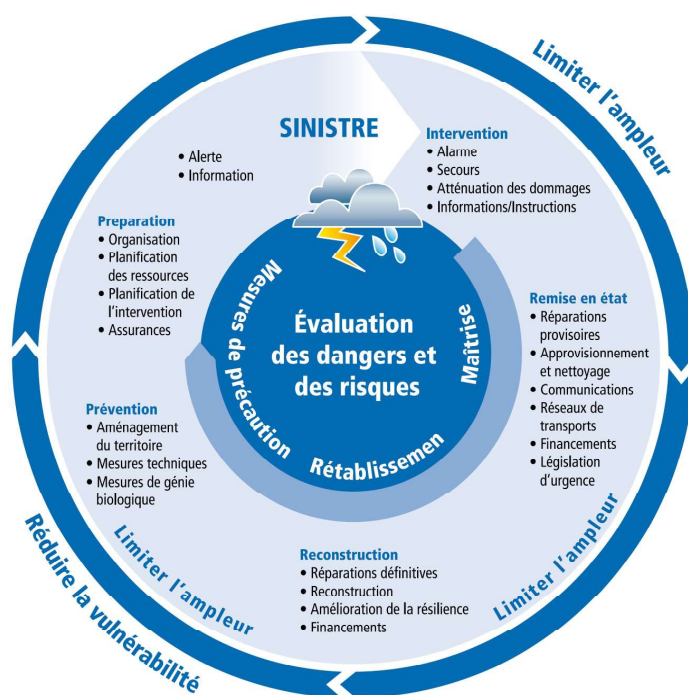
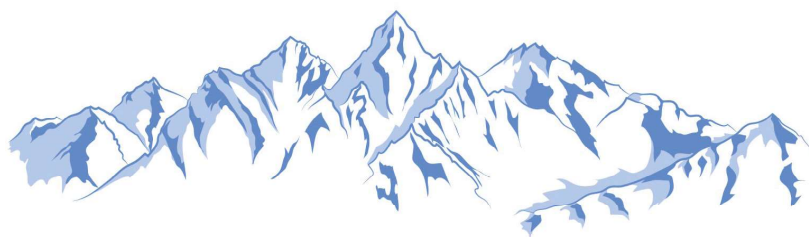


Figure 13. Éventail d'actions concourant à la gestion intégrée des risques naturels (projet ClimChAlp)



Dans les Alpes françaises, le programme interrégional de Gestion Intégrée des Risques Naturels sur le massif alpin (GIRN-Alpes), cofinancé par la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et la Région Auvergne-Rhône-Alpes, l'État (CGET) et les fonds européens FEDER, permet de développer un ensemble de compétences et de « bonnes pratiques » à même de favoriser la capacité d'adaptation, la résilience et le développement durable de ces territoires. Cette opération interrégionale, coordonnée par le Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN) depuis 2009, mobilise des financements spécifiques dédiés aux territoires de montagne avec le concours de la communauté scientifique et de structures d'interface science-société. Elle contribue au développement de nouveaux cadres d'analyse et d'outils innovants scientifiques et territoriaux pour parvenir à des trajectoires vertueuses, notamment :

- le développement de la connaissance, de l'expertise, d'outils d'observation (*in situ* ou télédétection) et de modélisation des aléas et des vulnérabilités intégrant les effets du changement climatique pour affiner la connaissance, le suivi, la surveillance, le diagnostic et les capacités locales d'anticipation et de gestion des phénomènes et des situations de crise¹ ;
- l'amélioration de la gouvernance multi-niveaux à travers la mise en cohérence et en synergie des politiques de prévention des risques naturels et d'adaptation aux différents échelons de décision² ;
- le développement d'approches multirisques intégrant de manière plus efficace les possibilités de risques « couplés » ou en

cascade d'origine naturelle et anthropique ;

- une meilleure prise en compte du risque résiduel en cas de dépassement des dispositifs de prévention existants ;
- une planification territoriale incluant des mesures d'adaptation et une meilleure gestion des risques à travers la production d'indicateurs adaptés aux nouveaux enjeux et aux différents acteurs impliqués, en vue de considérer les interactions intersectorielles (ressources en eau, agriculture, forêt, risques naturels, énergie, etc.) dans les stratégies et plans d'adaptation, via un accompagnement spécialisé et la formation des agents territoriaux³ ;
- l'évaluation et l'intégration des services écosystémiques dans les systèmes de gestion des risques et le développement des « infrastructures vertes »⁴ ;
- la notion de risque acceptable, à travers un dialogue territorial accru, en particulier par la création d'instances de concertation locales et régionales, telles que le Comité régional de concertation sur les risques (C2R2) et sa commission multi-risque en montagne ;
- le développement d'approches objectivées (analyse coût-bénéfice, analyse multicritère) pour l'aide à la décision et la priorisation des interventions ;
- une clarification des responsabilités collectives et individuelles des différents acteurs (élus, techniciens, population et scientifiques).



¹ Projets Espace Alpin ClimChAlp, AdaptAlp, CLISP, PARAMount...

² Groupe d'action 8 de la Stratégie de l'Union européenne pour la région alpine (SUERA) ; projets Espace Alpin AlpGov et GoApply

³ Projets Alcotra : ADAPT-Mont-Blanc, ARTACLIM et CClimat

⁴ Projet Alcotra Interreg Forêts de protection - IFP ; projets Espace Alpin MANFRED, RockTheAlps, GreenRisk4Alps, etc.

Chapitre 3. Les impacts du changement climatique sur l'agriculture de montagne

L'agriculture de montagne subit aussi les effets du changement climatique dans les Alpes du Sud. Comme en plaine, les contraintes liées au climat se multiplient (stades phénologiques avancés, gel précoce et tardif, saison estivale plus longue, apparition de maladies sur les cultures, gestion de l'eau...). Pour éviter de subir les impacts des changements ou du moins les limiter, la communauté scientifique propose des pistes d'adaptation et d'atténuation pour accompagner toute la profession agricole (agriculteurs, techniciens, collectivités...) qui commence à s'organiser pour partager les expériences, mettre en œuvre de nouvelles pratiques culturales, mutualiser les outils et les moyens, saisir les opportunités... Le dialogue entre les acteurs de terrain et les chercheurs prend d'ailleurs des formes originales et contribue à une meilleure compréhension des enjeux à court, moyen et long terme.

3.1. Le changement climatique, une opportunité pour l'agriculture de montagne ?

Le changement climatique constitue un défi pour l'agriculture de montagne qui doit notamment composer avec des extrêmes climatiques plus intenses et fréquents. Toutefois, les enjeux autour de l'adaptation au changement climatique peuvent représenter autant d'opportunités à saisir pour une agriculture en cohérence avec son territoire, plus intégrée, plus diversifiée, plus résiliente face aux aléas, et ainsi en capacité de maintenir production et autonomie fourragère.

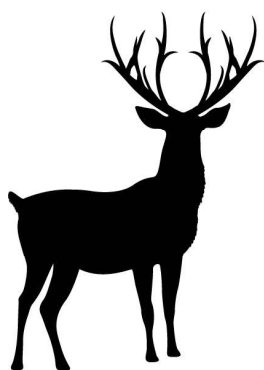
L'augmentation moyenne des températures a potentiellement des effets directs positifs sur la production agricole : un allongement de la durée de végétation est déjà observé en montagne (démarrage plus précoce de la végétation), par exemple. Il peut se traduire par des rendements supérieurs, une durée d'exploitation plus longue de la ressource fourragère, une avancée des dates de semis et plus de flexibilité d'exploitation, le développement d'espèces à plus forte valeur fourragère et économique. Mais de fortes incertitudes persistent sur la pérennité de tels effets sur le long terme.

De façon plus indirecte, les adaptations possibles pourraient s'appuyer sur des modes de production qui valorisent plus fortement les propriétés intrinsèques des espèces et des écosystèmes, avec l'objectif de renforcer la souplesse et la résilience de la production agricole. À l'échelle des parcelles, cela peut se traduire par un travail sur la diversification et l'adéquation des mélanges semés pour les prairies temporaires, voire la réutilisation de variétés plus rustiques et résistantes, la revalorisation des prairies permanentes riches en espèces souvent

plus souples d'exploitation où la variété des graminées peut sécuriser la production face aux aléas ou encore un ajustement fin des dates de mise à l'herbe, de semis et de récolte.

À une échelle plus globale, l'adaptation au changement climatique est aussi l'occasion de repenser une gestion du système agricole intégrée dans le temps et dans l'espace. Celle-ci permet d'ouvrir des perspectives pour la diversification des modes de production, des types de culture : optimiser la diversité des types de prairies dans les exploitations (exemple : ratio prairies permanentes/prairies temporaires), combiner agriculture traditionnelle de montagne et maraîchage. C'est aussi l'occasion de repenser l'usage de certains espaces dans les systèmes, comme les alpages qui fournissent une ressource fourragère complémentaire face au changement climatique, et les landes et espaces boisés de lisière, dont la valorisation contribuerait aussi à l'entretien de la qualité paysagère des zones de montagne.

Enfin, de façon plus générale, le défi du changement climatique est aussi une opportunité pour développer et élargir le tissu collectif agricole en montagne, par l'arrivée de nouveaux actifs (maraîchers, arboriculteurs, viticulteurs) et par le déploiement d'une gouvernance commune, notamment autour de la gestion de l'eau (en privilégiant un usage partagé et raisonné entre les besoins des troupeaux et l'irrigation des autres activités du territoire), des équipements, mais aussi de l'utilisation par l'agriculture de nouvelles ressources comme les résidus d'exploitation forestière (en remplacement de la paille) ou les déchets verts des collectivités.



Zoom 3. Alpagnes Sentinelles, un projet collectif d'adaptation

Né dans les Écrins suite à une série de sécheresses à partir de 2003, le programme Alpagnes Sentinelles rassemble les acteurs concernés par la gestion des alpages (gestionnaires d'espaces naturels, techniciens agricoles et pastoraux, agriculteurs, bergers, chercheurs) afin d'évaluer l'ampleur des changements en cours, comprendre leurs effets sur les alpages et partager les diagnostics.

Ce programme est un observatoire original du climat, des milieux, des pratiques et de leurs interactions : il comporte une collecte de données régulière sur le long terme, selon des protocoles co-construits avec tous les acteurs, mais il représente aussi un espace pour se forger une culture commune et apprendre ensemble. Le collectif, animé par l'Irstea, implique de nombreuses parties prenantes, notamment les éleveurs et bergers, avec pour principe que chacun est légitime et reconnu dans son rôle, et s'exprime librement. La diffusion des résultats prend différentes formes pour que tous les acteurs s'approprient le projet. C'est donc un dispositif de gestion concertée qui vise, dans un contexte de grande incertitude et de profondes mutations, à gérer collectivement la question des aléas climatiques sur les alpages, grâce à un partage des enjeux, des informations et des responsabilités.



Photo 6.
Parc national de la
Vanoise

L'initiative a essaimé : le réseau rassemble aujourd'hui plusieurs territoires (Vanoise, Vercors, Chartreuse, Mercantour, Luberon, Ventoux) et une trentaine d'alpages sont suivis dans les Alpes françaises (Photo 6). Récemment, le réseau a produit des documents d'information, structuré les données sur l'ensemble du massif alpin et élaboré une méthode d'analyse pour diagnostiquer la vulnérabilité des alpages face au changement climatique, qui sera mise en œuvre sur des cas concrets. Cependant, se pose à terme la question de la consolidation de son fonctionnement, particulièrement en termes de financement.

Lire aussi le cahier thématique du GREC-SUD intitulé *Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, édité en 2016 : www.grec-sud.fr

3.2. Quelle influence du changement climatique sur les pratiques agricoles en moyenne montagne ?

Pour mettre en évidence les impacts du changement climatique sur l'agriculture méditerranéenne en moyenne montagne, une enquête expérimentale a été menée par le département « Génie Biologique » de l'Institut universitaire de technologie de Dignes-les-Bains, en partenariat avec le GREC-SUD et la Maison de la météo et du climat des Orres (MMCO). Pour illustrer les changements potentiels à l'avenir, une série d'in-

dicateurs climatiques et agronomiques a été sélectionnée.

Aux horizons 2030 et 2050, d'après les projections climatiques du modèle climatique Aladin-Climat et le scénario socio-économique RCP 4.5 (intermédiaire), dans la vallée de la Blanche, l'orge, le blé tendre et le triticales ne subiraient pas de fortes contraintes climatiques entre 900 et 1400 m d'altitude.

Pour éviter les contraintes d'irrigation et donc les problèmes d'accès à l'eau lors des périodes sèches, le sorgho pourrait remplacer le maïs. Les conditions resteraient favorables au développement des prairies jusqu'à 1400-1500 m d'altitude. Il serait toutefois possible de remplacer le ray-grass anglais par le ray-grass italien ou hybride (anglais/italien) plus adapté aux températures plus élevées. Il serait également intéressant de tester la chicorée fourragère qui résiste au froid et à la sécheresse. Jusqu'en 2050, les zones d'estives naturelles s'étendraient jusqu'à 1600, voire 1800 m d'altitude.

Avec la hausse des températures, des maladies se développeront probablement sur les cultures avec une remontée de la rhynchosporiose qui affecte l'orge, le triticale, mais aussi d'autres graminées (prévoir jusqu'à 20 à 30 % de perte).

La principale activité agricole dans la vallée est l'élevage (Photo 7), notamment l'élevage de vaches allaitantes. La majorité des éleveurs ont un cheptel de moins de 100 têtes : exploitations extensives avec un chargement faible, soit un nombre d'animaux limité par surface agricole utile. D'après les vétérinaires ruraux, le réchauffement climatique encourage l'apparition d'insectes dans la vallée de la Blanche, susceptibles de transmettre des maladies, dont dès à présent la besnoitiose. Le vecteur est la mouche stomoxe qui pique la nuit et se nourrit de sang de bovins et d'équidés. Cette maladie peut engendrer une baisse de rendement conséquente qui se traduit par une perte économique pour l'éleveur. Les mouches gênent aussi l'animal pour se nourrir, induisant une perte de gain moyen quotidien. La besnoitiose recolonise la France depuis l'Espagne, alors qu'elle était en voie de disparition.



Photo 7. Élevage de bovins, vallée de la Blanche

3.3. Regard inter-massifs : quelle situation dans le Massif central ?

Le changement climatique a des effets sur l'ensemble de l'arc alpin, mais aussi à l'échelle de tous les massifs français. Pour illustrer la situation dans le Massif central, encourager le dialogue et la coopération inter-massifs, des résultats du projet AP3C sont présentés ici. Ce dernier a été lancé en 2015 avec pour ambition de produire des informations localisées pour une analyse fine des impacts du changement climatique sur le territoire, en vue d'adapter les systèmes de production du Massif central et de sensibiliser l'ensemble des acteurs. Il est animé par le Service InterDépartemental pour l'Animation du Massif central (SIDAM) avec les compétences de onze chambres départementales d'agriculture et de l'Institut de l'élevage.

Cette initiative est née de la volonté des acteurs du monde agricole d'anticiper les évolutions du climat. Elle combine une triple expertise climatique, agronomique et systémique.

Sur le volet climatique, des projections de paramètres clima-

tiques à l'horizon 2050 ont été produites pour mieux évaluer les changements :

- hausse de la température comprise entre 0,35 et 0,40°C sur 10 ans en moyenne annuelle, plus marquée au printemps avec 0,55°C sur 10 ans ;
- augmentation de la variabilité des températures avec maintien du risque de gels tardifs de printemps ;
- diminution sensible du nombre de jours de gel hivernal ;
- maintien du cumul de pluviométrie annuel, mais modification de la distribution des pluies, avec un cumul en baisse au printemps et en hausse à l'automne ;
- bilan hydrique dégradé, notamment sur les mois de printemps et d'été.

AP3C

Sur le volet agronomique, l'objectif est de proposer de nouvelles pratiques à l'échelle parcellaire. Des indicateurs agroclimatiques sont fournis pour traduire l'information climatique en une information agronomique : date de dernière gelée de printemps, date de première gelée d'automne, échaudage, date de fauche... Ces indicateurs montrent par exemple que la cinétique de pousse de l'herbe sera marquée par un cycle de végétation plus précoce avec une avancée plus marquée en altitude, un cycle de végétation plus court en plaine, des gels de printemps, des fortes chaleurs qui stopperont la pousse de l'herbe en été, des températures automnales favorables au développement des prairies... De nouvelles pratiques culturales s'opéreront. Les premiers apports d'azote, la date de mise à l'herbe et les dates de récolte seront plus précoces. Les fortes températures de l'été induiront un besoin d'affouragement. Le développement des mélanges variétaux est à prévoir, tout comme l'implantation de prairies sous couvert pour limiter l'évapotranspiration. Les agriculteurs opteront pour des variétés de prairies à fort enracinement ou optimisant la pousse printanière. Une modification de la diversité floristique dans les prairies naturelles est aussi à attendre.

La pousse des céréales sera marquée par une reprise de végétation plus précoce, un risque de gel au printemps et un échaudage en été. Les récoltes seront plus précoces qu'aujourd'hui. Pour limiter le risque de gel de printemps, les agriculteurs auront la possibilité de semer plus tard, d'opter pour des variétés à montaison tardive. En plaine, les choix s'orienteront vers des variétés plus précoces afin d'éviter les périodes d'échaudage. Des pistes ont aussi été identifiées pour le maïs. Des indicateurs agroclimatiques hydriques permettront d'affiner l'analyse.

Sur le volet systémique, c'est le fonctionnement du système d'exploitation dans son ensemble qui évoluera : augmentation du ratio stock/pâturage, développement du pâturage tournant, déplacement des dates de vêlage, évolution des assolements, hausse des capacités de stockage...

Ainsi, l'adaptation au changement climatique fait appel à une grande diversité de leviers et nécessite l'implication de l'ensemble des acteurs qui composent et entourent le monde agricole.



Chapitre 4. Quels effets du changement climatique sur les forêts alpines

Comme les cultures, les forêts subissent les changements climatiques en plaine comme en montagne. L'avancée des stades phénologiques perturbe par exemple le cycle végétatif et rend les arbres plus vulnérables au risque de gel. Sous l'effet de l'élévation de la température, la répartition des espèces et des aires forestières change, mais les processus en jeu sont complexes et irréversibles en cas d'inaction. Les scientifiques tentent de les comprendre pour définir des stratégies d'adaptation et d'atténuation en vue de préserver la santé de la forêt méditerranéenne montagnarde. De leur côté, les pouvoirs publics et les acteurs alpins se mobilisent pour assurer une gestion durable des forêts, préserver les espèces et les paysages, développer la filière bois... Les interactions commencent à naître et des initiatives communes émergent, mais le dialogue devra se renforcer pour envisager des pistes communes et partagées.

4.1. Les cycles phénologiques des arbres vont-ils bouleverser les paysages forestiers montagnards ?

Les stades phénologiques d'un arbre jouent sur sa croissance et sa reproduction, notamment les dates de débourrement (Photo 8) et de sénescence foliaire qui contrôlent la durée de la période de végétation, et les dates de floraison et de maturation dont dépend le succès de sa reproduction. La phénologie est ainsi un bon marqueur des changements environnementaux. Quelle que soit l'altitude, les dates de débourrement, floraison, maturation et sénescence des arbres ont subi d'importants décalages lors des dernières décennies. En montagne surtout, le réchauffement climatique se traduit par un allongement notable de la saison de croissance des arbres (avance significative des dates de débourrement et retard de la sénescence). Cependant, ces décalages ne sont pas sans danger :

- une avance de la date de débourrement expose les jeunes feuilles aux gels tardifs et augmente le risque de dommages. Et même si les épisodes de gel seront probablement moins fréquents et moins sévères, leurs occurrences resteront aléatoires ;
- en réponse à la hausse des températures hivernales, les essences dont la levée de dormance nécessitent de grands froids, comme l'épicéa, pourraient subir une perte de croissance du fait des dates de débourrement tardives. Le début plus tardif de l'entrée en dormance, à l'automne, risque aussi de rendre les arbres vulnérables aux gels précoces.



Photo 8. Débourrage de chêne pubescent

Les décalages phénologiques des arbres vont aussi affecter les interactions entre espèces et leur valeur sélective. Une floraison plus précoce entraînerait une désynchronisation avec la période d'activité des pollinisateurs et une baisse du taux de reproduction. Et quelle sera la conséquence de l'apparition précoce des

aiguilles de mélèzes désynchronisée des stades larvaires de la tordeuse ? L'incertitude demeure quant à l'expression des capacités adaptatives des arbres, comme leur diversité génétique, intra et inter-populationnelle, et leur plasticité phénotypique qui dépend de l'expression de leurs gènes et de l'environnement.

Aux altitudes élevées, les modèles prévoient une extension des espèces par colonisation des milieux devenus plus favorables. Une étude basée sur 171 espèces forestières montre une remontée de ces dernières dans les massifs d'Europe de l'Ouest d'environ 29 mètres par décennie au cours du XX^{ème} siècle. En revanche, la limite supérieure des arbres est restée stable au

cours des dernières décennies, malgré l'augmentation de densité des populations dans ces zones. Les remontées observées sont principalement dues à la déprise pastorale. Les paysages montagnards étant largement issus des pratiques humaines, l'impact réel du changement climatique demeure donc encore méconnu.

4.2. Quelles nouvelles gestions forestières ?

Les forêts de montagne de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, dans leur composition et leurs structures actuelles, sont en partie menacées. Plusieurs espèces parmi les plus importantes sont en souffrance. Des dépérissements sont observés pour le sapin sur les versants chauds et au-dessous de 1400 m d'altitude. Le chêne blanc montre de façon générale une mortalité forte des branches et de fortes pertes de croissance. En 2017, une étude sur le pin sylvestre donne un taux moyen de défoliation proche de 50 % et un effondrement de la croissance moyenne sur les 15 dernières années. Pour toutes ces espèces, la mortalité d'arbres est deux à quatre fois supérieure à la normale jusqu'à 1400 m. L'étude de l'architecture des houppiers et la lecture des cernes de croissance montrent que l'état de santé de ces forêts s'est significativement dégradé dès la fin des années 90. Ce dernier avait auparavant subi deux crises récentes, suite aux sécheresses de 1989 et 1990, et entre celles de 1979 et 1982, mais les arbres avaient rapidement retrouvé leur croissance habituelle. Les crises plus anciennes, même violentes, n'avaient pas empêché la productivité de ces forêts qui ont significativement progressé au XX^{ème} siècle, tout particulièrement entre 1950 et 1980. Nous observons actuellement un retournement complet de tendance, indiquant un danger imminent. Le pin noir, qui avait résisté jusqu'à 2010 environ, commence aussi à montrer des signes inquiétants d'affaiblissement.

Pour chaque espèce, ces résultats peuvent être modulés par la topographie, l'exposition des versants, l'altitude et la qualité du sol, mais aucun de ces facteurs, contrairement aux décennies précédentes, n'est suffisant pour compenser totalement la dérive climatique et ses extrêmes. À ces contraintes propres à chaque espèce s'ajoute une pression croissante généralisée des maladies et parasites comme le gui, la chenille processionnaire ou certains insectes xylophages et champignons pathogènes. Thermophiles¹ notoires, ils gagnent chaque année de nouveaux territoires et se développent en altitude. Leurs attaques deviennent plus virulentes et leurs populations plus nombreuses.

Les recherches en France, corroborées par la littérature scientifique et technique internationale, indiquent que le bilan en eau est le facteur clé. Les éclaircies qui diminuent la concurrence entre les arbres, et entre les arbres et le sous-bois, sont le moyen le plus efficace pour limiter la souffrance et la mortalité des arbres lors des épisodes de sécheresse, préserver leur croissance et favoriser leur résilience après les crises. Par ailleurs, les arbres âgés sont plus sensibles : moins résistants et moins résilients. Rajeunir les forêts est donc aussi un élément important pour préserver les espèces actuellement en place. Éclaircir

et rajeunir les forêts a l'avantage de combiner plusieurs atouts :

- limiter les dépérissements et donc préserver la ressource et la productivité à moyen ou long terme de ces forêts ;
- limiter le risque d'incendie qui augmente avec la production massive de biomasse morte lors de ces dépérissements ;

« Le chêne blanc montre de façon générale une mortalité forte des branches et de fortes pertes de croissance. En 2017, une étude sur le pin sylvestre donne un taux moyen de défoliation proche de 50 % et un effondrement de la croissance moyenne sur les 15 dernières années »

- accompagner la demande croissante en produits dérivés du bois et en biomasse-énergie. En préservant la fonction « puits de carbone » de la forêt, on contribue à limiter le réchauffement climatique et le cercle vicieux dépérissements/incendies/réchauffement. Cette politique générale doit s'accompagner de la préservation de forêts anciennes, de réserves intégrales, de la protection de biotopes et espèces rares, en gardant à l'esprit que l'avenir de ces milieux est très menacé. Ne rien changer serait la pire solution !



¹ Micro-organismes capables de résister à une température élevée

4.3. Le développement de la filière bois dans les Alpes du Sud

En 2016, le volume de bois exploité en région Provence-Alpes-Côte d'Azur est estimé à 825 000 m³, en nette hausse par rapport aux années précédentes (+14,5 % par rapport à 2015). La récolte de bois en provenance des Alpes du Sud (au sens « massif alpin », incluant les départements des Alpes-de-Haute-Provence, des Hautes-Alpes, la majeure partie du département des Alpes-Maritimes et les parties est du Vaucluse et nord du Var) est pour sa part estimée à près de 620 000 m³, représentant ainsi les trois quarts de la récolte

régionale et se répartissant comme suit : 21 % destinés au bois d'œuvre, 33 % à la trituration et 46 % au bois énergie. En 2016, le volume de sciages reste quant à lui à un niveau très bas, s'inscrivant dans une décennie de baisse continue. Les 39 scieries régionales ont produit quelque 36 500 m³ de sciages, issus en quasi-totalité de conifères (sapin, épicéa, pin sylvestre, mélèze, pin noir). La concentration de l'activité de sciage dans les départements alpins des Hautes-Alpes et des Alpes-Maritimes reste une constante avec 73 % des sciages produits.

Évolution des volumes de bois exploités :

Hautes-Alpes : 39 780 m³ en 2011, **134 990 m³ en 2016**

Alpes-de-Haute-Provence : 219 850 m³ en 2011, **259 200 m³ en 2016**

Alpes-Maritimes : 33 540 m³ en 2011, **72 230 m³ en 2016**

(source : Observatoire régional de la forêt méditerranéenne)

Ces quelques chiffres illustrent l'importance des forêts des Alpes du Sud pour la filière bois régionale (Photo 9). Si différentes menaces pèsent sur ces forêts de montagne du fait, notamment, des évolutions climatiques et si la valorisation des bois régionaux reste encore à ce jour relativement faible, différentes politiques et démarches en cours de développement aux niveaux national, régional et local sont porteuses d'avenir pour la filière bois des Alpes du Sud et, plus généralement, de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. De nouvelles gestions forestières sont tout d'abord envisageables pour améliorer les peuplements, en assurer le renouvellement ou encore favoriser des essences plus adaptées (§4.2). Les efforts consentis par les acteurs de la filière, les territoires forestiers et les pouvoirs

publics pour mobiliser davantage la ressource en bois, tout en restant dans le cadre d'une gestion durable des forêts et en promouvant le tri des bois et la hiérarchisation des usages du bois, favorisent le développement de nouveaux marchés, notamment pour le bois d'œuvre. La démarche de certification « Bois des Alpes » visant à fédérer les acteurs à l'échelle du massif alpin constitue, quant à elle, une réelle opportunité pour une meilleure valorisation des bois en circuits courts. Enfin, la création récente d'une interprofession régionale forêt-bois poursuivant l'objectif de contribuer au développement économique régional par la création et le soutien d'emplois et d'entreprises devrait insuffler une nouvelle dynamique à la filière régionale.

« À la limite inférieure de l'aire des espèces en souffrance, il faut envisager leur remplacement et favoriser les espèces les plus méditerranéennes dans la régénération naturelle. En complément de cette dernière, semer ou planter des espèces plus résistantes à la sécheresse serait un début. La liste des candidats est variée : cèdre, cormier, érable de Montpellier, aulne de Corse en altitude, chêne vert, pin d'Alep... **Privilégier les peuplements mélangés et de structures diversifiées évitera de tout perdre en cas de grave crise climatique ou sanitaire** », Michel Vennetier, Irstea



Photo 9. La filière bois dans les Alpes du Sud

4.4. Le chauffage au bois et la qualité de l'air dans les vallées alpines

Certaines vallées alpines sont caractérisées par une forte pollution atmosphérique du fait de la concentration spatiale des activités humaines et de conditions atmosphériques spécifiques favorisant l'accumulation des polluants. Avec un bilan carbone considéré comme faible, le chauffage au bois (Photo 10) a cependant un impact négatif sur la qualité de

l'air. Comme tout type de combustion, cette source d'énergie émet de nombreux polluants gazeux dans l'atmosphère (composés organiques volatils, monoxyde de carbone, etc.), mais également des particules constituées de composés toxiques tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques dont certains sont classés comme probables ou possibles cancérogènes.



Photo 10. Chauffage au bois, village d'Entraigues

Les vallées encaissées des Alpes du Nord sont particulièrement exposées à cette source de pollution et notamment la vallée de l'Arve où un plan de protection de l'atmosphère a été mis en place en 2012. Grâce au projet DÉconvolution de la contribution de la COMbustion de la BIOMasse aux PM10 (DECOMBIO) dans la vallée de l'Arve, l'impact majoritaire du chauffage au bois résidentiel a été quantifié avec préci-

sion suite à une année complète de mesures de la composition chimique fine des particules (PM10) sur trois sites de cette vallée (Marnaz, Passy et Chamonix) et à l'utilisation du modèle Positive Matrix Factorization. En période hivernale, la contribution moyenne du chauffage au bois a atteint 73 % de la masse des PM10 sur le site de Passy, tandis que la fraction des émissions véhiculaires ne dépassait pas 10 % (Figure 14).

« L'utilisation d'un bois propre et sec et le renouvellement des dispositifs de chauffage au bois les moins performants permettent de limiter significativement les émissions de polluants. Le remplacement des vieilles installations de combustion offre de bien meilleurs rendements en limitant significativement les émissions de polluants »

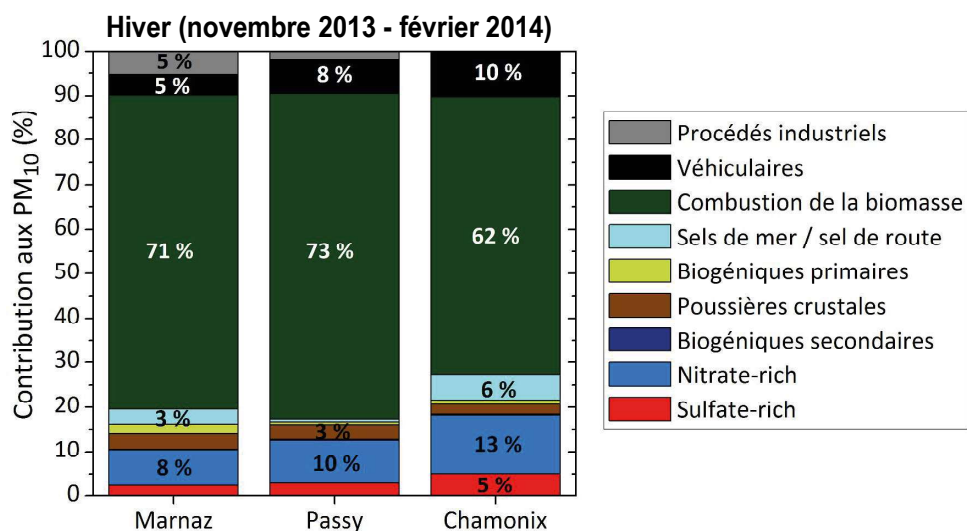


Figure 14. Contributions relatives en moyennes hivernales des sources de PM₁₀ au niveau des trois sites de la vallée de l'Arve (Chevrier, 2016)

Dans les Alpes du Sud, peu d'études et d'actions menées pour améliorer la qualité de l'air ont été réalisées en raison d'une problématique moins importante (vallées moins encaissées et peu de dépassements des seuils réglementaires), mais réelle. Entre 2010 et 2012, une étude a été menée à Gap par Air PACA. Suite

à la spéciation chimique des PM₁₀, une approche mono-traceur a été utilisée pour estimer la contribution de plusieurs sources de particules dont la combustion de la biomasse qui représente environ 50 % des PM₁₀ en moyenne hivernale à Gap (Figure 15).

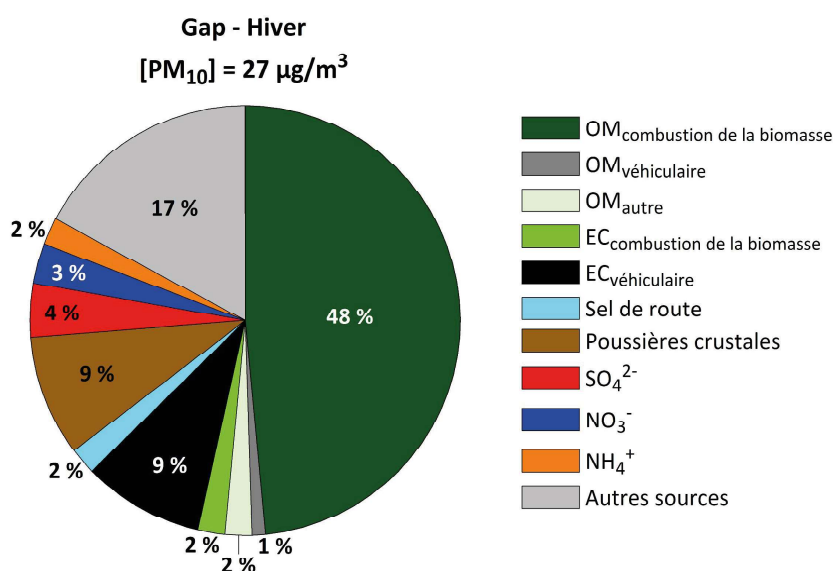


Figure 15. Estimation des contributions de différentes sources d'émissions dans la composition des PM₁₀ mesurées à Gap (Air PACA, 2012)

Des programmes peuvent être mis en place afin de réduire les émissions des PM₁₀ liées à l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie. C'est notamment le cas du Fonds Air Bois, dans la vallée de l'Arve, qui vise à inciter l'utilisation d'un bois propre et sec et, par une aide financière, le renou-

vellement des dispositifs de chauffage au bois les moins performants. En effet, le remplacement des vieilles installations de combustion offre de bien meilleurs rendements en limitant significativement les émissions de polluants (Tableau 2).

	Appareils de plus de 20 ans		Appareils modernes	
	Rendement	Émission de particules en mg/Nm ³	Rendement	Émission de particules (label Flamme Verte 7 étoiles) en mg/Nm ³
Foyer ouvert	< 10 % à 30 %	~ 1250		
Insert et foyer fermé	30 à 60 %	~ 1167	65 à 85 %	
Poêle à bûches	40 à 60 %	~ 1167	70 à 85 %	~ 23
Poêle à granulés			plus de 80 %	~ 12
Poêle à accumulation			80 à 90 %	~ 25

Tableau 2. Émissions moyennes de différents appareils de chauffage au bois (sources : ADEME, Flamme Verte, Prioriterre)



Chapitre 5. La biodiversité en montagne menacée ?

À l'échelle globale, les activités anthropiques qui engendrent une modification de l'occupation de surface, une mutation des paysages et une forte pollution (eau, air, sols...) et le changement climatique érodent gravement la biodiversité. Sous les effets directs et indirects de l'évolution de la température, des événements extrêmes et des aléas climatiques, la faune et la flore ont tendance à souffrir. Des espèces terrestres et marines ont la capacité de s'adapter aux nouvelles contraintes climatiques qui vont se renforcer ces prochaines décennies, d'autres profitent de l'évolution du climat pour étendre leur aire d'extension, mais la plupart d'entre elles voient leur santé s'altérer ou disparaissent. En montagne, la problématique est la même. Si l'augmentation de la température de l'air, par exemple, peut s'avérer être une opportunité pour une fraction de la faune et de la flore, qu'en sera-t-il demain ? Quelle sera la qualité et la durabilité des services écosystémiques rendus par la biodiversité si le climat s'emballe ?

5.1. La biodiversité rend-elle des services écosystémiques ?

Au-delà des aspects éthiques et patrimoniaux qui peuvent justifier l'importance donnée à la préservation de la biodiversité, il est aujourd'hui bien établi que la biodiversité joue un rôle primordial pour une large gamme de fonctions et propriétés des écosystèmes qui rendent des services à l'humanité. La diversité des plantes par exemple assure des fonctions aussi variées que la production d'oxygène, la stabilisation des sols ou encore la protection contre les avalanches, fonctions qui contribuent à la régulation du climat, au contrôle

de l'érosion ou encore à la protection des infrastructures.

La notion de services écosystémiques a émergé suite à l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire en 2005. Si, depuis, le concept a évolué, il continue d'exprimer le fait que la nature contribue au bien-être de l'humanité (Figure 16) au travers de trois grandes catégories de services dits « d'approvisionnement » (exemple : production), de régulation (ex. : du climat) et socioculturels (ex. : valeur esthétique).

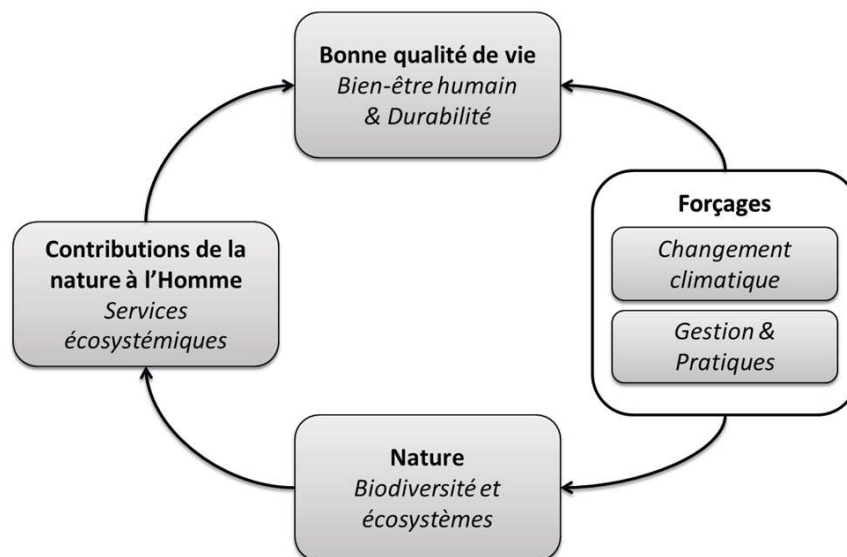
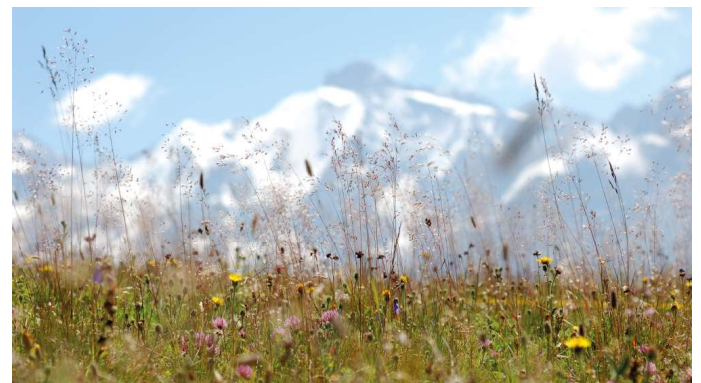


Figure 16. Schéma des relations entre la nature et l'Homme (source : Diaz *et al.* 2015)

En montagne, la variabilité des conditions environnementales (sol, altitude, exposition, pente...) et l'action de l'homme ont favorisé une biodiversité riche et typée qui contribue fortement aux services écosystémiques assurés par les écosystèmes d'altitude. Si une seule espèce peut jouer un rôle majeur, c'est souvent la biodiversité dans son ensemble qui est fondamentale pour les services écosystémiques. Ce rôle de la biodiversité provient notamment de la complémentarité entre espèces, c'est-à-dire, la capacité des espèces à mieux remplir ensemble une fonction de l'écosystème plutôt que seules. Les exemples sont nombreux pour illustrer le rôle fondamental de la biodiversité : la diversité des systèmes racinaires permet d'assurer un meilleur contrôle de l'érosion des sols sur les fortes pentes et une meilleure régulation de l'infiltration de l'eau ; la diversité des arbres contribue significativement à l'effet barrière des forêts face à la chute de blocs ; la diversité des plantes herbacées en alpage joue un rôle majeur pour la qualité du fourrage pour les troupeaux... En montagne, le changement

climatique, avec la hausse de la température moyenne, la fréquence et l'intensité des sécheresses, de l'exposition au gel,



est susceptible de conduire à des changements importants au sein de la biodiversité : augmentation de la mortalité des individus, disparition ou remplacement d'espèces par exemple.

Ces impacts constituent autant d'effets indirects sur la qualité des services écosystémiques : les sécheresses peuvent entraîner des dépérissements d'arbres (§4.2) et ainsi fortement déprécier le rôle de protection des forêts ou encore favoriser des espèces avec une moindre qualité fourragère et réduire le service de production fourragère pour l'agriculture. Toutefois, préserver la biodiversité déjà présente est un atout pour

mieux résister aux effets du changement climatique et maintenir la qualité des services écosystémiques. Une riche biodiversité peut souvent mieux résister, grâce à la complémentarité entre espèces, aux aléas climatiques et donc assurer le bon maintien des services écosystémiques. La biodiversité en montagne est un moyen pour assurer à la fois la qualité et la durabilité de ces derniers face au changement climatique.

5.2 Vers une perte de la biodiversité alpine ?

Dans les Alpes, le changement climatique peut se résumer à deux principaux facteurs : le printemps et l'été sont plus chauds et secs ; la période d'enneigement hivernal tend à se raccourcir. De nombreuses conséquences sont déjà observables dans les territoires alpins. L'activité biologique des plantes s'est par exemple accrue ces 30 dernières années provoquant un « verdissement » des montagnes. La végétation a gagné du terrain sur les surfaces minérales telles que les éboulis, parois, alluvions, espaces libérés par la fonte des névés et glaciers. Les espèces végétales sont donc actuellement en phase d'extension, et non de retrait ou de perte. Ce mécanisme est toutefois à considérer à l'échelle d'une période courte, soit à peine quelques décennies. Sur le plus long terme, les espèces alpines adaptées à des conditions écologiques spécifiques sont clairement menacées. Le changement climatique, en bouleversant les équilibres écologiques alpins, favorise la colonisation d'espèces qui fuyaient jusqu'ici le climat montagnard. Ainsi, une nouvelle compétition pour accéder aux ressources émerge.

La banalisation des différentes espèces d'altitude qui présentent une biodiversité singulière est un risque majeur : la faune et la flore des écosystèmes alpins disparaissent au profit d'espèces

plus « communes », issues de tranches altitudinales inférieures, qui gagnent du terrain et renforcent la concurrence au sein de la biodiversité alpine. Le lièvre commun supplante désormais par exemple le lièvre variable (photo 11) et les plantes spécifiques des combes à neige disparaissent au profit d'une végétation qui se développait à basse altitude. Après une phase d'extension, les espèces d'altitude risquent donc de connaître une très forte régression, dont l'ampleur est encore mal évaluée.

Les espèces alpines se caractérisent par des adaptations à des conditions écologiques drastiques. Elles ont la capacité d'absorber les effets du changement climatique sur leurs habitats ou de résister jusqu'à un certain seuil. Ce dernier est une question centrale, mais il est encore méconnu, voire inconnu. Des effets de seuil ont toutefois déjà ponctué l'histoire du vivant : passé un stade de pertes de biodiversité, c'est l'effondrement en chaîne des communautés du vivant interagissant les unes avec les autres. Pour éviter une rupture irréversible, il est essentiel de collecter des données, de les interpréter, de parfaire et partager les connaissances techniques et scientifiques, de croiser les regards et mobiliser l'ensemble des acteurs publics et privés qui œuvrent pour préserver la montagne et sa biodiversité.



Photo 11. Lièvre variable

Zoom 4. Les marmottes vont-elles s'adapter au changement climatique ?

Le climat des Alpes a évolué à un rythme sans précédent depuis la fin du XIX^{ème} siècle : augmentation de la température de plus 2°C, diminution des précipitations en été et augmentation au printemps et en hiver. Ces modifications impactent fortement les chutes de neige et le manteau neigeux. La marmotte alpine (Photo 12), espèce emblématique des Alpes, subit ces changements climatiques. Les marmottes hibernent dans leur terrier de mi-octobre à début d'avril, puis passent la saison active à accumuler suffisamment de graisse pour survivre à l'hibernation. Elles vivent en groupes familiaux, composés d'un couple de dominants qui se reproduit une fois par an, d'un ou plusieurs subordonnés et de marmottons. Ce mode d'élevage coopératif est caractérisé par la présence d'auxiliaires, qui bien que sexuellement matures, acceptent de ne pas se reproduire. Chez les marmottes, ce sont les mâles subordonnés qui jouent ce rôle d'auxiliaire. Pendant l'hibernation, ils contribuent à augmenter la survie des marmottons en participant activement à la thermorégulation sociale. Durant l'hibernation, les marmottes sortent de leur torpeur une quinzaine de fois. Ces réveils sont extrêmement coûteux en énergie. Les auxiliaires, en se réveillant avant les marmottons, réchauffent certainement le terrier et permettent aux marmottons de limiter leur consommation d'énergie.



Photo 12. Marmottes à l'entrée de leur terrier

Grâce à un suivi initié en 1990 sur la population de la réserve de la Grande Sassièr (Savoie), il a été mis en évidence que la taille des portées décline constamment et ce à cause de l'amincissement de la couverture neigeuse hivernale qui accentue le froid dans les terriers. Les femelles sortent désormais d'hibernation amaigries. Trop maigres, elles produisent un marmotton de moins par portée par rapport aux années 90. La survie de ces marmottons a également diminué. Cette baisse du nombre de marmottons et de leur survie a pour conséquence immédiate une réduction du nombre d'auxiliaires présents dans les familles les années suivantes, diminuant d'autant les chances de survivre à l'hiver des marmottons nés récemment. Cette boucle de rétroaction entre contexte écologique et social peut avoir un fort impact sur le système social si particulier de la marmotte. Depuis 1990, la baisse de la survie moyenne des marmottons est observée essentiellement dans les groupes familiaux avec auxiliaires, ce qui suggère que les bénéfices de ce mode d'élevage diminuent avec le changement climatique. La croissance de la population ralentit. Si cet impact négatif est partiellement contrebalancé par un accès plus important à la reproduction pour les subordonnées de nos jours, le changement climatique pourrait perturber les pressions de sélection qui ont jusqu'à présent favorisé l'élevage coopératif chez la marmotte alpine. Cet exemple montre qu'au-delà des conséquences désormais reconnues sur la survie et la reproduction des animaux, les changements climatiques auraient également des répercussions importantes sur les organisations sociales et sur la propension des individus à coopérer.

5.3. Les effets du bouleversement climatique sur les zones humides et les lacs de montagne

Les écosystèmes aquatiques de montagne ont un rôle majeur dans l'autoépuration et la régulation de la ressource en eau. Ils constituent des réservoirs de biodiversité empreints d'une image forte de naturalité (Photo 13). Ils portent l'image de milieux exempts de toute perturbation, car loin de toute activité anthropique directe. Au contraire, ces écosystèmes constituent des milieux fragiles, sensibles aux changements climatiques, dont le fonctionnement a été influencé par les activités humaines depuis plusieurs millénaires.

Soumis à des contraintes environnementales fortes (gel et obscurité pouvant durer jusqu'à 10 mois), les lacs abritent des réseaux trophiques simplifiés, sensibles aux changements environnementaux. Ils sont qualifiés de milieux « sentinelles ». Leur fonctionnement dépend directement de la température, de l'hydrologie, des retombées atmosphériques et des interactions

avec le bassin versant. En agissant sur ces facteurs, les changements climatiques peuvent entraîner des modifications rapides du fonctionnement lacustre et des communautés phytoplanctoniques comme observé par le passé.

Le climat a une influence directe sur la température, la période d'englacement, le pH et les niveaux lacustres, et indirecte sur le bassin versant, la densité du couvert végétal, et l'intensité de l'érosion des sols, des facteurs modulant le transfert des nutriments jusqu'au lac. Ce transfert de nutriments dépend du régime hydrologique et se fait essentiellement lors de la fonte des neiges et des épisodes de pluie. La température agit sur la composition des communautés planctoniques, mais également sur la stabilité de la stratification thermique estivale, les processus de dégradation de la matière organique et donc la concentration en oxygène au fond.

Photo 13.
Lac de Fenestre, Parc national du Mercantour



Sous l'influence des changements globaux, une augmentation du niveau de trophie des lacs, une modification de la composition des communautés à une diminution de la transparence ou encore des phénomènes d'anoxie au fond des lacs profonds sont attendus. Les modifications induites par les changements climatiques (Figure 17) vont se superposer aux usages déjà présents sur ces écosystèmes (randonnée, pêche, etc.) et aux effets de la déprise agropastorale à l'origine d'une reprise de la forêt alpine. Il convient donc de mieux comprendre le fonctionnement de ces milieux et leur évolution à long terme afin d'identifier les perturbations liées au changement climatique récent et d'adopter des mesures de gestion permettant de limiter leurs effets délétères.

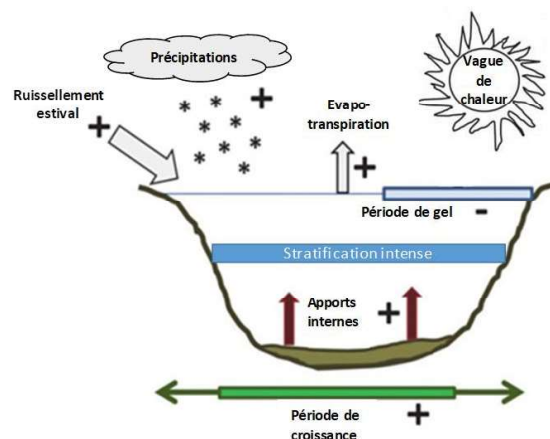


Figure 17. Évolutions probables sous l'influence des changements climatiques :
+ augmentation ; - diminution (source : schéma modifié, L.N. De Senerpont Domis *et al.*, 2013)

Chapitre 6. Des espaces habités face au changement climatique, une nécessité d'atténuation et d'adaptation

Les impacts du changement climatique pèsent sur l'économie et l'aménagement des territoires montagnards. Le tourisme blanc est l'une des activités qui suscite le plus d'interrogations, car sa remise en cause bouleverse tout un pan de la vie économique et sociale des acteurs alpins, les orientations politiques aux niveaux local, régional et national... Mais la mise en œuvre d'actions susceptibles de limiter les effets de l'évolution du climat ne doit pas être seulement perçue comme une contrainte dans la mesure où elle peut ouvrir le champ à des pistes d'adaptation et d'atténuation porteuses d'espoir, malgré les difficultés.

6.1. L'or blanc s'écrit-il en pointillé dans les Alpes du Sud ?

Skier dans de bonnes conditions dans les Alpes du Sud dans 30 ans sera-t-il encore possible ? La neige naturelle sera-t-elle toujours au rendez-vous à l'avenir ? Avec le changement climatique, les professionnels du tourisme s'interrogent sur la fiabilité de l'enneigement naturel dans les stations alpines.

Sous l'effet de l'augmentation de la température de l'air, la fiabilité de l'enneigement naturel, basée sur les domaines skiables susceptibles d'ouvrir 100 jours avec au moins 30 cm de neige au sol, varie selon les massifs alpins. La limite altitudinale a en effet tendance à s'élever ces dernières décennies (§1.2, §1.3). Dans les Alpes du Sud, la fiabilité de l'enneigement se situerait au-dessus de 1600-1700, voire 1800 mètres d'altitude en 2050. D'après une approche prospective, avec une augmentation de la température de l'air de 2°C par rapport à la période préindustrielle (proche de la situation actuelle), 80 % des domaines skiables dans les Hautes-Alpes seraient encore opérationnels. Néanmoins, les écarts se creusent entre les massifs avec une augmentation possible de +4°C si de sévères mesures d'atténuation de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale ne sont rapidement pas mises en œuvre, puisque le taux d'enneigement fiable serait proche de 70 % en Savoie, seulement 30 % dans les Hautes-Alpes et 10 % dans les Alpes-de-Haute-Provence (Photo 14). Les domaines skiables des Alpes du Sud seraient donc particulièrement vulnérables : seules quelques stations, comme Montgenèvre, Risoul ou Les Orres, grâce à leur altitude et/ou l'orientation de leurs pistes, seraient en mesure de maintenir

une offre touristique durable principalement axée sur la pratique du ski alpin, avec toutefois des années de pénurie et un enneigement capricieux selon les années et les périodes hivernales. En effet, cet indicateur ne doit pas masquer la forte variabilité interannuelle de l'enneigement dans les Alpes du Sud (typique du climat montagnard méditerranéen), l'influence des microclimats selon l'orientation des versants par exemple, mais aussi les moyens techniques des stations de ski, comme le travail des pistes ou la neige de culture. Cette dernière a le mérite de pallier temporairement le manque de neige naturelle et d'apporter si besoin plus de confort aux amateurs de glisse, mais elle exige en contrepartie des investissements lourds qui demandent en amont une analyse du contexte local en raison des impacts sur l'environnement (perturbation des hydrosystèmes, construction de bassins de rétention, consommation d'énergie...) et de l'évolution des températures de l'air, surtout en basse et moyenne altitude.

La fragilité des stations dans les Alpes du Sud dépendra des choix socio-économiques qui conditionneront les émissions des gaz à effet de serre à l'échelle mondiale, régionale et locale, et des mesures d'adaptation au changement climatique, mais les stations situées en basse et moyenne altitude devront s'orienter vers un tourisme 4 saisons pour ne plus dépendre de l'or blanc. Les nouvelles simulations climatiques, basées sur les scénarios du dernier rapport du GIEC, affineront ces tendances.

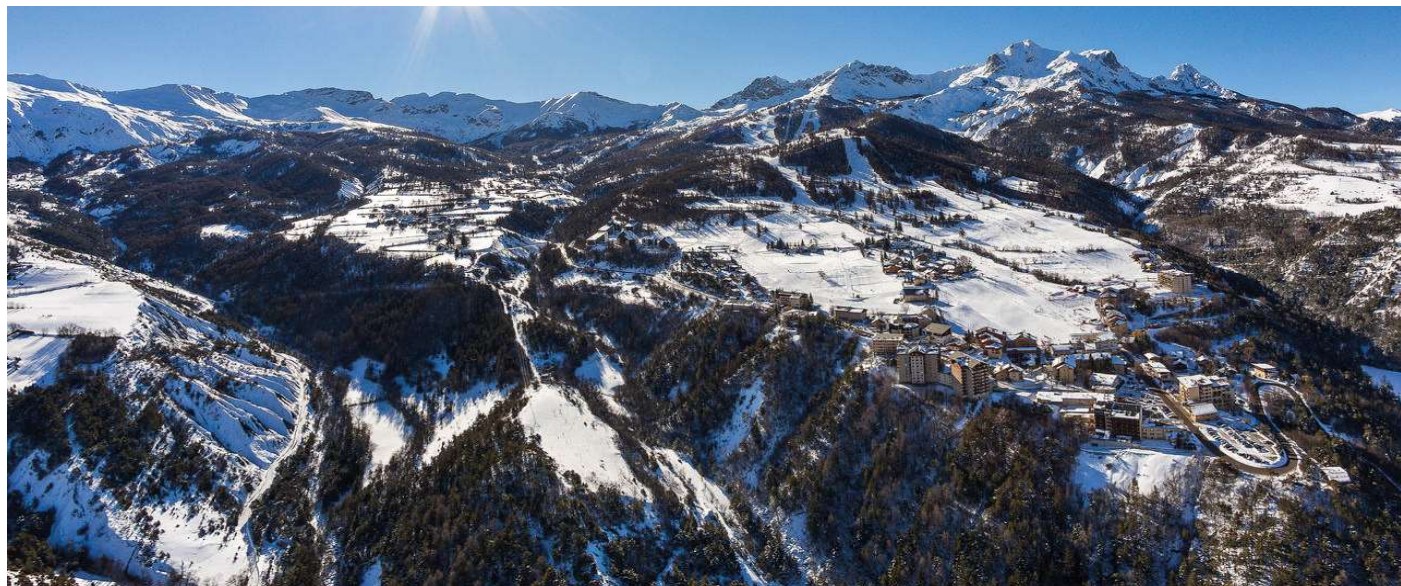


Photo 14. Le Sauze, Alpes-de-Haute-Provence

Zoom 5. Guides et gardiens de refuge, pionniers de l'adaptation !

Les guides et gardiens de refuge portent un regard particulier sur l'évolution du climat en montagne. Comme le changement climatique est plus marqué en haute montagne qu'en plaine, ils sont les premiers témoins du bouleversement amorcé depuis des décennies. Ainsi, l'adaptation est déjà au cœur de leur culture professionnelle, et guides et gardiens font figure de pionniers dans l'expérimentation de nouvelles ressources et savoir-faire.

Si l'effet du changement climatique sur les sports d'hiver polarise l'attention, son impact sur le tourisme estival en montagne est largement sous-estimé. Dans le cas de l'alpinisme, le retrait glaciaire et la disparition des névés bouleversent les conditions de pratique : décalage des ascensions de l'été vers le printemps, délaissement ou disparition d'itinéraires, déclin de la randonnée glaciaire, élévation des niveaux de difficulté, augmentation des risques de chutes de pierre et d'éboulements... Pour les guides de haute montagne, ces contraintes impliquent de multiples adaptations à partager avec leurs clients : impératif de réactivité face à la variabilité



Photo 15. Le refuge des Écrins, Pelvoux

des conditions, mobilité accrue vers d'autres massifs, report d'activité sur le ski de randonnée, les voies rocheuses, la via ferrata et le canyoning, gestion des risques accentuée.

Pour la majorité des gardiens de refuge, l'adaptation s'opère au prix d'une réorientation radicale basée sur l'accueil d'un public élargi et le développement de compétences en médiation et animation. Pour y parvenir, les gardiens jouent sur l'ensemble des ressources à leur disposition en matière d'accessibilité pédestre, d'environnement paysager (lac, panorama...), mais aussi d'expériences de la nature. Les refuges deviennent progressivement des destinations à part entière (Photo 15) et des lieux d'initiation à la montagne où se vivent expositions, résidences d'artistes, concerts, bals, classes vertes, stages et séjours... Cette mutation et l'extension des périodes de gardiennage au printemps et en hiver, grâce au ski de randonnée et à l'alpinisme, multiplient les exigences liées à l'accès aux refuges (ouverture des routes, installation des passerelles) et la mise à niveau de leur équipement (eau, énergie, chauffage, toilettes). La nouvelle donne climatique implique aussi le renforcement de démarches d'information et de formation destinées aux pratiquants.

6.2. Les stations de montagne du futur, un visage polymorphe ?

À la fin de la Seconde Guerre mondiale, les sports d'hiver ont été perçus comme le moyen de moderniser et développer les territoires de montagne. Cette politique étatique a permis à la France de faire partie du top 3 des destinations mondiales de sports d'hiver avec les États-Unis et l'Autriche. Cette réussite cache cependant une grande disparité entre les territoires puisque deux départements (Savoie et Haute-Savoie) représentent 63 % des journées-skieurs consommées en France (Indicateurs et analyses 2017, Domaines Skiables de France). Quant aux Alpes du Sud, elles pèsent pour 14 % de la fréquentation nationale. Cette logique de concentration est visible également à travers le type de station. Les très grandes et grandes stations regroupent à elles seules 78 % des journées-skieurs. Concernant les Alpes du Sud, le marché des sports d'hiver est porté par les grandes stations telles que Serre-Chevalier, Vars et Les Orres (Photo 16).

Le modèle économique de sports d'hiver demande des investissements lourds aux collectivités territoriales pour le maintien des remontées mécaniques (remplacement, maintenance). À ces engagements financiers viennent s'ajouter des technologies et des techniques coûteuses pour faire face aux aléas climatiques (neige de culture, travaux de pistes, damage...). Dans les Alpes du Sud, cette course à l'investissement fait peser un poids supplémentaire sur les finances des collectivités locales déjà en difficulté.

À cette problématique financière s'additionne, dans les Alpes du Sud, une variabilité interannuelle du climat entraînant un en-

neigement aléatoire, notamment en fin de saison. La rentabilité d'une station de sports d'hiver est assurée si son ouverture est supérieure à 100 jours par an. Aujourd'hui, cette durée n'est pas toujours garantie dans les Alpes du Sud (§6.1). La pression est donc très forte sur l'enneigement, mais également sur la ressource en eau.

Le marché des sports d'hiver est extrêmement concurrentiel du fait de la stagnation de la fréquentation. Les stations des Alpes du Sud sont éloignées des grandes voies de communication, ce qui décourage grandement les clientèles européennes, même si certaines stations renforcent leur publicité et leur communication à l'étranger.

Malgré ce contexte, les acteurs des stations de sports d'hiver des Alpes du Sud continuent de centrer leur activité autour de la neige. Le modèle souhaité est celui des Alpes du Nord et non un positionnement spécifique à leur territoire. En termes d'aménagement, la construction de lits neufs continue à se poursuivre dans plusieurs stations. La diversification de l'offre touristique reste à la marge, même si des efforts sont manifestes, et perçue comme un simple complément à l'activité ski.

La mise en place des espaces valléens¹ dans les Alpes du Sud va permettre de repenser en profondeur l'offre touristique des territoires. Le nouveau visage des stations de sports d'hiver se dessinera et leur capacité à diversifier leur offre touristique en valorisant les ressources locales sera renforcée.

¹ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2128988>



Photo 16. Front de neige de la station des Orres 1600

6.3. La loi Montagne 2 : une intégration des changements climatiques dans la législation ?

Le droit serait-il en avance sur les élus et les acteurs locaux du tourisme pour penser l'adaptation aux changements climatiques des territoires de montagne ? Les chercheurs en droit qui ont analysé le volet 2 de la loi Montagne (Joye, 2017) mettent en

avant une vision anthropocentrée du développement durable : la montagne resterait un espace de conquête et non un espace à protéger. Néanmoins, le législateur reconnaît le besoin d'un changement de modèle, mais celui-ci reste au stade théorique.



Photo 17. Prapic enneigé

Deux points sont essentiels dans l'évolution juridique du développement durable des territoires de montagne (Photo 17) :

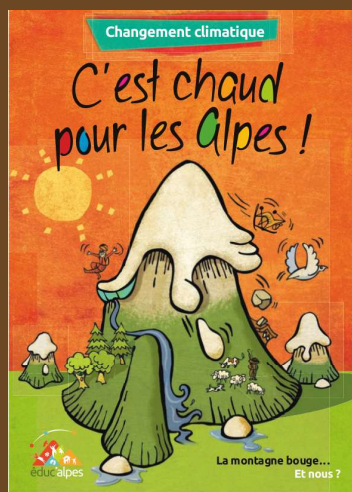
- de par sa réforme récente des unités touristiques nouvelles (UTN), l'État renforce le pouvoir des collectivités locales et le rôle de la planification territoriale. C'est également la première apparition du concept de vulnérabilité au changement climatique dans le code de l'urbanisme appliqué à une procédure administrative. En effet, le développement touristique et en particulier la création des UTN « prennent en compte la vulnérabilité de l'espace montagnard au changement climatique ». De ce point de vue, c'est un progrès car il sera, par exemple, possible de traiter un « projet restreignant la ressource en eau, le territoire agricole, l'artificialisation du sol, etc. ». Certes, cette inscription dans la loi n'interdit pas les projets d'aménagement, mais elle revient à imposer un « principe de prudence aux investisseurs » ;
- avec la loi du 28 décembre 2016, la législation « tente de prendre en compte la réversibilité des équipements, la remise en état des sites et leur reconversion ». L'autorisation de réalisation de travaux dédiés aux remontées mécaniques est dorénavant assujettie au démontage de celles-ci et de leurs constructions annexes, et à la remise en état des sites dans un délai de trois ans après l'arrêt définitif des remontées mé-

caniques. Actuellement, un certain nombre de questions juridiques restent toutefois en suspens : il n'existe pas d'obligation pour l'exploitant de constituer une provision financière. Sur qui pèsera cette mesure ? Et quelle autorité viendra constater la mise en arrêt d'un équipement de remontées mécaniques, et à l'aide de quel acte juridique ? Néanmoins, ces avancées démontrent une prise de conscience par le législateur du risque de créer des friches par des investissements anachroniques au regard des aspirations des touristes ou du changement climatique.

Il est encore difficile de savoir comment la loi va évoluer et de quelle manière le législateur prendra en considération la problématique du changement climatique, mais le droit en montagne tend vers une meilleure gestion des territoires.

« L'autorisation de réalisation de travaux dédiés aux remontées mécaniques est dorénavant assujettie au démontage de celles-ci et de leurs constructions annexes »

Zoom 6. Changement climatique et adaptation, comment sensibiliser et former les acteurs alpins ?



Pour l'éducation citoyenne, le changement climatique est l'un des enjeux les plus difficiles à appréhender : le thème est scientifiquement complexe ; les connaissances comportent de nombreuses incertitudes ; le phénomène est difficilement perceptible par les sens ; les effets sont considérés comme lointains à la fois dans l'espace et dans le temps ; les risques parfois oubliés. À cela s'ajoute un traitement médiatique qui alimente parfois le scepticisme et la remise en cause de nos modes de vie, ce qui rend difficile la mise en mouvement individuelle et collective.

Face à ces freins, les acteurs du pôle Educ'Alpes Climat expérimentent depuis 2010 diverses méthodes pour sensibiliser les publics alpins (jeunes, citoyens, professionnels, élus...) aux impacts du changement climatique, et font ressortir plusieurs points clés :

- l'importance de l'apport de connaissances locales développant la vision systémique du changement climatique. Les efforts sont à poursuivre sur le massif alpin pour rendre ces informations accessibles ;
- l'intérêt de s'appuyer sur le terrain physique et humain : la montagne permet de montrer les impacts du changement climatique. On pense à la fonte des glaciers ou à la migration d'espèces, mais faire témoigner des professionnels (agriculteurs, gestionnaires de stations, guides...) sur les changements qu'ils observent dans le milieu et leurs pratiques peut aussi être un puissant levier de prise de conscience ;
- l'utilisation de pédagogies actives et méthodes participatives qui développent l'esprit critique, les échanges, les débats, redonne du pouvoir d'action aux groupes et individus sur un sujet face auquel ils se sentent souvent impuissants ;
- enfin, aborder le changement climatique par un versant plus personnel (approches émotionnelles, sensorielles, artistiques, vécu...) est essentiel pour que chacun se sente concerné par ce sujet. Les dimensions psychologiques et sociales du changement climatique ont été encore peu investies dans les Alpes et les recherches gagneraient à être développées pour renouveler l'approche du sujet.

6.4. Économie circulaire et numérique dans les Alpes du Sud, des modèles d'atténuation ?

L'économie circulaire se présente comme un système économique résilient au modèle actuel de production et d'usage, dit « linéaire », qui, dans le cycle de vie d'un bien ou service, de l'extraction des matières premières à son élimination, engendre des nuisances et des résidus non valorisables. La circularité apporte de nouveaux bénéfices socio-économiques à chaque phase du cycle de production par la réduction du gaspillage de ressources et des incidences socio-environnementales. Cela se traduit concrètement par un approvisionnement responsable, une réutilisation des déchets et ressources énergétiques fatales, une extension de la durée de vie et un usage partagé et renouvelé. L'ensemble du processus de conception-production-usage-élimination intègre le triptyque sobriété-efficacité-valorisation. Cela implique de positionner la conception du produit dans une stratégie de service et non de propriété, et ouvre un champ nouveau d'innovation à toute échelle.

Les Alpes du Sud accueillent une activité économique plurielle rythmée par une forte saisonnalité. Cela implique une variation de flux complexes à gérer : déchets, énergies, eau, ressources humaines, foncier-bâti... Les territoires ruraux de montagne sont riches de ressources naturelles, de savoir-faire et d'un tissu d'acteurs dynamiques qui, dans un processus de synergie circulaire, représentent un fort potentiel de valorisation socio-économique de gisements considérés jusque-là comme de la perte sèche. Une fois pleinement mobilisée, cette valorisation limitera l'empreinte et la vulnérabilité des territoires. Cela passe à la fois par le développement de l'économie de la fonctionnalité et de l'écologie industrielle et territoriale. La solidarité montagnarde et rurale a déjà permis d'intégrer partiellement ces notions au travers de coopératives agricoles ou encore dans une gestion exemplaire des déchets à l'image des territoires zéro déchet de Serre-Ponçon et du Briançonnais.



Photo 18. Filière bois-énergie

Engager les Alpes du Sud dans un modèle territorial circulaire peut se traduire par les actions suivantes :

- mise en partage des solutions de mobilité et des outils de production : autopartage, covoiturage, atelier bois collaboratif, coopérative de transformation alimentaire... ;
- valorisation et réemploi des déchets ménagers et professionnels : ressourcerie, plateforme de compostage, déchetterie dédiée au BTP, unité de valorisation de biogaz ;
- mixité d'usage du foncier non bâti (surface urbanisée/agricole et production d'énergies locales, digues de protection et pistes cyclables...) ;
- mutation des affectations du bâti délaissé (habitat groupé, espace de coworking, centre culturel et artistique...) ;
- combinaison de services économiques touristiques et endogènes (services à la personne et de conciergerie par exemple).

Les champs d'application ne sont limités que par la quantité de flux disponibles et la créativité des acteurs à les valoriser, inventivité qu'il sera nécessaire de stimuler dans une approche faisant appel à l'intelligence collective. Le chemin est d'ores et déjà engagé par l'intermédiaire de nombreuses initiatives individuelles, publiques et privées (Photo 18) qu'il reste à consolider de manière stratégique, coordonnée et hautement ambitieuse. Renforcer l'intensité d'usage des matières premières dans une boucle itérative à forte valeur ajoutée contribuera à la résilience climatique des territoires de montagne et la consolidation de leur viabilité socio-économique.

« S'engager sur une stratégie de transition est essentielle car porteuse de nombreuses retombées positives sécurisant la capacité d'habiter le territoire »

6.5. Stratégies territoriales de transition(s) et leur reconnaissance, catalyseur d'une mise en mouvement collective et coopérative ?

Rassembler les acteurs du territoire autour d'une stratégie de transition écologique est un défi majeur auquel les collectivités sont aujourd'hui confrontées pour plusieurs raisons : cisellement des compétences dans les différentes instances territoriales, manque de moyens financiers et humains pour animer une démarche collective, faible culture de la concertation, conscience relative de l'urgence climatique et de ses impacts pour le territoire...

Malgré les difficultés, s'engager sur une stratégie de transition est essentielle car porteuse de nombreuses retombées positives

sécurisant la capacité d'habiter le territoire :

- amélioration de l'attractivité territoriale sur le volet économique et touristique ;
- impulsion d'une dynamique locale grâce à l'engagement des acteurs économiques, notamment socioprofessionnels ;
- anticipation de la réglementation ;
- augmentation de l'efficacité des investissements publics ;
- amélioration du bien-être des habitants et des visiteurs ;
- innovation sociale et économique frugale et coopérative, facteur de mobilisation locale...

Aujourd'hui, des collectivités privilégient des démarches concertées de vision rêvée de leur territoire sur 15 ou 20 ans. Ces initiatives prospectives sont le point de départ d'une stratégie de transition : par exemple, Superdévoluy et sa vision Dévoluy 2030, Les Rousses et sa stratégie territoriale durable ou encore Valberg qui, après avoir signé la charte du développement durable de l'Association nationale des maires des stations de montagne (ANMSM), se lance dans la labellisation Flocon Vert (Figure 18). Ces premières collectivités cherchent à rassembler afin de co-construire et engager les parties prenantes dans un territoire à haute valeur ajoutée. L'outil choisi par Valberg est le label Flocon Vert, porté par l'association Mountain Riders. Ce dernier est transverse et questionne de nombreuses thématiques allant de la gestion des ressources naturelles à l'accueil des saisonniers, en passant par la mobilité. La labellisation est en ce sens un processus intéressant, car elle rassemble les ac-

teurs et valorise leurs actions, et donc favorise leur engagement dans une dynamique d'amélioration continue.

Plusieurs éléments sont à retenir pour lancer une dynamique autour d'une stratégie de transition :

- mettre en lumière les bonnes pratiques déjà existantes sur le territoire ;
- rassembler les acteurs pour co-construire une vision rêvée ;
- désigner des « animateurs » de la démarche et travailler avec les parcs nationaux et les parcs naturels régionaux, nombreux en région Provence-Alpes-Côte d'Azur ;
- valoriser cette stratégie auprès du grand public, à l'aide de labels tels que le Flocon Vert, la certification iso (qualité, environnement, énergie...), Cit'ergie, etc. ;
- engagement sur la durée des décideurs locaux dans le portage de la démarche.

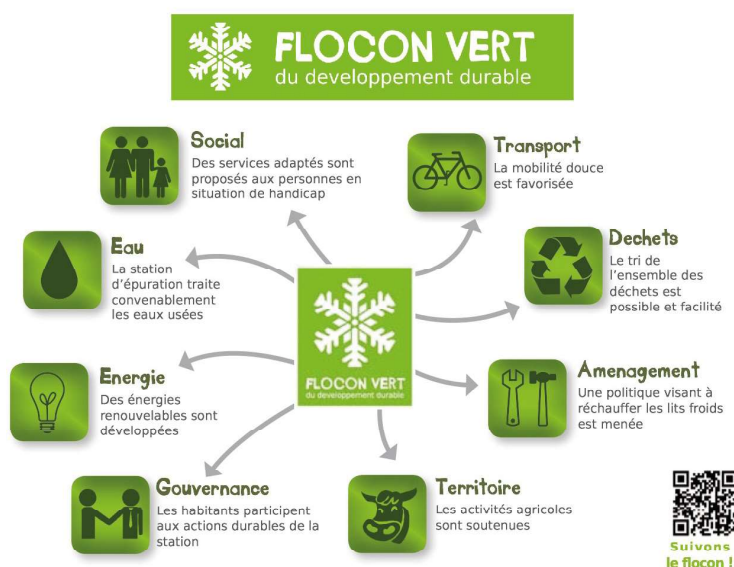


Figure 18. Le label Flocon vert (www.flocon-vert.org/le-label/)

6.6. La mobilité, le parent pauvre des territoires alpins ?

Les émissions de gaz à effet de serre de la France sont réparties à la hausse en 2015 et 2016 après une baisse quasi ininterrompue depuis la fin des années 90. Les déplacements automobiles, premières sources d'émission en France avec 29 % des rejets (25 % en moyenne dans les pays alpins), constituent un enjeu majeur dans la lutte contre le réchauffement climatique.

La Convention alpine a très tôt dressé une feuille de route avec son protocole « transport ». Ce dernier pose comme enjeu principal la diminution du transport routier au profit des transports publics, du transport par rail, principalement à travers trois leviers :

- la gestion rationnelle et sûre des transports, notamment dans les réseaux transfrontaliers ;
- la coordination des différents modes et moyens de transport (interopérabilité) ;
- l'instauration de mesures incitatives pour parvenir à des conditions de concurrence équitable entre les transports et rendre les modes de transport alternatifs à la route plus compétitifs.

Force est de constater que la voiture individuelle et la route demeurent le mode de déplacement privilégié, notamment dans les territoires ruraux alpins. La réforme en cours de la SNCF laisse peser de nombreuses incertitudes sur les lignes régionales (lignes depuis l'étoile ferroviaire de Veynes, train de Nice à Tende/Photo 19, etc.). De leur côté, les lignes de bus et les services de transport à la demande sont régulièrement remis en cause pour des raisons financières.

Des éléments pourraient guider l'évolution des modes de transport dans les Alpes ces prochaines années :

- le développement des véhicules électriques marquera sans conteste les prochaines décennies ;
- l'amélioration de la coordination des acteurs du secteur est envisageable à travers les nouvelles technologies ;
- le développement de nouvelles formes de mobilité associées à un tourisme doux : tourisme itinérant, réflexion autour du transport par câble entre la montagne et la plaine, usage des transports collectifs comme le Train des Pignes.



Photo 19. Train des Merveilles

Enfin, il faut rappeler que l'enjeu est d'assurer une bonne accessibilité, la plus indépendante possible de l'automobile. Les réponses se trouvent dans le redéploiement de l'activité et des services dans les territoires à travers notamment le numérique,

ainsi qu'à une meilleure intégration des enjeux d'aménagement du territoire (conservation des cœurs de village, limitation de l'étalement urbain...).

6.7. Quel urbanisme demain en montagne ?

La montagne est un territoire disposant de grandes richesses, mais un territoire contraint où la quasi-totalité des problèmes d'aménagement est présente. Ce qui fonctionnera ici servira ailleurs. En ce sens, lors de leur création, les zones périphériques des parcs nationaux (zones d'adhésion) étaient considérées comme des laboratoires vivants de ce qui était encore appelé « développement durable ».

L'urbanisme qui se contente de prolonger les tendances est irresponsable et révolu. Nous avons aujourd'hui les outils pour anticiper les conséquences du changement climatique et infléchir la dégradation de la biodiversité, si nous le décidons. Mais il sera nécessaire de réhabiliter la pensée à long terme et de rendre tous leurs moyens aux équipes d'urbanistes pluridisciplinaires.

Pour l'urbanisme de demain, les grands axes à privilégier sont les suivants :

- gérer le foncier : la spéculation et la rétention des terrains sont des obstacles majeurs à l'organisation rationnelle du sol, pour tous ses usages. Depuis la loi d'orientation foncière (1967) et les idées développées par son auteur, Edgar Pisani, les moyens sont connus, mais personne n'a voulu se lancer dans une réforme ô combien sensible, même si des avancées significatives ont vu le jour (offices fonciers, par exemple) ;
- penser « local » : les textes législatifs sont le plus souvent conçus en dehors des réalités de la montagne. Trop de lois (lois Solidarité et renouvellement urbain, Montagne, etc.),

clairvoyantes et adaptées à l'origine, ont été dévoyées par des préoccupations politiciennes de court terme ;

- développer les mobilités, en s'attaquant aux causes et non aux effets : les déplacements visent le travail, les courses, les loisirs, l'accès aux services publics... Se poser la question de l'équilibre habitat/emploi sur un territoire donné serait un minimum. Pour les services publics et les courses du quotidien, les habitants pourraient jouer un rôle de relais. Les volontaires ne manquent pas et se déclarent d'ores et déjà partants ;
- encourager le sens de la collectivité : les montagnards se maintiennent sur leur territoire (Photo 20), grâce à une organisation collective très élaborée, mais aussi indispensable. L'urbanisme de demain sera d'autant plus réussi et adapté, si les valeurs communes et partagées renaissent ;
- et privilégier la culture ! Ce sens de la collectivité montagnarde, qui n'était absolument pas une contrainte totalitaire, mais un désir de tous, a généré une riche culture montagnarde, mais dans un système agro-pastoral dominant. L'enjeu sera de retrouver cette culture commune avec les acteurs multiples d'aujourd'hui et les nouveaux habitants de demain sur un territoire qui a toujours été un lieu d'accueil et ouvert aux migrations.

L'urbanisme montagnard doit anticiper toutes les mutations dont nous ignorons encore pleinement la nature, qu'elles soient environnementales, économiques (nouvelles formes de tourisme et d'agriculture, innovation...), sociales (immigrations...), et qui formeront plus largement à terme une culture partagée.



Photo 20. Hameaux de Pierregrosse et Le Coin, Molines-en-Queyras

Culture partargée

Gérer le foncier

Penser local

Nouvelles formes d'urbanisme

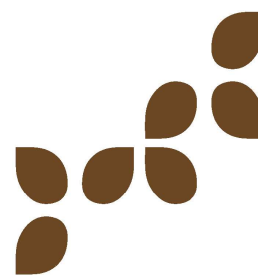
Sens de la collectivité montagnarde

Anticiper les mutations

Développer les mobilités

Désir de tous

Acteurs multiples



Zoom 7. La transition énergétique des territoires alpins est-elle un tremplin ?

La crise climatique trouve sa source dans une consommation effrénée des ressources énergétiques fossiles. La nécessité de s'adapter doit s'accompagner de mesures fortes d'atténuation par la mise en place d'une stratégie de transition énergétique. Cette démarche représente une magnifique opportunité de mutation positive des modèles socio-économiques existants.

Les alpins ont toujours su tirer profit des ressources locales pour répondre à leurs besoins : énergies, matériaux, alimentation... Depuis le XIX^{ème} siècle, les Alpes sont devenues fournisseurs d'eau, d'électricité, de bois et charbon, de main-d'œuvre, pour le développement des territoires ruraux et urbains situés en aval. À partir des années 50, les Alpes du Sud accueillent massivement les urbains en quête de loisirs, de nature et d'authenticité préservée. Le tourisme est ainsi devenu la colonne vertébrale économique. Cela a introduit des paradoxes socio-énergétiques complexes à appréhender : station de montagne énergivore, parc résidentiel secondaire et touristique majoritaire, infrastructures surdimensionnées, barrage d'utilité nationale.... À titre d'exemple, sur le territoire Ubaye-Serre-Ponçon qui totalise 20 000 habitants, 65 % des résidences sont secondaires, 80 000 lits touristiques sont recensés, et dans le même temps, le taux de précarité énergétique atteint 30 %.

Les acteurs alpins ont très tôt mobilisé élus et territoires dans le défi de la transition énergétique. Aujourd'hui, la contrainte devient opportunité socio-économique : richesse endogène, emploi, qualification, image de marque... La destination « Territoire à Énergie POSitive » (TEPOS) est le moteur d'un développement local responsable. Cela se traduit par des mesures concrètes : construction et rénovation éco-énergétique, efficacité énergétique, productions d'énergies renouvelables (réseau de chaleur biomasse, centrale solaire, microcentrale hydroélectrique, géothermie, méthanisation, etc.).

Cependant, aujourd'hui, les objectifs sectoriels d'autosuffisance énergétique sont encore loin d'être atteints. Sur le territoire Ubaye-Serre-Ponçon, pourtant mobilisé depuis 10 ans, atteindre l'équilibre production/consommation signifie rénover un tiers du parc bâti en basse consommation, multiplier par trois la production d'énergies renouvelables, diviser par deux la part de mobilité... Les étapes à franchir sont ainsi encore nombreuses. L'enjeu est bien la viabilité des territoires de montagne et la consolidation de leurs modèles socio-économiques. L'engagement de tous est indispensable : population locale, collectivités, entreprises, touristes, acteurs de la culture et de l'éducation... Ces derniers ont une mission essentielle : sensibiliser et mobiliser le public sur les défis de demain (Photo 21).



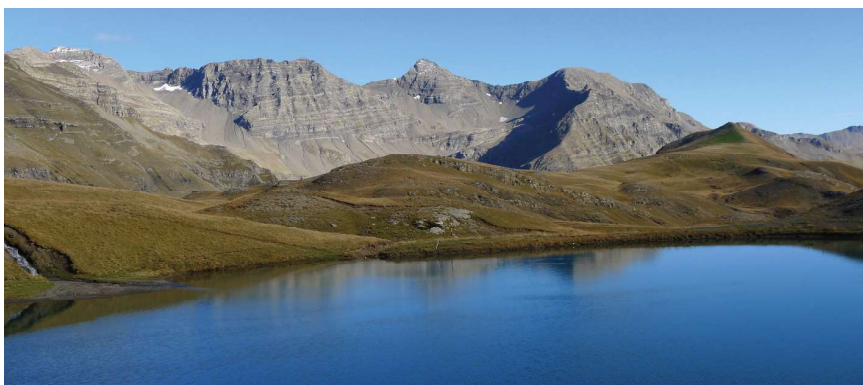
Photo 21. Visite d'une centrale villageoise

Conclusion

Aborder le changement climatique oblige à penser la multiplicité : celle des impacts, des transformations, des non-retours, et ce dans les domaines socio-économiques comme environnementaux. Les Alpes n'échappent pas à cette règle dans la mesure où elles sont elles-mêmes un espace de multiplicité qui caractérise sa richesse biologique et ses nombreuses espèces endémiques, ses écosystèmes singuliers, ses fortes dynamiques paysagères, son économie touristique marquée par les saisons, mais aussi les aventures multiples qu'un tel territoire continuait de nourrir. Ici, les températures augmentent plus fortement qu'ailleurs et les conséquences sont déjà prégnantes à qui veut bien ouvrir les yeux. Ici, des initiatives germent à toutes les échelles, planifiées ou spontanées et contribuent à repenser toute notre économie.

Le tourisme va connaître une évolution significative, parfois douloureuse au vu des changements d'enneigement : à l'avenir, « l'or blanc » sera en effet une richesse moins partagée et accessible. La fonte spectaculaire des glaciers a de son côté déjà pleinement transformé l'alpinisme estival. L'avenir du tourisme en montagne est ainsi encore à définir. Les risques sont objectifs, ne rien faire n'est pas une option.

L'érosion grandissante, s'exerçant à des échelles géographiques encore inconnues de mémoire d'homme, fragilise la sécurité des infrastructures comme des pratiquants de la montagne. Quels investissements notre société moderne et très urbaine consentira-t-elle dans ces territoires peu peuplés ?



Les espaces naturels d'altitude, qui représentent un capital exceptionnel dans les Alpes, sont entrés dans une phase de transformation dont la portée et l'ampleur sont encore incertaines. Aussi résilients soient-ils, un effet de seuil pourrait avoir des conséquences en chaîne et entraîner des pertes de grande ampleur. Or cette biodiversité exceptionnelle qu'hébergent nos montagnes fait partie intégrante des solutions à mobiliser. S'inspirer des stratégies d'adaptations naturelles, appelées aussi « solutions d'adaptation fondées sur la nature », est de ce point de vue une nécessité.

Enfin, l'agriculture de montagne et le pastoralisme ont depuis plusieurs années pris acte du besoin d'évolution des pratiques. Cette dernière est autant vécue comme une contrainte qu'une étape essentielle d'adaptation à la nouvelle donne climatique qui permettra l'installation de nouveaux actifs (maraîchers, viticulteurs...).

Mobiliser le public pour vivre cette transition énergétique et écologique est un impératif. Sensibiliser n'est qu'une première étape, indispensable, mais la mobilisation doit dépasser cet acte fondateur. Elle passe notamment par l'engagement. Il faut donner l'envie d'agir. En ce sens, les actions exemplaires sont importantes, car elles sont des porte-drapeaux. Il faut aussi prendre le risque d'innover. C'est le sens de l'engagement d'acteurs publics, mais aussi privés, qui se traduit par la création d'emplois dédiés à l'émergence et l'animation de nouvelles démarches territoriales dans les Alpes du Sud. À travers ces actions, les opérateurs du tourisme sont invités à repenser leurs offres, des ateliers paysages sont organisés pour que l'urbanisme de demain soit pensé avec la nouvelle donne climatique, la promotion de l'économie circulaire qui combine nos déchets, nos délaissés et notre mobilité, est encouragée... Mobiliser tout un territoire est une affaire de longue haleine, parfois difficile et sinueuse, mais les résultats s'avèrent en grande majorité positifs et constructifs. Rendre, par exemple, un territoire autonome en énergie est une épreuve, mais les acteurs franchissent des étapes pas à pas. La résignation, comme l'inaction évoquée en amont, n'est pas envisageable.

Enfin, comme le démontre ce cahier, la communauté scientifique est très largement mobilisée sur ces multiples questions et, plus que jamais, la tour d'ivoire du chercheur a laissé place à une construction collective avec la diversité des acteurs du territoire. Mais si la science a le pouvoir de réduire les incertitudes, elle ne prédit pas l'avenir à l'instar d'une Cassandra moderne. Elle donne des outils et des réponses pour que nous choissions collectivement des moyens d'action et un avenir commun. En ce sens, les pistes d'adaptation au changement climatique et d'atténuation des gaz à effet de serre ne manquent pas dans tous les secteurs : agriculture, foresterie, tourisme, habitat, énergie, transport... Elles diffèrent selon les territoires et le contexte local, mais elles visent le même objectif : protéger les populations et la nature tout en développant l'économie.

Pour aller plus loin

Ce cahier thématique portant sur la montagne est destiné aux décideurs et gestionnaires de territoires. Il constitue une première approche pour mieux appréhender les conséquences du changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Nous encourageons vivement les lecteurs, désireux d'en savoir davantage, à se rapprocher du GREC-SUD qui les orientera dans leurs démarches et recherches (contacts@air-climat.org). Ils ont également la possibilité de s'adresser directement aux contributeurs de cette publication :

- **Christophe ADON** (focus §1.3), animateur-prévisionniste-météo, Maison de la météo et du climat des Orres - Alpes du Sud (MMCO). Contact : contact@mmco.fr
- **Yves BIDE** (§1.2), ingénieur (retraité), ex-chef de la division Études et Climatologie de Météo-France Sud-Est, Aix-en-Provence. Contact : youenn.bidet@orange.fr
- **Xavier BODIN** (§1.4, §1.5, zooms 1 et 2), chargé de recherche, laboratoire EDYTEM, UMR 5204 / CNRS, Université Savoie-Mont-Blanc (USMB). Contact : xavier.bodin@univ-smb.fr
- **Mylène BONNEFOY-DEMONGEOT** (§1.4), ingénieure, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) - Érosion torrentielle, neige et avalanches (ETNA), Grenoble. Contact : mylene.bonnefoy@irstea.fr
- **Anouk BONNEMAINS** (§6.1, §6.2), docteure, équipe Territoires de montagne, laboratoire EDYTEM, UMR 5204 / CNRS, Université Savoie-Mont-Blanc (USMB). Contact : anouk.bonnemains@univ-smb.fr
- **Philippe BOURDEAU** (Zoom 5), professeur, laboratoire PACTE, Institut de Géographie Alpine de l'Université Grenoble-Alpes (IGA), Grenoble. Contact : philippe.bourdeau@univ-grenoble-alpes.fr
- **Bernard BROT** (§6.7), architecte, R+4 Architectes. Contact : bernard.brot@rplus4.com
- **Rosine CARTIER** (§5.3), post-doctorante, Lund University, Suède. Contact : rosine.cartier@geol.lu.se
- **Laurent CAVALLI** (§5.3), hydrobiologiste, maître de conférence, équipe Vulnérabilité écologique et conservation, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie Marine et Continentale (IMBE), Aix-Marseille Université. Contact : laurent.cavalli@imbe.fr
- **Florie CHEVRIER** (§4.4), ingénieure d'études, AtmoSud, Marseille. Contact : florie.chevrier@atmosud.org
- **Aurélien COHAS** (Zoom 4), maître de conférences, UMR CNRS 5558, Laboratoire Biométrie et Biologie Évolutive (LBBE), Université Claude Bernard Lyon I, Villeurbanne. Contact : acohas@gmail.com
- **Pierre COMMENVILLE** (conclusion), directeur, Parc national des Écrins. Contact : pierre.commenville@ecrins-parcnational.fr
- **Cédric CONTEAU** (§4.3), développeur territorial et animateur de réseaux au Commissariat du massif des Alpes, Commissariat général à l'égalité des territoires (CGET). Contact : cedric.conteau@cget.gouv.fr
- **Christophe CORONA** (§2.1), chargé de recherche, Laboratoire de géographie physique et environnementale (GEOLAB), CNRS, Clermont-Ferrand. Contact : christophe.corona@uca.fr
- **Thomas CURT** (§2.3), directeur de recherche, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), Aix-en-Provence. Contact : thomas.curt@irstea.fr
- **Cédric DENTANT** (§5.2), botaniste, Parc national des Écrins. Contact : cedric.dentant@ecrins-parcnational.fr
- **Olivia DI VALENTIN** (§3.2), technicienne-stagiaire, département « Génie biologique », Institut universitaire de technologie (IUT) d'Aix-Marseille, Digne-les-Bains. Contact : olival@orange.fr
- **Sylvain DUPIRE** (§2.3), post-doctorant, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), Grenoble. Contact : sylvain.dupire@irstea.fr
- **Pierre-Allain DUVILLARD** (§1.5, zooms 1 et 2), doctorant, Université Grenoble Alpes - Université-Savoie-Mont-Blanc, CNRS, EDYTEM, Le Bourget-du-Lac. Contact : pierre-allain.duvillard@univ-smb.fr
- **Nicolas ECKERT** (§1.2, §2.1), ingénieur en chef, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), UR ETNA / Université Grenoble Alpes. Contact : nicolas.eckert@irstea.fr
- **Benjamin EINHORN** (§2.4, zoom 1), directeur, Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN). Contact : benjamin.einhorn@univ-grenoble-alpes.fr
- **Romain GAUCHER** (zoom 2), chargé de mission risques naturels, Service ressources naturelles et risques, Conseil départemental des Hautes-Alpes. Contact : romain.gaucher@hautes-alpes.fr
- **Thierry GAUQUELIN** (§4.1), professeur, Aix-Marseille Université / Université Avignon / CNRS / IRD / IMBE. Contact : thierry.gauquelin@imbe.fr
- **Florie GIACONA** (2.1), post-doctorante, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), UR ETNA / Université Grenoble Alpes, et Institut des Sciences de l'Environnement (ISE) / Université de Genève. Contact : florie.giacona@unige.ch
- **Marc-Jérôme HASSID** (§6.6), directeur, CIPRA France. Contact : marc-gerome.hassid@cipra.org
- **Dominique LÉTANG** (§2.1), directeur, Association nationale pour l'étude de la neige et des avalanches (ANENA), Grenoble. Contact : dominique.letang@anena.org
- **Jérôme LOPEZ-SAEZ** (§2.1), post-doctorant, Institut des Sciences de l'Environnement (ISE) / Université de Genève. Contact : jerome.lopez-saez@unige.ch
- **Grégory LOUCOUGARAY** (§3.1), chargé de recherche, Université Grenoble Alpes, IRSTEA, UR LESSEM, Centre de Grenoble, Saint-Martin-d'Hères. Contact : gregory.loucougaray@irstea.fr
- **Marco MARCER** (§1.5, zooms 1 et 2), doctorant, laboratoire Environnements, DYnamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM), UMR5204/PACTE, Le Bourget-du-Lac. Contact : marco.marcet@univ-grenoble-alpes.fr

- **Loanne MICHAUD** (§3.2), technicienne-stagiaire, département « Génie biologique », Institut universitaire de technologie (IUT) d'Aix-Marseille, Digne-les-Bains. Contact : loanne1375@gmail.com
- **Samuel MORIN** (§1.2, §1.3, §2.1), chercheur, Météo-France - CNRS, CNRM UMR3589, directeur du Centre d'études de la neige (CNRM/CEN). Contact : samuel.morin@meteo.fr
- **Mohamed NAAIM** (§2.1), directeur du département scientifique « Eaux », Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), UR ETNA / Université Grenoble Alpes. Contact : mohamed.naaim@irstea.fr
- **Jérémy NAHMIYAZ** (§6.4, §6.5, §6.7, zoom 7), ingénieur-urbaniste, Énergies et Territoire Conseil. Contact : j.nahmiyaz@energies-territoire.com
- **Élodie PASSINI** (§3.2), technicienne-stagiaire, département « Génie biologique », Institut universitaire de technologie (IUT) d'Aix-Marseille, Digne-les-Bains. Contact : elodiepassini@gmail.com
- **Delphine PIAZZA-MOREL** (§3.1), chargé de recherche, Université Grenoble Alpes, IRSTEA, UR LESSEM, Centre de Grenoble, Saint-Martin-d'Hères. Contact : delphine.piazza-morel@irstea.fr
- **Antoine RABATEL** (§1.4, §1.5), chercheur, Institut des géosciences de l'environnement (IGE), CNRS/UGA/IRD/G-INP, Grenoble. Contact : antoine.rabatel@univ-grenoble-alpes.fr
- **Mélanie RAMUSOVIC** (§1.5, zooms 1 et 2), Master 2 Géosphères, Institut d'urbanisme et de géographie alpine (IUGA), laboratoire Environnements, DYnamiques et TERRitoires de la Montagne (EDYTEM) - UMR5204, Le Bourget-du-Lac. Contact : melanie.ramusovic@yahoo.fr
- **Valérie RIVAT** (édito), directrice, Parc naturel régional du Queyras. Contact : v.rivat@pnr-queyras.fr
- **Philippe ROSSELLO** (ligne éditoriale, coordination générale, avant-propos, introduction, focus §1.2, §3.2, maquette), ingénieur en analyse spatiale et prospective, GeographR / GREC-PACA / pôle métier Climat & Air du CRIGE-PACA. Contact : philippe.rossello@geographr.fr
- **Olivier ROULLE** (§1.2), responsable Études et Climatologie, Direction interrégionale Sud-Est, Météo-France, Aix-en-Provence. Contact : olivier.roulle@meteo.fr
- **Clotilde SAGOT** (zoom 3), chargée de mission « mesures physiques », Parc national des Écrins. Contact : clotilde.sagot@ecrins-parcnational.fr
- **Philippe SCHOENEICH** (§1.5, zooms 1 et 2), professeur, laboratoire PACTE, Institut de Géographie Alpine, Université Grenoble-Alpes, Grenoble. Contact : philippe.schoeneich@univ-grenoble-alpes.fr
- **Emmanuelle SÉGURET** (§6.4, §6.5), directrice, Blue Ink. Contact : eseguret@blueink.eu
- **Delphine SIX** (§1.4), glaciologue, Institut des géosciences de l'environnement (IGE), CNRS / UGA / IRD / G-INP, Grenoble. Contact : delphine.six@univ-grenoble-alpes.fr
- **Thomas SPIEGELBERGER** (§5.1), directeur de recherche, Université Grenoble Alpes, IRSTEA, UR LESSEM, Centre de Grenoble, Saint-Martin-d'Hères. Contact : thomas.spiegelberger@irstea.fr
- **Brigitte TALON** (§4.1), maître de conférences, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie Marine et Continentale (IMBE), Aix-Marseille Université. Contact : brigitte.talon@imbe.fr
- **Emmanuel THIBERT** (§1.4), ingénieur de recherche, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) - Érosion torrentielle, neige et avalanches (ETNA), Grenoble. Contact : emmanuel.thibert@irstea.fr
- **Gaëlle THIVET** (§4.3), chef de pôle forêt bois, Service régional de l'économie et du développement durable des territoires (SREDDT), Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt de Provence-Alpes-Côte d'Azur (DRAAF PACA). Contact : gaelle.thivet@agriculture.gouv.fr
- **Marie TISSOT** (§3.3), chargée de mission coordination AP3C, Service InterDépartemental pour l'Animation du Massif central, Aubière. Contact : marie.tissot.sidam@aura.chambagri.fr
- **Michel VENNETIER** (§4.2), ingénieur-chercheur, IRSTEA, UR RECOVER : michel.vennetier@irstea.fr
- **Anne-Lise VICTOIRE** (§4.3), géomaticienne, chargée de mission de l'Observatoire régional, Communes forestières Provence-Alpes-Côte d'Azur. Contact : annelise.victoire@communesforestieres.org
- **Philippe VIEL** (§4.3), chargé de mission Politiques territoriales et animateur du Réseau Alpin de la Forêt de Montagne, Communes forestières Provence-Alpes-Côte d'Azur. Contact : philippe.viel@communesforestieres.org
- **Simon VIEUX** (zoom 3), technicien pastoral, CERPAM. Contact : svieux@cerpam.fr
- **Xavier VILLETARD** (§4.4), directeur opérationnel, AtmoSud. Contact : xavier.villetard@atmosud.org
- **Christian VINCENT** (§1.4), ingénieur de recherche, Institut des géosciences de l'environnement (IGE), CNRS / UGA / IRD / G-INP, Grenoble. Contact : christian.vincent@univ-grenoble-alpes.fr
- **Christophe VIRET** (conclusion), directeur, Parc national du Mercantour. Contact : christophe.viret@mercantour-parcnational.fr
- **Paul WAGNER** (§6.7), architecte-urbaniste, Atelier 4. Contact : paulwagner@atelier4architectes.fr
- **Bruno WILHELM** (§1.1), maître de conférences, Université Grenoble Alpes, Institut des Géosciences de l'Environnement (UMR 5001/UR 252). Contact : bruno.wilhelm@univ-grenoble-alpes.fr

Suzanne de Cheveigné (directrice de recherche, Centre Norbert Elias, EHES/CNRS/UAPV/AMU), **Joël Guiot** (directeur de recherche, CNRS, CEREGE, co-président du GREC-SUD) et **Bernard Seguin** (directeur de recherche, retraité, Inra, co-président du GREC-SUD), membres du Comité régional d'orientations (CRO) du GREC-SUD, ont également apporté leur expertise.

Pour obtenir la liste des références bibliographiques sur lesquelles s'appuie cette synthèse des connaissances, prenez contact avec le GREC-SUD : contacts@air-climat.org

Comment citer cette publication du GREC-SUD ?

Impacts du changement climatique et transition(s) dans les Alpes du Sud, Les cahiers du GREC-SUD édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), octobre 2018, 48 pages. ISBN : 9782956006060



L'association pour l'innovation et la recherche au service du climat (A.I.R Climat), qui entend contribuer à la prise de conscience des enjeux du changement climatique, mais aussi aider à la recherche de solutions innovantes, encourage la transition verte, en coordonnant notamment le GREC-SUD.

contacts@air-climat.org
www.air-climat.org - www.grec-sud.fr

