



**HAL**  
open science

## Effets du changement climatique sur les végétations d'alpage Des clés pour comprendre.

Gregory Loucougaray, Emilie Crouzat, Hermann Dodier, Sandra Lavorel, Karl  
Grigulis

► **To cite this version:**

Gregory Loucougaray, Emilie Crouzat, Hermann Dodier, Sandra Lavorel, Karl Grigulis. Effets du changement climatique sur les végétations d'alpage Des clés pour comprendre.. 2021. hal-03789858

**HAL Id: hal-03789858**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03789858>**

Submitted on 27 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Effets du changement climatique sur les végétations d'alpage

*Des clés pour comprendre*



**INRAE**



*Une production du réseau  
Alpes Sentinelles*

*« Un espace de dialogue pour anticiper  
l'impact du changement climatique »*





# Alpages Sentinelles : un espace de dialogue pour anticiper l'impact du changement climatique

## Une production du réseau Alpages Sentinelles

### Auteurs

Émilie CROUZAT  
Hermann DODIER  
Grégory LOUCOUGARAY

Sandra LAVOREL  
Karl GRIGULIS



### INRAE

#### Laboratoire EcoSystèmes et Sociétés En Montagne (LESSEM)

2 rue de la Papeterie  
Domaine universitaire - BP 76  
38402 St-Martin-d'Hères cedex

### LECA Grenoble

Université Grenoble Alpes  
CS 40700  
38058 Grenoble Cedex 9

### Conception et réalisation graphique

Nicole SARDAT

2021

### Les auteurs remercient pour leur relecture :

Laurent GARDE (CERPAM)  
Rémy MAGDINIER (SEA73)



# Sommaire

## Introduction

## Partie 1 ..... Page 7

### Les végétations pastorales d'alpage

*Une diversité de milieux face au changement climatique*

#### Des pelouses prairiales de bas d'alpage aux pelouses alpines rases des combes à neige

- Une diversité de milieux définis par les conditions écologiques et les pratiques pastorales
- Quinze principaux types de pelouses pastorales d'alpage

#### Des réponses différenciées au changement climatique

- Conditions écologiques et composition floristique déterminent les réponses potentielles d'un milieu
- Comment raisonner la réponse de la végétation au changement climatique ?

## Partie 2 ..... Page 13

### « Alpages Sentinelles »

*Un programme de Recherche & Développement pour identifier et comprendre les impacts du changement climatique sur les végétations pastorales*

#### Un réseau d'alpages, de territoires et de partenaires à l'échelle des Alpes

#### Des méthodes scientifiques rigoureuses pour suivre les végétations pastorales

- Des protocoles standardisés sur des points fixes de mesure
- Des lignes de lecture pour suivre la composition floristique
- Des relevés de hauteur d'herbe pour suivre la production fourragère

## **Le changement climatique affecte-t-il la composition floristique des végétations d'alpage ?**

**Au-delà du domaine pastoral, les végétations des hauts sommets des Alpes sont particulièrement sensibles**

**Au sein du domaine pastoral, des végétations plutôt stables, mais présentant des sensibilités différenciées**

- La composition floristique des végétations pastorales d'alpage demeure stable jusqu'à présent
- Les pelouses nivales des combes à neige présentent une sensibilité plus marquée au changement climatique
- Les graminées favorisées

**Hausse des températures et sécheresses : des approches expérimentales pour anticiper les impacts sur le long terme**

**Des effets conjugués du changement climatique et des pratiques pastorales**

## **Une ressource fourragère dépendante de la variabilité climatique**

**Une quantité d'herbe de plus en plus variable entre années ?**

- De 0,7 à 3 tonnes de matière sèche par hectare, en première pousse, selon les types de pelouses
- Plus ou moins 20 % d'herbe en moyenne selon les années, pour une même pelouse en première pousse
- Des années extrêmes encore plus impactantes

**Une ressource en herbe tributaire de différents facteurs météorologiques**

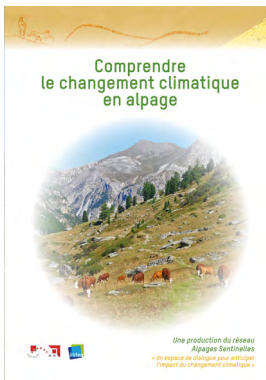
- Une pousse de l'herbe principalement conditionnée par les températures de printemps
- De très fortes chaleurs de printemps semblent limiter la quantité et la qualité de la ressource fourragère
- Un effet négatif des épisodes de gel de printemps
- Des déficits hydriques aujourd'hui peu perceptibles au printemps, des sécheresses estivales déjà très marquées
- Les saisons végétatives se suivent et ne se ressemblent pas !

## **Conclusion**

# Introduction

Le changement climatique, à l'échelle globale comme plus localement sur les territoires alpins, se traduit par une double réalité :

- une **tendance générale de réchauffement**, avec une hausse des températures moyennes annuelles de 2°C environ dans les Alpes depuis les années 1950,
- une **augmentation en fréquence et en intensité d'aléas météorologiques** de types sécheresses saisonnières, gels tardifs, printemps décalés...



Pour en savoir plus...

« Comprendre le changement climatique en alpage »

Réseau Alpages Sentinelles, 2017

Les différentes végétations pastorales d'alpage sont susceptibles d'être **impactées** par ces deux composantes du changement climatique. Les conséquences seront plus ou moins fortes et durables selon la nature et l'ampleur des contraintes météorologiques, les conditions de milieux et les caractéristiques propres des espèces végétales qui les composent.

Lorsque les végétations tolèrent les changements climatiques, qu'elles y font face sans être modifiées, on parle de **capacité de résistance**. Si elles sont impactées ponctuellement par un aléa météorologique, mais qu'elles parviennent à retrouver leur état initial une fois l'épisode passé, on parlera de **capacité de résilience**. Enfin, si leur composition floristique évolue en réponse à l'évolution des conditions climatiques, on parlera alors de **dynamique**, voire d'**adaptation**.

Résistance, résilience, dynamique, adaptation..., les conséquences du changement climatique sur les végétations peuvent donc être multiples en termes de **biodiversité** et d'**intérêt environnemental** de ces milieux (évolution des compositions floristiques, dégradations potentielles...), mais également de **ressources fourragères** disponibles pour les troupeaux durant la saison estivale (quantité, qualité et saisonnalité). Ces impacts peuvent être ponctuels et limités à l'échelle d'une saison d'estive, ou de plus long terme si les évolutions induites s'inscrivent dans le temps.

Le dispositif « Alpages Sentinelles », développé à l'échelle des Alpes françaises dans le cadre d'un large partenariat, s'attache à produire des éléments de compréhension et d'analyse des impacts du changement climatique sur les différentes végétations pastorales. Il s'appuie à la fois sur des suivis de terrain de long terme et sur les expertises des différents acteurs impliqués dans la gestion des territoires d'alpage.

Cet ouvrage propose un point d'étape des connaissances acquises par ce dispositif, autour de trois questions principales :

1. Peut-on reconnaître **plusieurs types de végétations pastorales** pour appréhender leurs sensibilités différenciées au changement climatique ?
2. La **composition floristique** de ces différents milieux d'alpage évolue-t-elle avec le changement climatique ?
3. Comment varie la **quantité d'herbe**, et donc de fourrage disponible pour les troupeaux, selon les conditions météorologiques annuelles ?







# Partie 1



## Les végétations pastorales d'alpage

*Une diversité de milieux face au changement climatique*

### Des pelouses prairiales de bas d'alpage aux pelouses alpines rases des combes à neige

- Une diversité de milieux définis par les conditions écologiques et les pratiques pastorales
- Quinze principaux types de pelouses pastorales d'alpage

### Des réponses différenciées au changement climatique

- Conditions écologiques et composition floristique déterminent les réponses potentielles d'un milieu
- Comment raisonner la réponse de la végétation au changement climatique ?

Que ce soit à l'échelle globale du massif alpin, ou au sein d'une même unité pastorale, les végétations pastorales d'alpage se déclinent en un ensemble de milieux différents : pelouses, landes, sous-bois... Là où le pastoraliste reconnaît des « types pastoraux », l'écologue y verra des « communautés végétales ». C'est bien à l'échelle de chacun de ces milieux que peuvent se raisonner les impacts des contraintes climatiques sur les végétations.

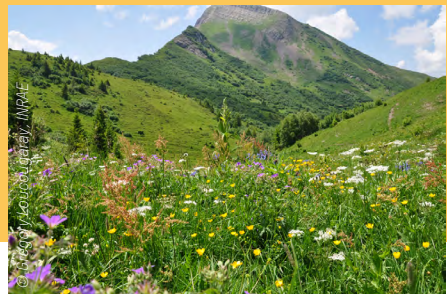
## Des pelouses prairiales de bas d'alpage aux pelouses alpines rases des combes à neige

### Une diversité de milieux définis par les conditions écologiques et les pratiques pastorales

- **Les conditions écologiques de milieu** (étagement, pente, exposition, nature et profondeur de sol, conditions climatiques et microclimatiques...) façonnent des végétations pastorales différentes, en termes de **composition floristique** (liste des espèces de plantes présentes) et de **physionomie** (caractéristiques morphologiques du couvert végétal : hauteur de végétation, espèces à feuilles larges ou fines, herbacées ou ligneuses, densité du couvert...).



*Les pelouses alpines rases des combes à neige sont caractéristiques des milieux de haute altitude longuement enneigés, sur sol peu profond*

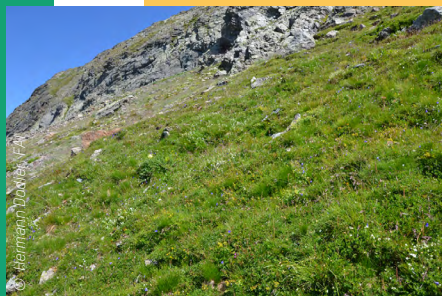


*Un couvert herbacé haut et dense caractérise les pelouses prairiales productives, dont la composition floristique est dominée par des graminées à feuilles larges (dactyle, trisète, fléole...)*

- **Les pratiques pastorales**, historiques et actuelles, conditionnent également en partie la nature de ces végétations et leurs évolutions selon les modalités de conduite des troupeaux (type d'animaux, modalités de gardiennage, parcs de pâturage, niveau de chargement instantané...).  
À titre d'exemple, sur les pelouses d'alpage à brachypode penné, l'absence de pâturage, ou de faibles pressions de pâturage, favorise le développement du brachypode, du fait de sa forte capacité d'expansion, au détriment des petites graminées. À l'inverse, une utilisation précoce, complète et répétée de ces pelouses d'année en année conduit à faire régresser le brachypode penné.

## Quinze principaux types de pelouses pastorales d'alpage

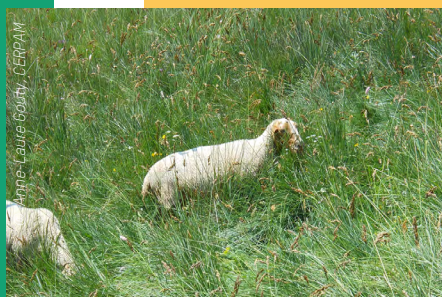
- Au sein de cette diversité de milieux, les éleveurs, bergers et techniciens reconnaissent des « **types pastoraux** » ou « milieux pastoraux ». Il s'agit d'unités relativement homogènes en terme de composition floristique et de caractéristiques écologiques, facilement distinguables des autres unités voisines, et assurant en conséquence un ensemble de fonctions pastorales spécifiques pour les troupeaux.
- Là où le pastoraliste n'identifiera qu'un seul type pastoral, l'écologue pourra y reconnaître plusieurs **communautés végétales**. Les bases de raisonnement sont les mêmes : elles déterminent un ensemble de plantes sur un milieu donné formant une unité relativement homogène en termes de composition et de physionomie. Ces deux approches sont complémentaires et déclinées à des échelles ajustées aux objectifs spécifiques de chacun.



*Pelouse thermique bien enherbée sur pente forte, à fétuque violette*



*Troupeau au pâturage sur de vastes reliefs peu pentus de pelouse intermédiaire à fétuque rouge, nard et carex*



*Pelouse haute et dense à fétuque paniculée, ou « queyrellin »*



*Pelouse écorchée des croupes et crêtes de l'étage alpin, à jonc trifide*



- Les acteurs du dispositif « Alpes Sentinelles » ont ainsi défini **15 types de pelouses pastorales**, en complément d'un ensemble de landes et de sous-bois. C'est sur la base de cette typologie qu'ont pu être raisonnés de façon différenciée les impacts du changement climatique sur les végétations pastorales et les adaptations des systèmes d'élevage en conséquence.

Étage altitudinal			
	ALPIN	SUBALPIN	MONTAGNARD
Pelouses nivales	Pelouses rases des combes à neige		
Pelouses intermédiaires	Formations mixtes de creux et de bosses		
	Pelouses des grands reliefs peu pentus de l'alpin, à fétuque rouge, nard et carex	Pelouses des grands reliefs peu pentus du subalpin, à fétuque rouge, nard et carex	
	Nardaies		
		Pelouses productives du subalpin à fétuque rouge, agrostide et fléole	
		Pelouses prairiales de haute montagne	
Pelouses thermiques	Pelouses écorchées des croupes et crêtes de l'alpin		
	Pelouses écorchées sur pentes fortes		
	Pelouses bien enherbées sur pentes fortes		
	Pelouses à avoine de Parlatore		
			Pelouses d'altitude à brachypode penné
		Pelouses méditerranéo-montagnardes à fétuque ovine	
Éboulis	Éboulis végétalisés		

*Les 15 types de pelouses pastorales identifiés au sein du dispositif « Alpes Sentinelles »*

## Des réponses différenciées au changement climatique

### Conditions écologiques et composition floristique déterminent les réponses potentielles d'un milieu

▪ Face à l'augmentation des températures moyennes et à la recrudescence des aléas météorologiques, les capacités de réponse des différents milieux pastoraux d'altitude diffèrent selon :

- **Les capacités de leur environnement direct à tamponner les effets de la variabilité du climat** (capacité de rétention et de stockage d'eau d'un sol profond par exemple).

- **Les capacités de tolérance et d'adaptation des différentes espèces présentes.** Ces capacités sont notamment liées à leurs caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques, qui déterminent leurs aptitudes à mobiliser les ressources (lumière, eau, nutriments) et à être plus ou moins compétitives.

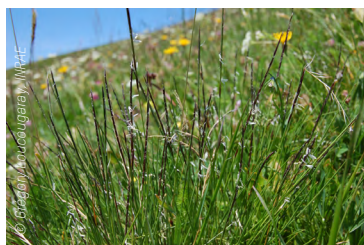
*Au sein des graminées d'alpage, des espèces aux fonctionnements contrastés !*

**Le dactyle aggloméré** (*Dactylis glomerata*) se caractérise par des surfaces foliaires importantes (feuilles larges), une faible teneur des tissus en matière sèche et une forte teneur en azote des feuilles. Il est capable d'assimiler rapidement les ressources dans son environnement pour effectuer un cycle de croissance rapide. Cette espèce compte donc parmi les plus saisonnalisées d'alpage.

À l'inverse, **le nard raide** (*Nardus stricta*) est une espèce à feuilles fines, à forte teneur en matière sèche, mais à faible teneur en azote. Il assimile lentement les ressources, mais a la capacité de les conserver plus longtemps dans ses tissus, et est donc moins saisonnalisé.



Épis de dactyle aggloméré



Touffe de nard

▪ **Pour les milieux dominés par une espèce** (nardaies, pelouses à féтуque paniculée, pelouses à brachypode penné...), la capacité de réponse est principalement conditionnée par les caractéristiques de cette espèce, d'où l'importance de bien connaître son fonctionnement biologique et ses propriétés.



# Partie 2

## « Alpages Sentinelles »

*Un programme de Recherche & Développement pour identifier et comprendre les impacts du changement climatique sur les végétations pastorales*

**Un réseau d'alpages, de territoires et de partenaires à l'échelle des Alpes**

**Des méthodes scientifiques rigoureuses pour suivre les végétations pastorales**

- Des protocoles standardisés sur des points fixes de mesure
- Des lignes de lecture pour suivre la composition floristique
- Des relevés de hauteur d'herbe pour suivre la production fourragère





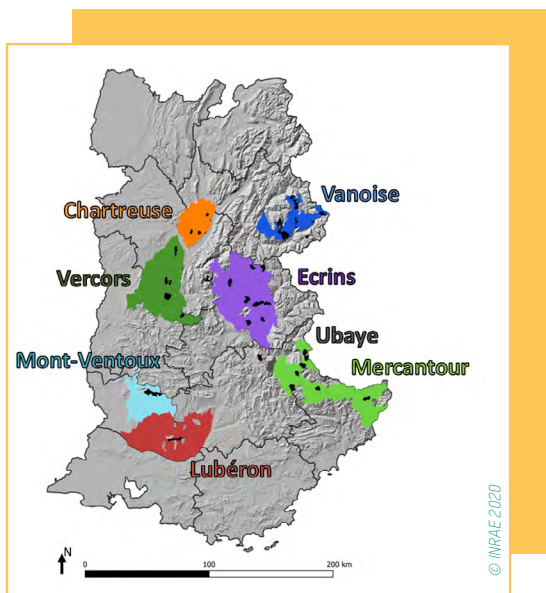
## Un réseau d'alpages, de territoires et de partenaires à l'échelle des Alpes

- Pour mieux comprendre et anticiper les conséquences du changement climatique sur les alpages, le dispositif « **Alpages Sentinelles** » mène des travaux à l'interface entre recherche scientifique et actions de développement, en privilégiant la concertation et les échanges d'expériences.

Pour cela, il associe des organismes professionnels du pastoralisme et de l'élevage, des territoires naturels protégés, des organismes de recherche, ainsi que l'ensemble des éleveurs et bergers utilisateurs des alpages étudiés.

Ces partenaires raisonnent ensemble la **vulnérabilité climatique des alpages** et les **capacités d'adaptation des systèmes pastoraux**, en s'appuyant sur des suivis de terrain et des groupes de travail thématiques.

- Né dans le Parc National des Écrins au début des années 2000, le dispositif « Alpages Sentinelles » s'est peu à peu étendu sur le massif alpin français. En 2020, le dispositif se déploie sur **sept espaces naturels protégés** (Parcs Nationaux de la Vanoise, des Écrins et du Mercantour, Parcs Naturels Régionaux du Vercors, du Lubéron et du Mont-Ventoux, site Natura 2000 de Dormillouse - Lavercq en Ubaye), et dispose d'**une trentaine d'alpages supports dits « sentinelles »**.



*La répartition des alpages sentinelles sur les territoires supports du dispositif*

- Cette vaste couverture géographique permet au dispositif de considérer **des contextes écologiques variés** (climat, relief, substrat géologique, sol...) et une grande diversité de végétations. Ces milieux sont également en équilibre dynamique avec **différents usages pastoraux** : troupeaux ovins et bovins, productions laitières et allaitantes. Du nord au sud du massif des Alpes, cette diversité environnementale et pastorale constitue autant de sentinelles pour détecter les impacts des changements climatiques et anticiper les adaptations possibles !

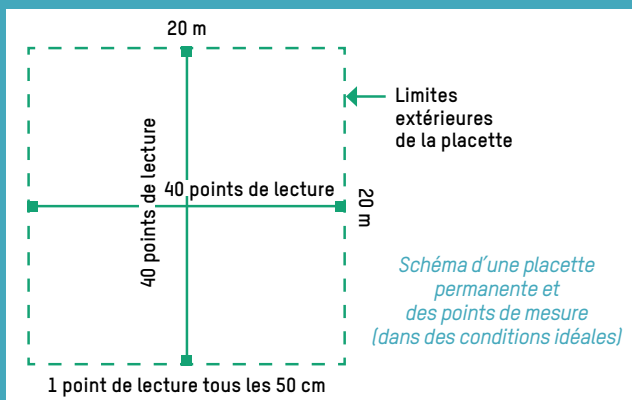
## Des méthodes scientifiques rigoureuses pour suivre les végétations pastorales

### Des protocoles standardisés sur des points fixes de mesure

- Pour permettre une analyse rigoureuse des évolutions des végétations sur de multiples sites à l'échelle des Alpes et sur le temps long, il est indispensable de collecter les données de manière harmonisée et répétée sur tous les alpages. Pour cela, le dispositif de suivi permanent des végétations repose sur la mise en œuvre de **protocoles standardisés**. La répétition des protocoles avec une fréquence annuelle ou pluriannuelle génère **des suivis dits 'diachroniques'** qui renseignent sur l'évolution des végétations sur le moyen et long terme.
- Pour prendre en compte la diversité des végétations pastorales et leurs réponses spécifiques au changement climatique, les protocoles sont appliqués sur des points fixes de chaque alpage, appelés **placettes permanentes de suivi**, dont les caractéristiques (type de végétation, altitude...) sont connues. Ce travail sur points fixes renforce la robustesse des analyses sur la dynamique des végétations, en limitant les biais d'interprétation associés à des imprécisions de relocalisation des placettes.
- À l'échelle du réseau, **une complémentarité entre placettes** est recherchée avec pour objectif d'améliorer la représentation des différents types de végétation, des massifs et des conditions de pâturage.

#### Qu'est-ce qu'une placette permanente de suivi de la végétation ?

Il s'agit d'une station à la localisation précise au sein d'un alpage. Cette station est matérialisée par des repères au sol (piquets, plaques et clous) qui facilitent son repositionnement le plus précis possible à chaque visite. Cela permet, en complément de ses coordonnées GPS, de limiter au maximum des biais de mesure qui seraient dus à des changements, mêmes mineurs, de positionnement. Ces placettes peuvent avoir des surfaces variables, mais en général, sont représentées par des surfaces rectangulaires ou carrées de 25 à 400 m<sup>2</sup>. Elles sont positionnées de façon à représenter une végétation homogène.



## Des lignes de lecture pour suivre la composition floristique

### ▪ Objectif

Un relevé de la composition floristique d'une placette donnée consiste à **identifier les espèces végétales** qui la composent, à évaluer leur nombre et leur abondance. La répétition de ces relevés permet de suivre l'évolution de cette composition dans le temps au travers d'indicateurs de diversité qui renseignent sur les changements d'espèces ou de fonctionnalités du couvert végétal.

### ▪ Protocole

- Le long de deux lignes de lecture de 20 mètres chacune et placées en croix, une aiguille est placée successivement tous les 50 centimètres. Toutes les espèces végétales en contact avec l'aiguille sont identifiées sur chaque point de mesure. Au total, 80 points-contact sont relevés et permettent de calculer les fréquences de présence des espèces.

- Un temps fixe d'une durée de 10 minutes supplémentaires sert à rechercher et noter les autres espèces éventuellement non contactées sur la placette de suivi.

### ▪ Périodicité

Le rythme des relevés sur chaque placette permanente est de **cinq ans**, les dynamiques d'évolution des pelouses d'altitude étant relativement lentes.

### ▪ Placettes permanentes

À ce jour, ces suivis sont réalisés sur **140 placettes**. En 2019, le dispositif compte plus de 400 relevés de végétation toutes dates et placettes confondues.



*Relevé des espèces floristiques sur une ligne de lecture*

Avec ses dix ans d'existence, le dispositif « Alpes Sentinelles » peut être considéré comme jeune au regard des dynamiques de long terme du changement climatique. Afin de disposer d'un peu plus de recul, le programme s'appuie sur des placettes complémentaires, issues de programmes historiques d'INRAE et de ses partenaires : il s'agit de placettes situées dans les Grandes Rousses, le Vercors et les Écrins, dont les premiers relevés datent respectivement de 1981, 1988 et 1995.

## Des relevés de hauteur d'herbe pour suivre la production fourragère

### ▪ Objectif

Il s'agit d'**estimer la quantité de fourrage disponible à l'arrivée du troupeau** en alpage par la mesure sur le terrain de la hauteur de végétation. Attention : dans le dispositif « Alpages Sentinelles », l'application de ce protocole en début de saison ne donne des résultats qu'au sujet de la **première pousse de l'herbe**.

### ▪ Protocole

Le long de deux lignes de lecture de 20 mètres chacune et placées en croix, un observateur relève la hauteur végétative moyenne successivement tous les 50 centimètres. Au total, 80 points-contact sont mesurés sur chaque placette permanente.

### ▪ Périodicité

Les mesures sont réalisées **chaque année** avant la montée du troupeau, dans le but de suivre les variations interannuelles de biomasse disponible et de pouvoir les lier aux conditions météorologiques de l'année.

### ▪ Placettes permanentes

Deux à quatre placettes sont positionnées sur chaque alpage en moyenne, pour un total de près de **120 placettes** suivies par le dispositif.



*Relevé de hauteurs de végétation sur une station de suivi de biomasse*

Les résultats du dispositif « Alpages sentinelles » sont mis en perspective avec les travaux conduits par les communautés scientifiques au niveau international (suivis de long terme sur d'autres massifs, manipulations expérimentales in situ ou en laboratoire).



*Brachypode penné*



*Sainfoin des montagnes*



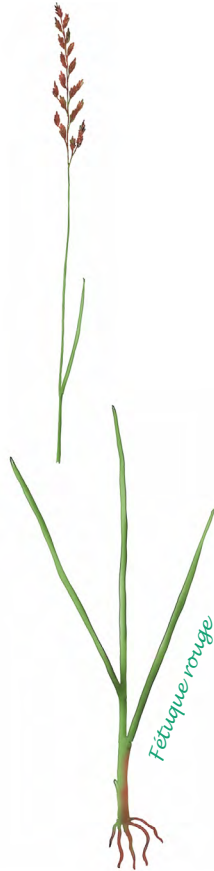
*Trèfle alpin*



*Anthyllide vulnéraire*



*Dactyle aggloméré*



*Fétuque rouge*

# Partie 3

## Le changement climatique affecte-t-il la composition floristique des végétations d'alpage ?

**Au-delà du domaine pastoral, les végétations des hauts sommets des Alpes sont particulièrement sensibles**

**Au sein du domaine pastoral, des végétations plutôt stables, mais présentant des sensibilités différenciées**

- La composition floristique des végétations pastorales d'alpage demeure stable jusqu'à présent
- Les pelouses nivales des combes à neige présentent une sensibilité plus marquée au changement climatique
- Les graminées favorisées

**Hausse des températures et sécheresses : des approches expérimentales pour anticiper les impacts sur le long terme**

**Des effets conjugués du changement climatique et des pratiques pastorales**

## Au-delà du domaine pastoral, les végétations des hauts sommets des Alpes sont particulièrement sensibles

- En haute montagne, les végétations sont adaptées à **des conditions environnementales extrêmement contraignantes** liées à un micro-climat rude (températures extrêmes, très longue durée d'enneigement, fort rayonnement solaire, vents violents...) et des sols superficiels et pauvres en nutriments. **Les espèces de ces milieux sont très spécialisées** et tolèrent peu les variations de leur environnement.



*Des espèces adaptées aux milieux minéraux de très haute altitude*

- La recherche scientifique s'intéresse de longue date à ces végétations des hauts sommets (> 2 800 m), qui représentent un modèle biologique en première ligne pour le suivi des impacts du changement climatique. En Europe, certains suivis datent de la première moitié du XXe siècle et nous offrent ainsi plusieurs décennies de recul ! Au niveau mondial, le programme GLORIA (<https://www.gloria.ac.at/home>) intègre par exemple les résultats des suivis sur les végétations alpines et sommitales de différents massifs montagneux sur six continents.
- Les végétations des hauts sommets sont **particulièrement réactives au changement climatique**. Les principaux phénomènes constatés sont de trois ordres avec des impacts particulièrement marqués depuis les années 1980 :
  - Des espèces adaptées à des températures plus élevées remontent vers les hautes altitudes. Dans le même temps, les espèces particulièrement adaptées aux conditions très froides et au gel deviennent moins abondantes. On parle alors de « **thermophilisation** » des communautés végétales.
  - Les sommets voient apparaître ou se développer des espèces qui ne sont pas spécifiquement associées à la très haute altitude. On y rencontre davantage d'espèces moins typiques que l'on trouve également sur d'autres milieux. On parle alors de « **banalisation** ».
  - D'un sommet à l'autre, la liste des espèces présentes au sein des cortèges floristiques (ou « composition floristique ») se ressemble de plus en plus au cours du temps. On parle alors de « **d'homogénéisation** ».



### Un accroissement de biodiversité sur les milieux de très haute altitude ? Prudence dans l'interprétation !

Les espèces des hauts sommets font l'objet d'un enjeu fort de conservation : nombreuses sont celles qui sont rares et typiques de la haute altitude. Le changement climatique entraîne l'apparition et le développement de nouvelles espèces au sein des végétations déjà établies. En conséquence, la diversité végétale des sommets augmente. Cet accroissement de la biodiversité est-il pérenne et souhaitable dans un objectif de conservation des espèces de haute altitude ?

- Les nouvelles espèces qui se développent sur ces milieux sont souvent des espèces que l'on retrouve dans de nombreux autres types d'écosystèmes. Elles sont dites « généralistes » et ne présentent en général que peu d'intérêt d'un point de vue conservatoire. L'accroissement de biodiversité, lié à l'apparition de ces espèces généralistes, peut ainsi engendrer une perte de typicité de la végétation des sommets.
- De plus, plus compétitives et mieux adaptées aux nouvelles conditions du milieu, les nouvelles arrivantes sont à terme en capacité d'exclure et de remplacer les espèces typiques. L'accroissement de biodiversité peut donc n'être qu'un phénomène transitoire, d'où l'importance de suivis de long terme (plusieurs décennies) pour conclure sur ces dynamiques écologiques !

- Les études scientifiques disponibles à ce jour montrent que ces phénomènes de **remontée d'espèces** au sein des végétations des hauts sommets alpins s'opèrent à des vitesses variables selon les contextes : **de quelques mètres à une trentaine de mètres par décennie**, avec une accélération notoire au cours des 40 dernières années. L'accumulation des suivis dans le temps permettra d'affiner le diagnostic porté sur ces évolutions.

## Au sein du domaine pastoral, des végétations plutôt stables, mais présentant des sensibilités différenciées

### La composition floristique des végétations pastorales d'alpage demeure stable jusqu'à présent

- Au sein du dispositif « Alpes sentinelles », **les changements de composition floristique observés au cours du temps restent souvent mineurs**, que ce soit en termes d'espèces présentes ou d'abondance relative de ces différentes espèces.
- De plus, ces changements ne suivent **pas de dynamique tendancielle** qui aurait pu traduire une évolution progressive en réponse au changement climatique. Ainsi, les espèces de faible abondance non détectées une année peuvent réapparaître à des dates ultérieures. Celles absentes lors des premiers relevés peuvent apparaître puis disparaître au cours du temps. D'autre part, il n'est pas observé non plus de diminution ou d'augmentation systématique d'abondances des espèces dominantes sur la période étudiée.



- Globalement, on peut donc noter que, à pratiques pastorales constantes, la majorité des végétations pastorales étudiées se maintient malgré le contexte actuel du changement climatique.

Le phénomène de thermophilisation, constaté sur les végétations de très haute altitude, ne s'exprime pas à ce jour sur les végétations du domaine pastoral, qui semblent donc jusque-là **résilientes face au changement climatique**.

Cette résilience peut être liée à des caractéristiques communes partagées par de nombreuses espèces d'altitude : des capacités physiologiques de résistance et une reproduction majoritairement clonale (multiplication végétative à partir d'un individu unique via des rhizomes, des stolons et des touffes).

- Ces résultats acquis au travers du dispositif « Alpes Sentinelles », relativement uniques pour les pelouses pastorales des Alpes françaises, rejoignent les observations réalisées sur d'autres massifs en Europe (Haute chaîne du Jura suisse, Alpes suisses et autrichiennes). Globalement, **ces suivis s'accordent sur la stabilité générale des pelouses pastorales en termes de composition floristique**, même si l'apparition de certaines espèces plus typiques d'altitudes plus basses (cirse acaule - *Cirsium acaule*, globulaire à feuilles en cœur - *Globularia cordifolia*, dans les Alpes suisses et autrichiennes) questionne sur une possible première étape de transition du fait du réchauffement global.

## Les pelouses nivales des combes à neige présentent une sensibilité plus marquée au changement climatique

- **Les combes à neige sont des milieux caractérisés par un très long enneigement** lié à leur altitude (majoritairement à l'étage alpin), à la forme de leur microrelief plutôt concave, et à leur exposition.

Elles abritent des pelouses rases, sur sols superficiels, dites « de mode nival », comprenant des espèces spécifiques. Leur cycle de croissance est très court et intervient tard en saison par rapport aux milieux environnants.



*Pelouse nivale dans le massif des Écrins*

Parmi les espèces caractéristiques de ces milieux, on pourra trouver par exemple le vulpin de Gérard (*Alopecurus gerardii*), l'alchémille à cinq folioles (*Alchemilla pentaphyllea*), la sibbaldie couchée (*Sibbaldia procumbens*), le gnaphale nain (*Omalotheca supina*), le leucanthème des Alpes (*Leucanthemopsis alpina*) ou encore l'alise faux-orpin (*Minuartia sedoides*).

- Les suivis réalisés dans le cadre du dispositif « Alpes Sentinelles » indiquent que, contrairement aux autres pelouses pastorales d'alpage, **les pelouses nivales présentent une sensibilité marquée au changement climatique.**

Sur les 20 dernières années, ces végétations ont subi une évolution notable, tendancielle et continue, qui se traduit par **l'installation ou l'augmentation de l'abondance d'espèces plus généralistes et/ou adaptées à des durées d'enneigement moins longues.**

On note ainsi l'installation et le développement d'espèces telles que le nard raide (*Nardus stricta*), la laiche toujours verte (*Carex sempervirens*), l'avoine panachée (*Helictochloa versicolor*), le liondent de Suisse (*Scorzoneroides pyrenaica var helvetica*) ou encore l'homogyne des Alpes (*Homogyne alpina*).



*Tache de nard raide au sein d'une végétation de combe à neige*



*Carex sempervirens*

- Cette sensibilité plus marquée au changement climatique des pelouses de combes à neige a été **confirmée par d'autres études conduites sur le massif alpin à l'échelle européenne.**

À titre d'exemple, la comparaison de suivis réalisés en 1997, puis 2017, sur des pelouses alpines du massif des Grandes Rousses a également mis en évidence une thermophilisation plus marquée sur les bordures des combes à neige que sur les autres communautés.

- Plus que l'augmentation des températures moyennes elles-mêmes, il semble que ce soient la **baisse de la durée d'enneigement** (à précipitations constantes) et **l'allongement induit de la saison de végétation** qui jouent les rôles les plus importants dans les changements observés sur ces végétations nivales.

- **L'évolution de ces milieux est susceptible de modifier leur mobilisation par les troupeaux, et d'impacter les conditions écologiques des pelouses voisines.**

En effet, ces évolutions peuvent conduire à une augmentation de la productivité de ces pelouses, à leur développement plus précoce, et à un allongement de leur période de mobilisation potentielle par les troupeaux.

De plus, les ressources en eau et nutriments liées à l'accumulation de neige dans ces combes risquent d'être impactées, au détriment des communautés végétales voisines qui en bénéficiaient jusqu'alors.

### Le changement climatique induira-t-il une évolution significative des autres types de végétations pastorales à l'avenir ?

Actuellement les résultats issus du programme « Alpes Sentinelles » montrent que seule la composition floristique des pelouses de combe à neige a une sensibilité marquée aux effets du changement climatique. Mais rien n'indique qu'au-delà de certains seuils de contraintes climatiques, d'autres types de végétation ne montreront pas des sensibilités différenciées.

À titre d'exemple, des observations effectuées sur des pelouses sèches à féтуque ovine et brome dressé à l'étage montagnard sur les massifs du Grand Luberon et du Ventoux témoignent de phénomènes de mortalité des graminées pérennes, formant des taches dans la pelouse, au profit de graminées opportunistes comme le pâturin bulbeux et le brome mou. Ces évolutions se font dans une tendance lente de baisse du chargement animal, les pratiques pastorales restant constantes par ailleurs. L'hypothèse émise est celle du franchissement d'un seuil de résistance de ces graminées pérennes face à la fréquence et à l'intensité de certains aléas météorologiques depuis 2003 (fortes chaleurs, sécheresses, action du vent).



*Pelouses sèches sur les crêtes du Grand Luberon*

La poursuite des suivis de terrain devrait permettre de détecter d'éventuelles réponses différenciées des végétations pastorales à l'avenir.

## Les graminées favorisées

### La notion de « traits fonctionnels »

Chaque espèce végétale présente des caractéristiques morphologiques (stature, profondeur d'enracinement, largeur des feuilles...) et physiologiques (teneur en eau et en azote des feuilles, phénologie...) qui lui sont propres. Ces caractéristiques sont appelées « traits fonctionnels » : ils conditionnent les propriétés des plantes concernant leur croissance, leur survie et leur reproduction. Ils peuvent par exemple déterminer les capacités de persistance au cours de la saison ou encore de réponse au pâturage...

Ces traits fonctionnels peuvent constituer des indicateurs pour raisonner l'évolution des milieux en terme de ressource fourragère et de fonctionnalités pastorales.

Un ensemble de plantes se caractérisant par des traits fonctionnels similaires appartiennent à un même « groupe fonctionnel ».

- Sur les trois massifs où le recul temporel des suivis « Alpages Sentinelles » est le plus important (20 à 40 ans, sur les Grandes Rousses, le Vercors et les Écrins), une première approche s'est focalisée sur les **dynamiques d'évolution de l'abondance des grands types morphologiques de plantes**, à pratiques pastorales constantes : graminéoides (graminées et carex/laiches), plantes à port en rosette (par exemple les plantains, l'arnica ou l'épervière piloselle), buissons et arbres...
- Les suivis mettent en évidence **une nette augmentation des graminéoides**, espèces qui constituent l'essentiel de la ressource fourragère sur les alpages. À l'inverse, **les plantes à port en rosette**, souvent difficilement valorisables du point de vue fourager, mais essentielles en termes de biodiversité, **diminuent**.



*Touffe de fétuque violette,  
de la famille des graminées*



*Arnica des montagnes, avec  
ses feuilles en rosette à la  
base de sa hampe florale*

▪ **Cette tendance est particulièrement marquée pour les pelouses nivales** : doublement du recouvrement des graminoides, réduction de moitié du recouvrement des plantes à port en rosette en 20 ans sur les pelouses nivales du massif des Écrins par exemple. Pour les autres types pastoraux, cette tendance est globalement moindre et d'intensité variable. À titre d'exemple, il a pu être noté pour les pelouses thermiques et intermédiaires du Vercors un accroissement de 5 à 10% du couvert des graminoides et une réduction de 20 à 30% du couvert des plantes à port en rosettes en 30 ans.

▪ **Les abondances des autres types morphologiques de plantes** (mono et dicotylédones herbacées, buissons...) **ne présentent pas de tendance nette et continue** de modification en réponse au changement climatique malgré l'existence parfois, comme pour les légumineuses, de variations fortes entre les années.

Si une tendance de long terme ne se dégage pas, ces variations interannuelles interrogent tout de même fortement sur les variations de qualité fourragère qu'elles peuvent induire annuellement.



*L'abondance des légumineuses peut fortement varier au sein d'une pelouse selon les années. Ici, l'anthyllide vulnérable*

▪ **Les landes et landines à Éricacées constituent les milieux les plus stables**, aucune variabilité notable de l'abondance des types fonctionnels de plantes n'a été détectée.

▪ Cette réponse au changement climatique des groupes fonctionnels de plantes, notamment l'augmentation de l'abondance des graminoides, est un phénomène qui a également pu être constaté pour d'autres pelouses d'altitude sur quelques autres sites alpins en Europe.

Dans tous les cas, **les changements observés de composition fonctionnelle traduisent une abondance plus élevée des espèces plus productives** : espèces de plus grande taille, avec de plus grandes surfaces foliaires.

Cette approche fonctionnelle de la dynamique des pelouses a ainsi l'avantage de relier directement les conséquences des évolutions de ces milieux avec l'usage pastoral qui peut en être attendu.

▪ Ces résultats soulignent l'intérêt de **coupler les approches taxonomiques** (basées sur l'identité des espèces) **et les approches fonctionnelles** (basées sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques). En effet, l'absence d'évolution tendancielle lorsque l'on suit les espèces une à une peut tout à fait masquer, comme c'est le cas ici, des évolutions plus globales à l'échelle des groupes fonctionnels, du fait des effets cumulés des réponses individuelles des différentes espèces d'un même groupe.

## Hausse des températures et sécheresses : des approches expérimentales pour anticiper les impacts sur le long terme

- En complément des suivis de terrain, des **approches expérimentales** sont déployées par certaines équipes de chercheurs pour tenter d'anticiper les impacts à long terme du changement climatique.

Ces méthodes présentent l'avantage de **fournir des résultats sur des pas de temps relativement courts, face à un phénomène de long terme**, mais sont souvent également coûteuses.

Elles mettent globalement en évidence **une bonne résilience des communautés végétales d'altitude** à la hausse des températures et à une sécheresse saisonnière.

- **La hausse tendancielle des températures**, qui se déroule sur le temps long, a pu être simulée sur un pas de temps plus court comme l'illustrent les deux programmes de recherche suivants :

- **Une expérimentation de réchauffement artificiel** a été menée durant quatre années consécutives sur les prairies subalpines dans les Montagnes Rocheuses aux États-Unis. Un système de chauffage in situ a permis de modifier de manière contrôlée la température atmosphérique dans l'environnement direct des végétations étudiées. Les résultats mettent en évidence **une grande résilience de ce milieu**, aucune réponse statistiquement significative de la dynamique des espèces n'ayant pu être détectée.

- **Une opération intitulée « Alpages Volants »**, menée par le Laboratoire d'Écologie Alpine au col du Lautaret (Écrins) en 2016, a consisté à descendre par hélicoptère des blocs de pelouses alpines au niveau des forêts de résineux, 600 mètres en contrebas. Ceci correspond à un réchauffement climatique brutal de 3°C environ.

De tels transferts de pelouses d'alpage vers des sites de plus basse altitude, où la température moyenne est plus chaude, miment les conditions dans lesquelles se trouveraient les pelouses à la suite de plusieurs décennies de réchauffement global.

Ces pelouses font l'objet de suivis réguliers des espèces qui s'y développent année après année, mais **cette expérimentation récente ne permet pas encore de dégager de tendances nettes**.

À noter : ces approches expérimentales apportant des modifications brutales des conditions environnementales (température, pluviométrie) pourraient conduire à sous-estimer les capacités d'adaptation des végétations, qui sont soumises en réalité à des changements beaucoup plus progressifs.

Les « alpages volants »  
Préparation de blocs  
de pelouses alpines  
en vue de leur  
hélicoptage  
à plus basse altitude



© Franck Delbart, CNRS

- **Des sécheresses artificielles** peuvent être provoquées in situ pour analyser la réponse des végétations pastorales sur des sites d'étude bien instrumentés.
- **Diverses méthodes sont mobilisées** pour intercepter les précipitations et les restituer de manière contrôlée : volets roulants automatiques, serres et abris expérimentaux, gouttière d'acheminement de l'eau...
- Ces expérimentations permettent de **comparer les réponses des végétations en conditions standards (témoins) et en conditions altérées (sécheresse)**, en maîtrisant précisément par ailleurs l'ensemble des facteurs conditionnant la pousse des végétations, au-delà de la quantité d'eau reçue.



*Des simulations de sécheresses  
sous serres sur  
les Hauts-Plateaux du Vercors*



- Les résultats des différentes études menées dans les Alpes européennes sont concordants et concluent à la **bonne résilience des pelouses pastorales d'altitude à une sécheresse saisonnière**.

L'impact est en général marqué l'année de la sécheresse, pouvant entraîner **des changements ponctuels dans la composition floristique** : réduction de l'abondance ou disparition précoce d'espèces particulièrement sensibles au déficit hydrique, développement plus important d'espèces tolérantes et résistantes. Toutefois, ces effets sont **très vite tamponnés lors de la saison de pousse suivante**, où les pelouses retrouvent une composition comparable à celle d'avant la sécheresse.

- Attention, la résilience d'une pelouse à une sécheresse mise en évidence dans un cadre expérimental ne présage pas de sa réponse à plusieurs sécheresses successives et à certains seuils de sécheresses extrêmes. **Quels seraient les impacts de sécheresses plus fréquentes et/ou plus fortes ?**

#### L'exemple d'une expérimentation de sécheresse sur les Hauts-Plateaux du Vercors

Dans le cadre du projet SECALP piloté par le Laboratoire d'Écologie Alpine, un épisode de sécheresse a été simulé par INRAE à l'aide de plusieurs serres expérimentales sur une pelouse intermédiaire du subalpin (pelouse à agrostide vulgaire (*Agrostis vulgaris*), fétuque noirâtre (*Festuca nigrescens*), plantain des montagnes (*Plantago montana*) et carex toujours vert (*Carex sempervirens*)). Les eaux de pluie, récoltées sur place grâce à des gouttières, étaient utilisées ensuite pour arroser de façon contrôlée des placettes de végétation, soit avec une pluviométrie équivalente à la moyenne des 50 dernières années (placettes témoins non asséchées), soit avec une pluviométrie correspondant à la sécheresse marquée de 2003.

L'évolution de la composition floristique a été suivie avant, pendant, et juste après la sécheresse, ainsi que l'année suivante, et a permis de noter l'impact de la sécheresse sur la composition floristique.

En comparaison des placettes témoins non asséchées, des espèces adaptées aux milieux secs se sont développées sur les placettes soumises à la sécheresse, comme la fétuque lisse (*Festuca laevigata*), le céraiste des champs (*Cerastium arvense*) ou le serpolet (*Thymus serpyllum*) ; alors que d'autres espèces plus sensibles, fétuque noirâtre (*Festuca nigrescens*), agrostide vulgaire (*Agrostis capillaris*) ou trèfle des prés (*Trifolium pratense*) ont vu leur abondance réduite de façon significative.

Une année après, lors de la repousse suivante, ces effets disparaissent et la composition des placettes asséchées retrouve son état initial, témoignant de la forte résilience de la communauté végétale.





## Des effets conjugués du changement climatique et des pratiques pastorales

- Les végétations pastorales d'alpage résultent à la fois des **conditions environnementales** (climat, sol, relief...) et de la nature des **pratiques pastorales** mises en œuvre depuis parfois des centaines d'années. En conséquence, une modification de pratiques [arrêt du pâturage, ajustement d'effectifs, modalités de conduite des troupeaux...] peut induire des évolutions significatives de végétations, au-delà des premiers impacts identifiés à ce jour du changement climatique.
- En impactant les systèmes pastoraux, le changement climatique va induire **des changements de pratiques dans la conduite des troupeaux**, entraînant ainsi indirectement **des évolutions de végétations**. Ainsi, en cas de sécheresse, le pâturage pourra potentiellement se reporter sur des pelouses plus grossières et résistantes, ou sur des milieux plus frais tels que les sous-bois, pour limiter le temps de présence des troupeaux sur des pelouses plus sensibles et fragiles.



*Pâturage de fin de saison sur des pelouses dites « grossières » à féтуque paniculée*

- Raisonner l'impact du changement climatique sur les végétations pastorales demande donc de **considérer un ensemble d'effets directs** (liés aux évolutions des conditions météorologiques) **et indirects** (liés aux changements de pratiques pastorales induits par les évolutions climatiques).
- **Ces effets directs et indirects du changement climatique peuvent s'opposer (effets antagonistes) ou aller dans le même sens (effets synergiques)**. Leurs effets conjugués sont donc susceptibles d'avoir des impacts forts sur les végétations, dont on maîtrise encore mal la nature et l'ampleur.

## L'effet conjugué du changement climatique et de l'évolution des pratiques pastorales sur les végétations

*Exemple d'un effet antagoniste sur des pelouses sèches des Hauts-Plateaux du Vercors*

Au sein du programme « Alpages Sentinelles », l'analyse des interactions entre pratiques pastorales et changement climatique sur les végétations d'alpage s'appuie sur des dispositifs expérimentaux permettant le suivi et la comparaison de surfaces pâturées (enclos) et de surfaces retirées du pâturage (exclos).



*Un enclos permanent sur les Hauts-Plateaux du Vercors*

Sur les Hauts-Plateaux du Vercors, un dispositif de ce type est déployé sur des pelouses xériques sur sol superficiel (pelouses sèches à globulaire à feuilles en forme de cœur), mobilisées par des troupeaux ovins sur la période d'estive. Deux tendances d'évolutions antagonistes ont pu être mises en évidence sur ces pelouses :

- À pratiques pastorales constantes, un léger signal d'augmentation de l'abondance des graminées peut être noté et relié au changement climatique.
- En situation d'arrêt des pratiques pastorales en place (simulée par les surfaces d'exclos), une diminution de la part des graminées au profit des légumineuses est observée.

Les résultats de ce dispositif soulignent que les impacts du changement climatique doivent être analysés en tenant compte du maintien ou de l'évolution des pratiques pastorales en place.

*À noter : plus qu'un arrêt complet du pâturage tel qu'étudié dans ce dispositif expérimental, ce sont plutôt des ajustements de pratiques qui seront susceptibles de faire évoluer les milieux (effectifs et dates de présence des animaux, modalités de conduite des troupeaux...), avec très certainement plus de nuances dans les tendances d'évolution.*





# Partie 4

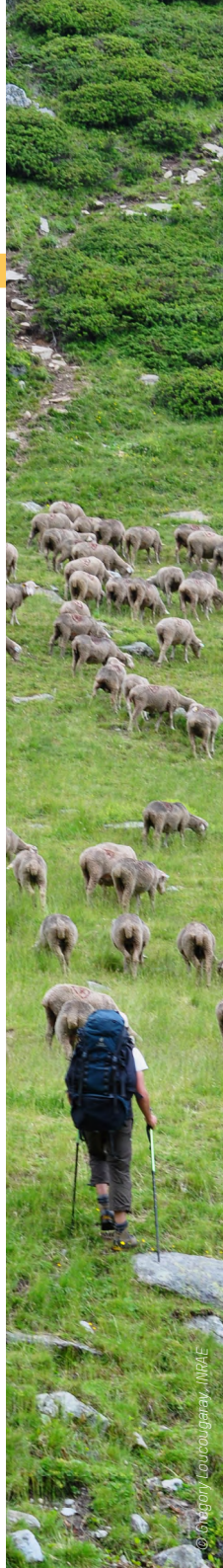
## Une ressource fourragère dépendante de la variabilité climatique

### Une quantité d'herbe de plus en plus variable entre années ?

- De 0,7 à 3 tonnes de matière sèche par hectare, en première pousse, selon les types de pelouses
- Plus ou moins 20 % d'herbe en moyenne selon les années, pour une même pelouse en première pousse
- Des années extrêmes encore plus impactantes

### Une ressource en herbe tributaire de différents facteurs météorologiques

- Une pousse de l'herbe principalement conditionnée par les températures de printemps
- De très fortes chaleurs de printemps semblent limiter la quantité et la qualité de la ressource fourragère
- Un effet négatif des épisodes de gel de printemps
- Des déficits hydriques aujourd'hui peu perceptibles au printemps, des sécheresses estivales déjà très marquées
- Les saisons végétatives se suivent et ne se ressemblent pas !



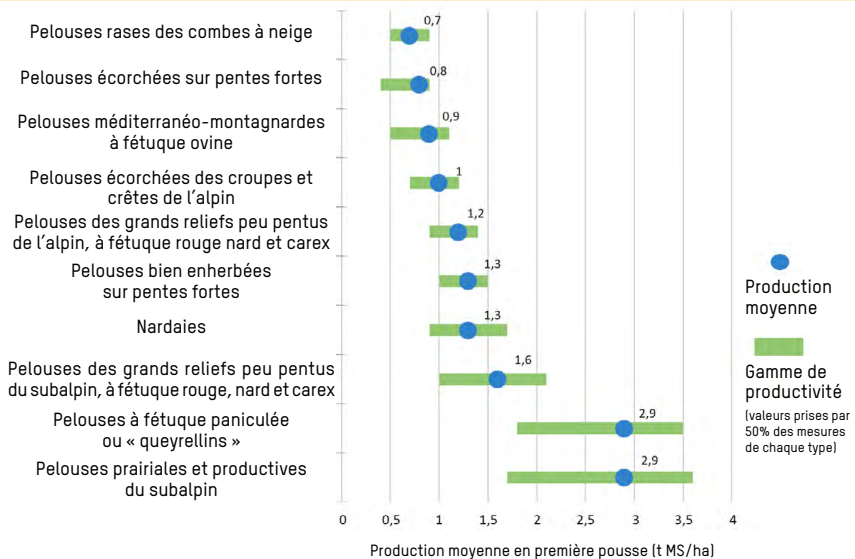
Le jeu de données du dispositif « Alpages Sentinelles » regroupe environ 600 relevés de production de biomasse avant passage des troupeaux, réalisés sur une centaine de placettes à l'échelle des Alpes françaises, les premiers relevés datant de 2012.

L'analyse de ces premiers résultats permet donc de disposer de repères sur les niveaux moyens de production de la première pousse de l'herbe par type de pelouse, leurs variations interannuelles, et leur dépendance aux conditions météorologiques.

## Une quantité d'herbe de plus en plus variable entre années ?

### De 0,7 à 3 tonnes de matière sèche (MS) par hectare, en première pousse, selon les types de pelouses

- Comme en témoignent les analyses des suivis « Alpages Sentinelles », **les niveaux moyens de production peuvent varier très fortement entre les types de végétation**. Entre les pelouses rases d'altitude (0,7 t MS/ha) et les pelouses prairiales de bas d'alpage (près de 3t MS/ha), la production moyenne d'un type de pelouse pastorale d'alpage peut varier de un à quatre, à date d'arrivée du troupeau (hors repousse en cours de saison d'estive) !



*Production moyenne mesurée en première pousse par type de pelouses*



- Au sein d'un même type de pelouse pastorale, les variations du niveau de production moyen entre stations peuvent être liées à la spécificité des contextes locaux (pente et exposition, profondeur et richesse du sol, densité du couvert végétal...) et des conditions météorologiques de l'année.
- Le dispositif « Alpes Sentinelles », développé sur l'ensemble du massif alpin français, confirme les niveaux moyens de production des différentes pelouses d'alpage issus des référentiels déjà existants à l'échelle de différents sous-massifs.
- Attention : ces résultats ne concernent que la première pousse de végétation. Mais **les repousses sont également précieuses pour un pâturage de fin de saison**, sur les parties basses des alpages.

## Plus ou moins 20 % d'herbe en moyenne selon les années, pour une même pelouse en première pousse

- Sur la première pousse, le dispositif a permis de mettre en évidence **des variations interannuelles de production de l'ordre de + ou - 20% en moyenne** pour une station donnée.
- Pour les **pelouses plutôt productives** (ex : queyrellins, pelouses prairiales), cela se traduit par une variation importante de la quantité de fourrage mobilisable par les troupeaux, même en situation de surfaces limitées sur l'alpage.
- Pour les **pelouses rases et peu productives** (ex : pelouses rases des combes à neige, pelouses écorchées sur pentes fortes), les variations de quantité d'herbe sont plus faibles à l'hectare, mais peuvent être toutefois très impactantes à l'échelle de l'alpage si les surfaces concernées sont très étendues.
- Ces variations interannuelles moyennes peuvent même dépasser les 30% sur les pelouses méditerranéo-montagnardes à fétuque ovine du massif du Luberon.



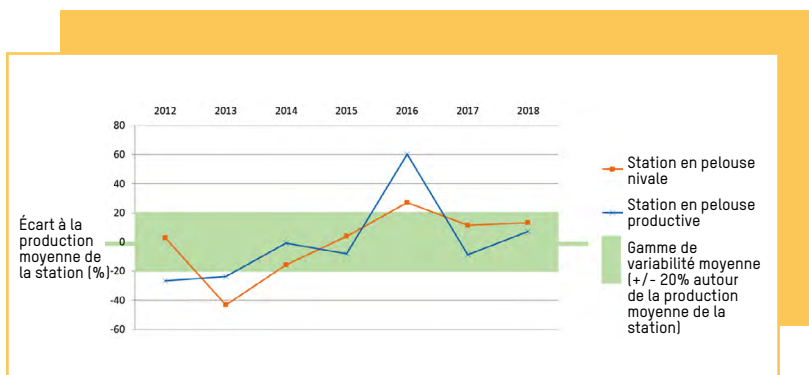
*Les pelouses thermiques écorchées, à micro-reliefs dits « en gradins », peuvent s'étendre sur de vastes surfaces en alpage*

## Des années extrêmes encore plus impactantes

▪ Attention, derrière ces variations moyennes, le jeu de mesures « Alpes Sentinelles » met en évidence des années extrêmes, aux conditions météorologiques particulièrement favorables ou défavorables à la pousse de l'herbe. Ces années-là, les quantités d'herbe disponibles à l'arrivée des troupeaux sur une station donnée peuvent atteindre **plus ou moins 50 à 60% de leur niveau de production moyen**.

Au-delà d'une gamme de variation moyenne de + ou - 20%, les pelouses peuvent connaître des variations de productivité beaucoup plus extrêmes certaines années exceptionnelles, comme en témoignent ces exemples sur deux stations de suivi :

- En 2013, la production mesurée sur une station de pelouse nivale de combe à neige est inférieure de 40% à sa production moyenne,
- En 2016, à l'inverse, la quantité de biomasse en première pousse sur une station de pelouse productive a augmenté de 60% par rapport à sa moyenne.



*Variation interannuelle de la production moyenne sur la première pousse, mesurée sur deux stations du réseau dans le Parc National des Écrins, entre 2012 et 2018*

- **Les repousses estivales sont elles-mêmes extrêmement variables et parfois quasi nulles** si les précipitations manquent. Ainsi, en 2019, les retours de terrain des éleveurs, bergers et techniciens ont souligné l'absence de repousses sur certains massifs, comme celui de la Chartreuse par exemple, mettant en difficulté les systèmes pastoraux et ayant parfois abouti à une descente plus précoce des troupeaux.
- **Ces années extrêmes semblent être de plus en plus fréquentes du fait du changement climatique**, interrogeant la capacité des systèmes pastoraux à trouver des marges de manœuvre pour y faire face.

## Une ressource en herbe tributaire de différents facteurs météorologiques

*La disponibilité de la ressource fourragère en alpage, en quantité, qualité et saisonnalité, dépend des conditions météorologiques de l'année (date de déneigement, températures, pluviométrie, gels...).*

### Une pousse de l'herbe principalement conditionnée par les températures de printemps

- **Les températures de printemps** conditionnent très fortement le démarrage, le développement foliaire et l'avancée des stades phénologiques de la végétation.
  - **Le démarrage de la croissance des végétations** en alpage se fait lorsque la somme des températures moyennes journalières atteint un seuil d'environ 300°, après déneigement.
  - **Le stade épiaison des graminées précoces** semble pouvoir être atteint en alpage lorsque la somme des températures moyennes journalières avoisine le seuil de 600°.



*Cortège de graminées au stade épiaison au sein d'une pelouse subalpine*

- De ce fait, les températures de printemps vont induire une pousse plus ou moins précoce et rapide des végétations, et donc **une ressource fourragère plus ou moins abondante et disponible en début d'estive**. Par exemple, des suivis réalisés sur quatre sites du massif de Belledonne ont mesuré une augmentation de biomasse pouvant aller jusqu'à 20%, pour une hausse moyenne des températures journalières de 3.3°C sur les mois d'avril et mai.



## Somme des températures, de quoi parle-t-on ?

Du fait des variations annuelles des conditions météorologiques, les repères calendaires n'apportent pas toujours une information fiable sur les stades de développement de la végétation (par exemple, on ne peut pas affirmer chaque année que « mon herbe sur cette pelouse sera mûre au 15 mai »).

La croissance des végétations étant corrélée aux températures, les sommes de températures peuvent être utilisées pour suivre l'évolution des stades de développement des pelouses chaque année.

Pour suivre cette somme de températures, on additionne les températures moyennes journalières, si celles-ci sont positives, à compter de la date de déneigement. On obtient une somme exprimée en « degrés jours » (°J).

### ▪ L'ampleur de l'effet positif des températures de printemps sur la biomasse produite semble dépendre des types de pelouses.

Les résultats des suivis « Alpages Sentinelles » identifient un lien significatif entre les températures de printemps et les quantités de biomasse produites pour certains types de pelouses comme les nardaies et les queyrellins. Ces résultats sont moins nets à ce stade pour d'autres pelouses telles que les pelouses prairiales de bas d'alpage, sans que l'on puisse identifier à ce jour de facteurs explicatifs.

## De très fortes chaleurs de printemps semblent limiter la quantité et la qualité de la ressource fourragère

▪ Globalement, des températures plus élevées au printemps privilégient une hausse de la quantité d'herbe produite. Pour autant, **des conditions de printemps très chaudes par rapport aux normales de saison semblent conduire à une montée en graine plus rapide des graminées**, au détriment de la production de feuilles et donc de la quantité d'herbe.

Ce phénomène, observé alors que la quantité d'eau disponible ne semble pas limitante, serait lié à un délai raccourci entre le démarrage de la croissance et l'épiaison de la végétation.

Ceci a été par exemple mis en évidence par le Laboratoire d'Écologie Alpine sur l'alpage de Chaillol (Parc National des Écrins) en 2105, 2017 et 2018, alors que les températures maximales moyennes de juin et de juillet à Villar d'Arène ont excédé 22°C.

▪ De plus, des analyses spécifiques menées sur le massif de Belledonne ont montré que **des printemps très chauds et précoces impactent également négativement la qualité fourragère**, en termes de matière azotée totale et de digestibilité. Ces analyses ont ainsi révélé une diminution de l'ordre de 20% de la digestibilité du fourrage sur ces années très chaudes et précoces.

▪ **Ces résultats rejoignent les témoignages de terrain de certains éleveurs, bergers et techniciens**, qui, certaines années de printemps très chauds, observent à l'arrivée des troupeaux des végétations hautes, toutes en tiges et peu denses en feuilles.



- Au-delà des variations interannuelles, la question qui se pose ici dans un contexte de changement climatique est celle d'**un raccourcissement du délai moyen entre le déneigement et l'atteinte du stade d'épiaison**, par augmentation des températures de printemps. Il a été ainsi montré sur l'alpage de Chaillol que ce délai se raccourcit sur la période 2007-2018, avec une épiaison particulièrement précoce au printemps 2017. La généralisation de ces observations demanderait une confirmation par des suivis sur du plus long terme, incluant à la fois des données historiques avec des printemps 'standards' et des données récentes comprenant des printemps très chauds et précoces.

Les augmentations de production qui pourraient être attendues, en première réflexion du fait de la hausse des températures, ne seront peut-être pas effectives si les printemps très chauds et précoces se multiplient !

## Un effet négatif des épisodes de gel de printemps

- Au-delà des températures de printemps, le deuxième facteur qui impacte fortement la pousse de l'herbe est le nombre d'**épisodes de gels de printemps, après démarrage de la végétation**. En effet, suite à la fonte du manteau neigeux qui assure une protection thermique des végétations durant la période hivernale, **des gels, plus ou moins sévères, peuvent impacter les jeunes feuilles et les tissus de croissance de la plante** (méristèmes), retardant ou limitant ainsi le développement des végétations et donc leur niveau de production et leur qualité.

- Les résultats des suivis du dispositif « Alpages sentinelles » confirment globalement l'impact de ces épisodes de gel sur la quantité d'herbe disponible à l'arrivée des troupeaux.

Cette tendance est toutefois plus marquée pour certains types de pelouses (nardaies, pelouses intermédiaires du subalpin, queyrellins), alors que la corrélation est moindre pour d'autres (pelouses prairiales, pelouses des croupes de l'alpin, pelouses nivales). Des différences physiologiques et de phénologie entre espèces pourraient expliquer ces variations de sensibilité entre types pastoraux.



*Au-delà de l'impact annuel du gel sur la production fourragère, des épisodes répétés de forts gels de printemps peuvent-ils dégrader durablement certains milieux ?  
Exemple des « dômes froids » sur l'alpage de Darbounou  
dans la Réserve des Hauts-Plateaux du Vercors*

## Des déficits hydriques aujourd’hui peu perceptibles au printemps, des sécheresses estivales déjà très marquées

▪ La disponibilité en eau conditionne la croissance des végétations. Elle est liée à la fois aux précipitations (sous forme de pluie et de neige) et à l'évapotranspiration dépendante de la température.

Pour autant, **en alpage, il semble que l'eau ne soit pas généralement un facteur limitant pour le démarrage et la première pousse des végétations**, grâce au stock de neige, dont la fonte sature les sols, et aux pluies de printemps.

▪ Les analyses statistiques des données 2012-2018 du dispositif « Alpages sentinelles » confirment cette situation, ne révélant pas d'effet significatif de la pluviométrie sur la quantité d'herbe produite pendant la saison de première pousse. Les végétations alpines et subalpines incluses dans le dispositif ne semblent donc pas avoir souffert pour le moment de déficit hydrique au printemps.

▪ Toutefois, **l'hypothèse d'un manque d'eau** lié à la conjonction d'un très faible stock de neige en sortie d'hiver et d'un printemps sec **n'est pas à exclure**, vue l'ampleur croissante des aléas météorologiques.

▪ **Les épisodes de sécheresse au cours de la saison d'estive impactent par contre déjà très fortement la capacité des pelouses basses d'alpage à faire des repousses.**

Si ces épisodes de sécheresses estivales ont toujours conditionné les ressources fourragères disponibles pour les troupeaux en fin de saison, leur fréquence et leur ampleur risquent de s'accroître, remettant en question certains équilibres de gestion actuels, comme ont pu en témoigner nombre d'éleveurs et de bergers ces dernières années.

*Année moyenne, juillet 2008*



*Sécheresse de juillet 2015*

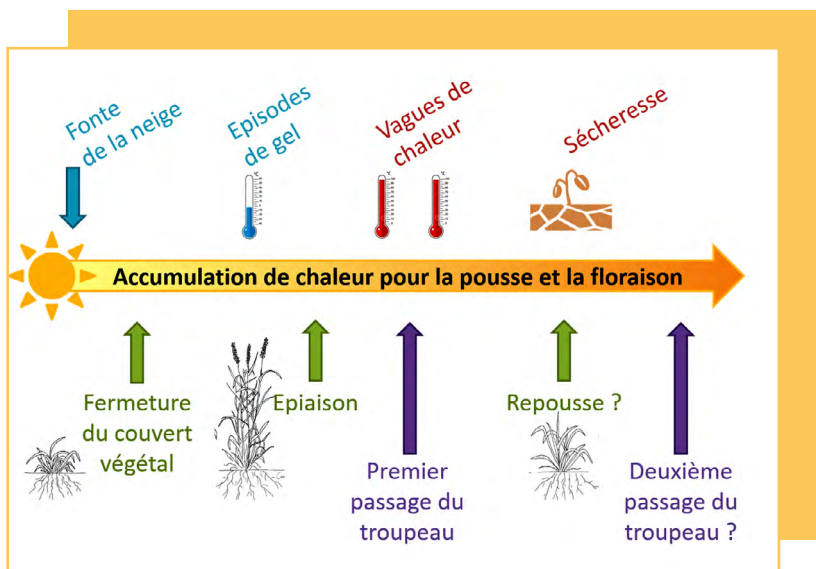
*L'effet d'une sécheresse sur les pelouses des Hauts-Plateaux du Vercors  
(alpage de la Grande Cabane)*

## Les saisons végétatives se suivent et ne se ressemblent pas !

- Le contexte de changement climatique se traduit par **des variations très marquées des conditions météorologiques d'une année sur l'autre**.

L'enchaînement des séquences météorologiques au fil de la saison végétative (printemps précoce ou tardif ; été froid ou chaud, humide ou sec, etc.) conditionne de manière complexe le développement et donc la productivité et la qualité des pelouses.

- Cette complexité limite à ce stade la possibilité de généraliser le déroulé d'une séquence météorologique et d'en anticiper les conséquences sur la croissance des végétations.



*Un exemple de saison végétative, soumise à divers aléas météorologiques*





# Conclusion

Les retours d'expérience du dispositif « Alpes Sentinelles » mettent en avant **quelques idées clefs pour mieux comprendre et raisonner l'impact du changement climatique sur les différentes végétations d'alpage** (évolution des compositions floristiques, variations interannuelles des niveaux de production).

Si ces premiers éléments permettent de mieux appréhender les liens entre facteurs météorologiques et évolutions des végétations pastorales, **l'anticipation des effets du changement climatique n'en demeure pas moins complexe !**

- En effet, **l'impact des conditions météorologiques dépend de l'articulation des événements marquants au cours de chaque saison végétative** (gels, épisodes secs ou pluvieux...). Selon leur durée et leur enchaînement, leurs effets sur les végétations vont pouvoir s'accroître ou au contraire se compenser. D'autre part, **l'intensité** d'un même facteur météorologique et sa **répétition** dans le temps peuvent entraîner des réponses différentes.

- De plus, si le réchauffement est une tendance commune à tous les territoires, **les contraintes ou aléas climatiques auxquels sont exposés une même année les différents alpages peuvent être très variables**. Les phénomènes d'orages très localisés en montagne en sont une parfaite illustration. Microrelief, exposition dominante ou encore pente sont également autant de facteurs pouvant accroître ou au contraire atténuer localement les conséquences d'un phénomène météorologique.

- D'autre part, **les dynamiques observées sur les végétations pastorales résultent à la fois de l'évolution des conditions météorologiques et des pratiques pastorales**. Le changement climatique occasionnant également des ajustements de pratiques, son impact sur les végétations peut être direct (réponses des végétations aux facteurs météorologiques) ou indirect du fait de l'adaptation des conduites pastorales.

- Enfin, les milieux pastoraux d'alpages sont extrêmement divers, tant en termes de conditions écologiques que de compositions floristiques. Cela leur confère **des propriétés et des capacités de réponses différentes** face aux mêmes évolutions climatiques et contraintes météorologiques.

## Le référentiel des végétations pastorales

Le dispositif « Alpes Sentinelles » contribue à élaborer, avec ses partenaires des Régions SUD PACA et Occitanie, un référentiel des végétations pastorales des Alpes à la Méditerranée : la « Pastothèque ».

Un ensemble de fiches techniques décrit pour chacun des principaux milieux identifiés leurs fonctionnalités pastorales, leurs sensibilités au changement climatique et les enjeux environnementaux associés.

*Extrait de la fiche technique :  
Pelouses d'altitude à brachypode penné (« bauouque »)*

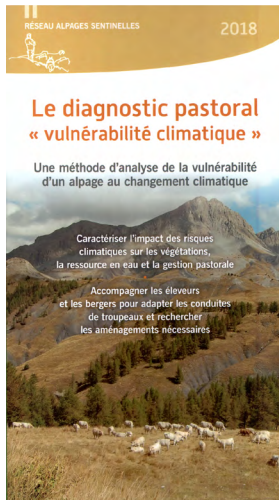


*« Les pelouses d'altitude à brachypode penné se retrouvent typiquement sur les versants bien exposés entre 1500 et 2000 m. Elles se caractérisent par la dominance du brachypode penné, facilement reconnaissable par la teinte vert-jaunâtre de ses feuilles.*

*Les propriétés du brachypode, et notamment sa capacité au report sur pied, permettent une grande souplesse de mobilisation de ces pelouses tout au long de la saison d'estive. Des modes de conduite spécifiques sont toutefois souvent indispensables pour mobiliser cette graminée « grossière » peu appétente. »*

Raisonnement l'impact du changement climatique à l'échelle d'un alpage nécessite de prendre en compte la diversité et la complémentarité des végétations pastorales qui le composent.

Une méthodologie de diagnostic pastoral « vulnérabilité climatique » a ainsi été élaborée par le dispositif « Alpages Sentinelles ». Elle s'appuie notamment sur les complémentarités pastorales et climatiques des milieux composant l'alpage pour identifier des stratégies d'adaptation assurant à la fois les impératifs zootechniques, le renouvellement de la ressource et la préservation de la biodiversité.



Édité en 2018 par le dispositif « Alpages Sentinelles », **le diagnostic pastoral « vulnérabilité climatique »** propose un cadre d'analyse de l'impact du changement climatique sur un alpage.

Il mobilise notamment les connaissances acquises sur les réponses des différentes végétations pastorales au changement climatique.

---

*Pour en savoir plus, rendez-vous sur*  
[www.alpages-sentinelles.fr](http://www.alpages-sentinelles.fr) !

---







## Alpages Sentinelles : un espace de dialogue pour anticiper l'impact du changement climatique

*Pour mieux comprendre et anticiper les conséquences du changement climatique sur les alpages, le réseau « Alpages sentinelles » mène des travaux à l'interface entre recherche scientifique et actions de développement, en privilégiant la concertation et les échanges d'expériences. Il associe des organismes professionnels du pastoralisme et de l'élevage, des territoires naturels protégés (Parcs Nationaux, Parcs Naturels Régionaux), des organismes de recherche, ainsi que l'ensemble des éleveurs et bergers utilisateurs des alpages étudiés. Ce réseau s'appuie sur le suivi d'un échantillon d'alpages répartis dans le massif alpin. Les travaux conduits permettent de mieux connaître les leviers d'adaptation possible pour les différents systèmes pastoraux. Des outils de diagnostic et de conseil sont produits pour accompagner l'adaptation au changement climatique sur les alpages, afin de préserver durablement les végétations d'alpage et les systèmes pastoraux qui les mobilisent et les entretiennent.*



## Partenaires du programme Alpages sentinelles



## Opération soutenue par



*Le projet Alpages Sentinelles est financé avec le concours de l'Union européenne : l'Europe s'engage sur le Massif Alpin avec le Fonds Européen de Développement Régional. Il bénéficie aussi du concours du Fonds National d'Aménagement et de Développement de Territoire au titre de la Convention Interrégionale du Massif des Alpes.*





