



**HAL**  
open science

**Adaptation au changement climatique sur les alpages.  
Modéliser le système alpage-exploitations pour  
renouveler les cadres d'analyse de la gestion des alpages  
par les systèmes pastoraux**

Baptiste Nettier

► **To cite this version:**

Baptiste Nettier. Adaptation au changement climatique sur les alpages. Modéliser le système alpage-exploitations pour renouveler les cadres d'analyse de la gestion des alpages par les systèmes pastoraux. Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2016. Français. NNT : 2016CLF22707 . tel-01412050

**HAL Id: tel-01412050**

**<https://theses.hal.science/tel-01412050>**

Submitted on 7 Dec 2016

**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.



N° D.U. : 2707



UdA | Université d'Auvergne

Année : 2016

**Ecole Doctorale Sciences de la Vie, Santé Agronomie, Environnement**  
N° d'ordre : 691

# THESE

Présentée à l'Université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de Pour l'obtention du grade de

## Docteur d'Université

**Spécialité : Agronomie**

Soutenue le 23 juin 2016

**Baptiste Nettier**

---

**Adaptation au changement climatique sur les alpages.  
Modéliser le système alpage-exploitations pour renouveler les cadres  
d'analyse de la gestion des alpages par les systèmes pastoraux**

---

### Composition du Jury

Gilles MAILHOT  
Benoit DEDIEU  
Sylvain PLANTUREUX  
Cyrille RIGOLOT  
Jean-Pierre LEGEARD

Laurent DOBREMEZ  
Gilles BRUNSCHWIG

Directeur de Recherche  
Directeur de Recherche  
Professeur  
Chargé de Recherche  
Vice-Président de l'Association Française  
de Pastoralisme  
Ingénieur agronome, IPEF  
Professeur

Président  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examineur  
Expert invité  
Co-encadrant  
Directeur de thèse



Université Grenoble Alpes, IRSTEA, Unité Développement des Territoires Montagnard  
VetAgro Sup - INRA, Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores (UMRH)



## *Remerciements*

J'ai vécu ces presque quatre années de thèse comme une aventure individuelle et très collective. Aventure individuelle, parce qu'un travail de thèse est un travail très personnel, et plus qu'un travail un engagement personnel. Mais surtout aventure collective, car la réussite d'une thèse tient à la participation et au soutien de nombreuses personnes. Ma thèse en particulier ne serait rien sans l'appui des nombreux collègues, amis, famille, et sans l'implication des membres du collectif « Alpages Sentinelles » avec qui j'ai pu travailler. Derrière le « nous » employé dans cette thèse, ce sont toutes ces personnes qui sont présentes, et que je voudrais remercier ici.

Tout d'abord, je voudrais remercier les membres de mon jury de thèse, qui ont accepté de prendre du temps pour évaluer mon travail : Benoit Dedieu, Jean-Pierre Legeard, Gilles Mailhot, Cyrille Rigolot et Sylvain Plantureux.

Je voudrais également remercier mes deux encadrants, Laurent Dobremez et Gilles Brunschwig, qui m'ont accompagné de près durant ces quatre ans, et ont toujours été de bon conseil. Leur rigueur, leurs bonnes idées, leur soutien dans les moments difficiles et leur patience infinie m'ont beaucoup apporté.

Je remercie également les membres de mon comité de thèse ; Laurent Garde, Nathalie Girard, Magali Jouven, Sandra Lavorel, et Jacques Lasseur. Leurs différents conseils m'ont tous été précieux. Un merci tout particulier à Sandra et Laurent, que j'ai énormément sollicités et qui ont toujours su se montrer disponibles pour m'aider malgré leurs emplois du temps plus que remplis.

Je ne sais pas si cette thèse aurait pu aboutir sans le soutien des collègues au quotidien. Je ne peux pas citer tout le monde, mais un grand merci à l'ensemble des collègues de la pause-café. J'ai toujours pu trouver dans cette vénérable institution –un modèle de gouvernance des biens communs qui se passe des institutions et du marché– une bonne humeur et un décalage à toute épreuve. Parmi les collègues de l'IRSTEA, un merci particulier pour leur appui technique et pour leur soutien moral à Coralie Achin, Sylvain Bonnet, Frédéric Bray, Damien Buttiglieri, Hugues François, Emilie Gentilini, Emmanuelle George-Marcelpoil, André Torre. Merci aussi à William Guitton et Audrey Roy pour les coups de main sur la fin, et pour la suite à venir !

Je remercie également quelques autres collègues et voisins du Laboratoire d'Ecologie Alpine qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à ce travail : Coline Byczek, Philippe Choler, Monica Cecilia Corona Lozada et Marine Gabillet.

Je remercie chaleureusement l'ensemble des membres du collectif Alpages Sentinelles avec qui j'ai eu l'occasion de travailler, toujours dans la bonne humeur, et qui ont rendu possible cette thèse. Un merci tout particulier à tous les techniciens pastoraux et agricoles et aux agents des Parcs qui ont participé aux différentes phases de modélisation participative et ont accepté de me suivre sans bien savoir où j'allais les emmener. Je peux vous le dire à présent : je ne savais pas toujours bien non plus. Merci aux éleveurs et aux bergers qui prennent du temps chaque année pour décrire leurs pratiques, pour participer aux journées d'échanges, et surtout qui m'ont fait partager la passion de leurs métiers.



Merci aussi à la mairie de Lus La Croix Haute, cœur névralgique du massif alpin, toujours disposée à mettre à disposition une salle de réunion.

Je remercie Cécile et Romane, dont la présence dans ma vie est essentielle. Merci de partager avec moi les bons et les mauvais moments, merci d'avoir supporté mes (rares) sautes d'humeur, mon manque de disponibilité sur la fin. Merci aussi au petit frère à venir de Romane, qui va bientôt nous rejoindre et qui à sa manière a contribué à apporter un peu de joie durant la dernière ligne droite de ce travail de thèse.

Merci enfin à ma famille et à mes amis : mes parents et mon frère David surtout, mais aussi mes innombrables cousins et cousines avec qui j'ai grandi, et mes autres amis. Vous n'êtes pas pour rien dans mon goût pour l'agriculture et pour la montagne et dans les idées auxquelles je crois, donc dans cette thèse.

## Valorisations de la thèse

### Publication dans des revues à comités de lecture

DOBREMEZ L., NETTIER B., LEGEARD J.P., CARAGUEL B., GARDE L., VIEUX S., LAVOREL S., DELLA-VEDOVA M., 2014, « Les alpages sentinelles : un dispositif original pour une nouvelle forme de gouvernance partagée face aux enjeux climatiques ». *Journal of Alpine Research / Revue de Géographie Alpine*, 102, 2. [Facteur d'impact 2014 : 0,121 (Journal Citation Reports®)]

NETTIER B., DOBREMEZ L., BRUNSCHWIG G., 2015, « Prendre en compte les interactions entre alpages et exploitations dans les systèmes agropastoraux : une revue bibliographique », *INRA Productions Animales*, 28, 4, p. 329-340. [Facteur d'impact 2014 : 0,726 (Journal Citation Reports®)]

NETTIER B., DOBREMEZ L., LAVOREL S., BRUNSCHWIG G., (soumis), « Resilience as a framework for analysing the adaptation of mountain summer pasture systems to climate change », *Ecology and Society*. [Facteur d'impact 2014 : 2,774 (Journal Citation Reports®)]

### Colloques internationaux et nationaux

NETTIER B., DOBREMEZ L., LEGEARD J.-P., DELLAVEDOVA M., GARDE L., LAVOREL S., BRUNSCHWIG G., 2013, « Les Alpages Sentinelles : un dispositif d'observation innovant pour étudier les capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations dans un contexte de changement climatique », *Journées de printemps de l'Association Française de Production Fourragère : Le changement climatique : incertitudes et opportunités pour les prairies et les systèmes fourragers*, 26-27 mars 2013.

NETTIER B., DOBREMEZ L., BRUNSCHWIG G., 2014, « "Alpine Pasture-Farms System": a concept to analyse the management of alpine pastures », *Meeting "Mountain Pastures, Mediterranean Forage Resources"*, FAO/SCORENA, CIHEAM, Clermont-Ferrand (France), 24-26 juin 2014, *Options Méditerranéennes, Série A*, 109, p. 717-720.

NETTIER B., DOBREMEZ L., LAVOREL S., BRUNSCHWIG G., 2014a, « Adopting a resilience lens to analyze adaptation to climate change on alpine pastures », *Third International Science and Policy Conference 'Resilience and Development: Mobilizing for Transformation' (Resilience 2014)*, CNRS, Montpellier (France), 5-8 mai 2014.

DOBREMEZ L., NETTIER B., 2015, « Alpages sentinelles : une recherche en partenariat pour une gestion durable des alpages et un espace de dialogue pour anticiper l'impact des aléas climatiques ». *Solutions COP21, Conférence "Conséquences et enjeux du changement climatique pour l'élevage"*, Paris, 5 décembre 2015.

NETTIER B., DOBREMEZ L., BRUNSCHWIG G., 2015. "SISTEMA PASTOS ALPINOS - FINCAS" UN CONCEPTO PARA ANALIZAR EL MANEJO DE LOS PASTOS ALPINOS DE VERANO, *XL Congreso "Ciencia Animal: Desafíos científicos y tecnológicos para satisfacer la demanda alimentaria mundial en un marco de sustentabilidad"*, Puerto Varas, Chili, 9-13 novembre 2015.

NETTIER B., DOBREMEZ L., BRUNTSCHWIG G., 2016, « A concept proposal to take into account interactions between Alpine pasture and farms: the alpine-pasture-farms system ». *19<sup>th</sup> Meeting of the FAO-CIHEAM Mountain Pastures sub-network 'Mountain pastures and livestock farming facing uncertainty: environmental, technical and socio-economic challenges', Zaragoza (Spain), 14-16 June 2016 [résumé accepté]*.

### **Autres communications**

NETTIER B., 2014, « La résilience socio-écologique : un concept opératoire pour analyser l'adaptation des alpages au changement climatique. », Journées de l'Ecole Doctorale Sciences de la Vie, Santé, agronomie, Environnement, Clermont-Ferrand, 12 juin 2014.

NETTIER B., DOBREMEZ L., LAVOREL S., BRUNTSCHWIG G., 2014, « Adopter une grille de lecture Résilience pour analyser l'adaptation au changement climatique sur les alpages », Séminaire Résilience Laboratoire d'Ecologie Alpine, Grenoble, 26 mai 2014.

NETTIER B., DOBREMEZ L., BONNET S., BRUNTSCHWIG G., 2015, « L'ingéniosité des alpages... Quel cadre d'analyse adopter pour analyser l'adaptation au changement climatique sur les alpages ?. Journée des doctorants et post-doctorants de l'UMRH », Journée des doctorants et post-doctorants de l'UMRH, Theix, 24 février 2015.

NETTIER B., 2015, « Repenser la gestion des alpages face au changement climatique », Séminaire UICN : Solutions fondées sur la nature et changement climatique, Paris, 14 avril 2015.

NETTIER B., 2015a, « Les Alpages sentinelles : prendre en charge collectivement la problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages ». *Rencontre scientifique du réseau des Parcs nationaux de France, Montpellier, 23-24 novembre 2015*.

DOBREMEZ L., NETTIER B., 2015, « Alpages Sentinelles : une recherche en partenariat dans les espaces protégés », *Séminaire Alpages Sentinelles, Gap, 26 novembre 2015*.

## Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

### **Première partie : Comment analyser l'adaptation au changement climatique des alpages ?**

1	Problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages.....	13
1.1	Les alpages : des espaces agricoles pas comme les autres .....	15
1.2	Le changement climatique : une réalité sur l'ensemble du globe, avec des spécificités en montagne .....	17
1.3	L'adaptation au changement climatique pour les activités d'élevage.....	26
1.4	Spécificités des impacts et de l'adaptation au changement climatique sur les alpages.....	31
1.5	Des cadres d'analyse inadaptés pour traiter de l'adaptation au changement climatique sur les alpages .....	34
1.6	Synthèse .....	40
2	Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages ...	41
2.1	Modéliser : adopter un regard orienté sur un objet .....	43
2.2	Définir les contours du système .....	44
2.3	Acquisition et représentation des connaissances au cours de la modélisation.....	60
2.4	Vulnérabilité et résilience : deux concepts mobilisés pour l'évaluation du modèle.....	64
2.5	Proposition de thèse .....	72

### **Deuxième Partie : Construction d'un modèle conceptuel de système alpage-exploitation**

3	Un travail de recherche qui s'articule avec le dispositif Alpages Sentinelles.....	77
3.1	Les alpages sentinelles, un dispositif de recherche-action .....	79
3.2	Un panel d'experts diversifié, mobilisé dans une démarche de modélisation participative	82
3.3	Une évaluation du modèle à partir de l'analyse d'un échantillon diversifié de cas suivis sur plusieurs années.....	85
3.4	Synthèse de la démarche mise en œuvre .....	97
4	Le modèle de système alpage-exploitations .....	99
4.1	Architecture d'ensemble du modèle.....	101
4.2	Modèle de gestion.....	102
4.3	Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : carte causales des effets de la météo sur les ressources en alpage .....	112
4.4	Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : carte causale des effets des pratiques sur les ressources en alpage .....	117
4.5	Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : extrapolation sur les exploitations de la carte causale météo-ressources des alpages .....	119
4.6	Typologie de végétations .....	121

4.7	Modèle d'état et de transition : modèle biophysique de long-terme .....	126
-----	---	-----

### **Troisième partie : Evaluation du modèle conceptuel : étude d'un échantillon de systèmes alpage-exploitations**

5	Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations	133
5.1	Pourquoi et comment caractériser l'exposition aux aléas climatiques des systèmes alpage-exploitations.....	135
5.2	Eléments de méthodologie .....	136
5.3	Résultats .....	145
5.4	Conclusion : quels enseignements tirer de l'analyse de l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations .....	212
6	Analyse de la sensibilité et des capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations.....	215
6.1	Rappel des objectifs et précisions méthodologiques.....	217
6.2	Analyse détaillée de la vulnérabilité de six systèmes alpage-exploitations différents .....	219
6.3	Identification de différentes logiques d'ajustement.....	243
6.4	Conclusion .....	259
7	Adoption du cadre d'analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l'adaptation au changement climatique.....	263
7.1	Rappel des objectifs et précisions méthodologiques.....	265
7.2	Résultats .....	267
7.3	Discussion .....	274
7.4	Conclusion .....	276

### **4ème partie : Discussion générale**

8	Discussion générale : avancées scientifiques et perspectives opérationnelles .....	279
8.1	Principaux résultats de ce travail de thèse.....	281
8.2	Avancées scientifiques .....	282
8.3	Perspectives opérationnelles .....	298
	Conclusion générale .....	305
	Références bibliographiques .....	311
	Liste des figures.....	343
	Liste des tableaux.....	349
	Table des matières .....	351
	Annexe 1.....	359

## *Liste des abréviations*

ACP : Analyse en Composantes Principale

AFP : Association Française de Pastoralisme

AFP : Association Foncière Pastorale

CAH: Classification Ascendante Hiérarchique

CEMAGREF : Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts

CERPAM : Centre d'Etudes et de Réalisations Pastorales Alpes Méditerranée

FEADER : Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural

FEDER : Fonds Européen de Développement Régional

GP : Groupement Pastoral

ICHN : Indemnité Compensatoire de Handicaps Naturels

INERM : Institut National d'Etudes Rurales Montagnardes

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IRSTEA : Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

ISBA : Interaction sol-biosphère-atmosphère

ISOP : Information et Suivi Objectif des Prairies

MAE : Mesure Agri-Environnementale

MAEC : Mesure Agri-Environnementale et Climatique

MAET : Mesure Agri-Environnementale Territorialisée

MODIS : Moderate - resolution Imaging Spectroradiometer

NDSI : Normalized Difference Snow Index

NDVI : Normal Difference Vegetation Index

PAC : Politique Agricole Commune

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

PASIM : PASTure Simulation Model

PHAE : Prime Herbagère Agri-Environnementale

PN : Parc national

PNR : Parc naturel régional

PPT : Plan Pastoral Territorial

SAFRAN : Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie



# Introduction





## Introduction

Jean Giono, *L'Homme qui plantait des arbres*, 1953 (extraits).

Il y a environ une quarantaine d'années, je faisais une longue course à pied, sur des hauteurs absolument inconnues des touristes, dans cette très vieille région des Alpes qui pénètre en Provence.

Je traversais ce pays dans sa plus grande largeur et, après trois jours de marche, je me trouvais dans une désolation sans exemple. Je campais à côté d'un squelette de village abandonné. Je n'avais plus d'eau depuis la veille et il me fallait en trouver. Ces maisons agglomérées, quoique en ruine, comme un vieux nid de guêpes, me firent penser qu'il avait dû y avoir là, dans le temps, une fontaine ou un puits. Il y avait bien une fontaine, mais sèche. Les cinq à six maisons, sans toiture, rongées de vent et de pluie, la petite chapelle au clocher écroulé, étaient rangées comme le sont les maisons et les chapelles dans les villages vivants, mais toute vie avait disparu.

A cinq heures de marche de là, je n'avais toujours pas trouvé d'eau et rien ne pouvait me donner l'espoir d'en trouver. C'était partout la même sécheresse, les mêmes herbes ligneuses. Il me sembla apercevoir dans le lointain une petite silhouette noire, debout. Je la pris pour le tronc d'un arbre solitaire. A tout hasard, je me dirigeai vers elle. C'était un berger. Une trentaine de moutons couchés sur la terre brûlante se reposaient près de lui. Il me fit boire à sa gourde et, un peu plus tard, il me conduisit à sa bergerie, dans une ondulation du plateau. Il tirait son eau - excellente - d'un trou naturel, très profond, au-dessus duquel il avait installé un treuil rudimentaire.

Cet homme parlait peu. C'est le fait des solitaires, mais on le sentait sûr de lui et confiant dans cette assurance. C'était insolite dans ce pays dépouillé de tout. Il n'habitait pas une cabane mais une vraie maison en pierre où l'on voyait très bien comment son travail personnel avait rapiécé la ruine qu'il avait trouvée là à son arrivée. Son toit était solide et étanche. Le vent qui le frappait faisait sur les tuiles le bruit de la mer sur les plages.

Son ménage était en ordre, sa vaisselle lavée, son parquet balayé, son fusil graissé ; sa soupe bouillait sur le feu. Il me fit partager sa soupe et, comme après je lui offrais ma blague à tabac, il me dit qu'il ne fumait pas. Son chien, silencieux comme lui, était bienveillant sans bassesse.

Il avait été entendu tout de suite que je passerais la nuit là ; le village le plus proche était encore à plus d'une journée et demie de marche. Le berger alla chercher un petit sac et déversa sur la table un tas de glands. Il se mit à les examiner l'un après l'autre avec beaucoup d'attention, séparant les bons des mauvais. Je fumais ma pipe. Je me proposai pour l'aider. Il me dit que c'était son affaire. En effet : voyant le soin qu'il mettait à ce travail, je n'insistai pas. Ce fut toute notre conversation. Quand il eut du côté des bons un tas de glands assez gros, il les compta par paquets de dix. Ce faisant, il éliminait encore les petits fruits ou ceux qui étaient légèrement fendillés, car il les examinait de fort près. Quand il eut ainsi devant lui cent glands parfaits, il s'arrêta et nous allâmes nous coucher.

La société de cet homme donnait la paix. Je lui demandai le lendemain la permission de me reposer tout le jour chez lui. Il le trouva tout naturel, ou, plus exactement, il me donna l'impression que rien ne pouvait le déranger. Ce repos ne m'était pas absolument obligatoire, mais j'étais intrigué et je voulais en savoir plus. Il fit sortir son troupeau et il le mena à la pâture. Avant de partir, il trempa dans un seau d'eau le petit sac où il avait mis les glands soigneusement choisis et comptés.

## Introduction

Je remarquai qu'en guise de bâton, il emportait une tringle de fer grosse comme le pouce et longue d'environ un mètre cinquante. Je fis celui qui se promène en se reposant et je suivis une route parallèle à la sienne. La pâture de ses bêtes était dans un fond de combe. Il laissa le petit troupeau à la garde du chien et il monta vers l'endroit où je me tenais. J'eus peur qu'il vînt pour me reprocher mon indiscrétion mais pas du tout : c'était sa route et il m'invita à l'accompagner si je n'avais rien de mieux à faire. Il allait à deux cents mètres de là, sur la hauteur.

Arrivé à l'endroit où il désirait aller, il se mit à planter sa tringle de fer dans la terre. Il faisait ainsi un trou dans lequel il mettait un gland, puis il rebouchait le trou. Il plantait des chênes. Je lui demandai si la terre lui appartenait. Il me répondit que non. Savait-il à qui elle était ? Il ne savait pas. Il supposait que c'était une terre communale, ou peut-être, était-elle propriété de gens qui ne s'en souciaient pas ? Lui ne se souciait pas de connaître les propriétaires. Il planta ainsi cent glands avec un soin extrême.

Après le repas de midi, il recommença à trier sa semence. Je mis, je crois, assez d'insistance dans mes questions puisqu'il y répondit. Depuis trois ans il plantait des arbres dans cette solitude. Il en avait planté cent mille. Sur les cent mille, vingt mille étaient sortis. Sur ces vingt mille, il comptait encore en perdre la moitié, du fait des rongeurs ou de tout ce qu'il y a d'impossible à prévoir dans les desseins de la Providence. Restaient dix mille chênes qui allaient pousser dans cet endroit où il n'y avait rien auparavant.

C'est à ce moment là que je me souciai de l'âge de cet homme. Il avait visiblement plus de cinquante ans. Cinquante-cinq, me dit-il. Il s'appelait Elzéard Bouffier. Il avait possédé une ferme dans les plaines. Il y avait réalisé sa vie. Il avait perdu son fils unique, puis sa femme. Il s'était retiré dans la solitude où il prenait plaisir à vivre lentement, avec ses brebis et son chien. Il avait jugé que ce pays mourait par manque d'arbres. Il ajouta que, n'ayant pas d'occupations très importantes, il avait résolu de remédier à cet état de choses.

Menant moi-même à ce moment-là, malgré mon jeune âge, une vie solitaire, je savais toucher avec délicatesse aux âmes des solitaires. Cependant, je commis une faute. Mon jeune âge, précisément, me forçait à imaginer l'avenir en fonction de moi-même et d'une certaine recherche du bonheur. Je lui dis que, dans trente ans, ces dix mille chênes seraient magnifiques. Il me répondit très simplement que, si Dieu lui prêtait vie, dans trente ans, il en aurait planté tellement d'autres que ces dix mille seraient comme une goutte d'eau dans la mer.

Il étudiait déjà, d'ailleurs, la reproduction des hêtres et il avait près de sa maison une pépinière issue des faînes. Il pensait également à des bouleaux pour les fonds où, me dit-il, une certaine humidité dormait à quelques mètres de la surface du sol.

Nous nous séparâmes le lendemain.

L'année d'après, il y eut la guerre de 14 dans laquelle je fus engagé pendant cinq ans. Un soldat d'infanterie ne pouvait guère y réfléchir à des arbres. A dire vrai, la chose même n'avait pas marqué en moi : je l'avais considérée comme un dada, une collection de timbres, et oubliée.

Sorti de la guerre, je me trouvais à la tête d'une prime de démobilisation minuscule mais avec le grand désir de respirer un peu d'air pur. C'est sans idée préconçue - sauf celle-là - que je repris le chemin de ces contrées désertes.

## Introduction

Le pays n'avait pas changé. Toutefois, au-delà du village mort, j'aperçus dans le lointain une sorte de brouillard gris qui recouvrait les hauteurs comme un tapis. Depuis la veille, je m'étais remis à penser à ce berger planteur d'arbres. « Dix mille chênes, me disais-je, occupent vraiment un très large espace ».

Les chênes de 1910 avaient alors dix ans et étaient plus hauts que moi et que lui. Le spectacle était impressionnant. J'étais littéralement privé de parole et, comme lui ne parlait pas, nous passâmes tout le jour en silence à nous promener dans sa forêt. Elle avait, en trois tronçons, onze kilomètres de long et trois kilomètres dans sa plus grande largeur. Quand on se souvenait que tout était sorti des mains et de l'âme de cet homme - sans moyens techniques - on comprenait que les hommes pourraient être aussi efficaces que Dieu dans d'autres domaines que la destruction.

Il avait suivi son idée, et les hêtres qui m'arrivaient aux épaules, répandus à perte de vue, en témoignaient. Les chênes étaient drus et avaient dépassé l'âge où ils étaient à la merci des rongeurs ; quant aux desseins de la Providence elle-même, pour détruire l'œuvre créée, il lui faudrait avoir désormais recours aux cyclones. Il me montra d'admirables bosquets de bouleaux qui dataient de cinq ans, c'est-à-dire de 1915, de l'époque où je combattais à Verdun. Il leur avait fait occuper tous les fonds où il soupçonnait, avec juste raison, qu'il y avait de l'humidité presque à fleur de terre. Ils étaient tendres comme des adolescents et très décidés.

La création avait l'air, d'ailleurs, de s'opérer en chaînes. Il ne s'en souciait pas ; il poursuivait obstinément sa tâche, très simple. Mais en redescendant par le village, je vis couler de l'eau dans des ruisseaux qui, de mémoire d'homme, avaient toujours été à sec. C'était la plus formidable opération de réaction qu'il m'ait été donné de voir. Ces ruisseaux secs avaient jadis porté de l'eau, dans des temps très anciens. Certains de ces villages tristes dont j'ai parlé au début de mon récit s'étaient construits sur les emplacements d'anciens villages gallo-romains dont il restait encore des traces, dans lesquelles les archéologues avaient fouillé et ils avaient trouvé des hameçons à des endroits où au vingtième siècle, on était obligé d'avoir recours à des citernes pour avoir un peu d'eau.

Le vent aussi dispersait certaines graines. En même temps que l'eau réapparut réapparaissaient les saules, les osiers, les prés, les jardins, les fleurs et une certaine raison de vivre.

Mais la transformation s'opérait si lentement qu'elle entraînait dans l'habitude sans provoquer d'étonnement.

En 1933, [Elzéard Bouffier] reçut la visite d'un garde forestier éberlué. Ce fonctionnaire lui intima l'ordre de ne pas faire de feu dehors, de peur de mettre en danger la croissance de cette forêt naturelle. C'était la première fois, lui dit cet homme naïf, qu'on voyait une forêt pousser toute seule. A cette époque, il allait planter des hêtres à douze kilomètres de sa maison. Pour s'éviter le trajet d'aller-retour - car il avait alors soixante-quinze ans - il envisageait de construire une cabane de pierre sur les lieux mêmes de ses plantations. Ce qu'il fit l'année d'après.

En 1935, une véritable délégation administrative vint examiner la « forêt naturelle ». J'avais un ami parmi les capitaines forestiers qui était de la délégation. Je lui expliquai le mystère. Un jour de la semaine d'après, nous allâmes tous les deux à la recherche d'Elzéard Bouffier. Nous le trouvâmes en plein travail, à vingt kilomètres de l'endroit où avait eu lieu l'inspection.

Ce capitaine forestier n'était pas mon ami pour rien. Il connaissait la valeur des choses. Il sut rester silencieux. J'offris les quelques œufs que j'avais

## Introduction

apportés en présent. Nous partageâmes notre casse-croûte en trois et quelques heures passèrent dans la contemplation muette du paysage.

Le côté d'où nous venions était couvert d'arbres de six à sept mètres de haut. Je me souvenais de l'aspect du pays en 1913 : le désert... Le travail paisible et régulier, l'air vif des hauteurs, la frugalité et surtout la sérénité de l'âme avaient donné à ce vieillard une santé presque solennelle. C'était un athlète de Dieu. Je me demandais combien d'hectares il allait encore couvrir d'arbres.

Avant de partir, mon ami fit simplement une brève suggestion à propos de certaines essences auxquelles le terrain d'ici paraissait devoir convenir. Il n'insista pas. « Pour la bonne raison, me dit-il après, que ce bonhomme en sait plus que moi. » Au bout d'une heure de marche - l'idée ayant fait son chemin en lui - il ajouta : « Il en sait beaucoup plus que tout le monde. Il a trouvé un fameux moyen d'être heureux ! »

J'ai vu Elzéard Bouffier pour la dernière fois en juin 1945. Il avait alors quarante-sept ans.

Sur l'emplacement des ruines que j'avais vues en 1913, s'élèvent maintenant des fermes propres, bien crépies, qui dénotent une vie heureuse et confortable. Les vieilles sources, alimentées par les pluies et les neiges que retiennent les forêts, se sont remises à couler. On en a canalisé les eaux. A côté de chaque ferme, dans des bosquets d'érables, les bassins des fontaines débordent sur des tapis de menthes fraîches. Les villages se sont reconstruits peu à peu. Une population venue des plaines où la terre se vend cher s'est fixée dans le pays, y apportant de la jeunesse, du mouvement, de l'esprit d'aventure. On rencontre dans les chemins des hommes et des femmes bien nourris, des garçons et des filles qui savent rire et ont repris goût aux fêtes campagnardes.

Quand je réfléchis qu'un homme seul, réduit à ses simples ressources physiques et morales, a suffi pour faire surgir du désert ce pays de Canaan, je trouve que, malgré tout, la condition humaine est admirable. Mais, quand je fais le compte de tout ce qu'il a fallu de constance dans la grandeur d'âme et d'acharnement dans la générosité pour obtenir ce résultat, je suis pris d'un immense respect pour ce vieux paysan sans culture qui a su mener à bien cette œuvre digne de Dieu.

Elzéard Bouffier est mort paisiblement en 1947 à l'hospice de Banon.

## Introduction

Les alpages sont des espaces d'altitudes façonnés par l'homme depuis plusieurs millénaires d'utilisation pastorale. A cause des conditions de relief et de climat, ils ont en grande partie échappé aux différents bouleversements qu'ont connus les autres espaces agricoles, en particulier le phénomène d'intensification qu'a connu l'agriculture depuis le siècle dernier, ou plus exactement d'intensification-abandon (Michaud 2003). Pour autant, ces espaces fortement contraints fournissent encore aujourd'hui une ressource essentielle pour bon nombre de troupeaux dans la plupart des régions de montagne européennes et structurent fortement l'activité agricole en montagne. Les alpages sont aussi des espaces très riches sur le plan environnemental, qui abritent une biodiversité végétale et animale exceptionnelle, et représentent un patrimoine culturel et paysager unique. Ils participent fortement à l'identité des territoires de montagne et à l'attrait touristique de ces régions (ce sont bien les alpages qui ont donné leur nom aux Alpes et non l'inverse), et la gestion pastorale des alpages est reconnue pour son rôle dans le maintien de la richesse biologique et de la multifonctionnalité de ces espaces (Bornard et Cozic 1998).

Sans doute parce qu'ils ont dans une certaine mesure échappé au bouleversement qu'a été la modernisation de l'agriculture au vingtième siècle, et sans doute à cause de l'image d'Épinal qui leur est associée, les alpages sont souvent perçus comme des espaces au caractère immuable. Qu'on les regarde du point de vue des végétations ou du point de vue des pratiques pastorales, on peut avoir l'impression que les choses ne changent pas. Les bergers eux-mêmes, lorsqu'ils décrivent leurs pratiques, en parlent souvent comme si depuis toujours ils mettaient en œuvre chaque année les mêmes pratiques. Et pourtant, comme les paysages décrits par Giono, ce sont des espaces qui sont dans une dynamique, certes lente, mais permanente. Il suffit de suivre durant quelques années les pratiques des bergers, de s'intéresser aux effectifs estivés ou aux contours des alpages pour constater que le changement est la norme et la stabilité l'exception. Les végétations elles-mêmes évoluent, lentement, de manière imperceptible à l'échelle d'une année. Et comme dans la fable de Giono, ces évolutions se font en grande partie par l'action de l'homme, non pas par le semis d'arbres comme l'a fait Elzéard Bouffier, mais par l'utilisation de la dent du troupeau et de sa capacité à transférer la fertilité dans l'espace. Ainsi quelques années suffisent parfois pour observer l'effet de certaines pratiques ou des changements de pratiques sur les milieux. Enfin, comme chez Giono, les savoirs des praticiens sont essentiels dans ce travail de façonnage des milieux et pour saisir la complexité du fonctionnement des écosystèmes.

Un certain nombre de menaces pèsent aujourd'hui sur les alpages : crises agricoles à répétition, retour des grands prédateurs, remise en cause (par certains) du bien-fondé du pastoralisme pour la gestion durable des écosystèmes... Le changement climatique en particulier touche fortement les alpages : les leviers d'adaptation sont limités, les dégradations de végétations d'intérêt pastoral peuvent être irréversibles, et les enjeux environnementaux et patrimoniaux obligent encore plus qu'ailleurs à préserver durablement les milieux. Au début des années 2000, une série de sécheresses d'une ampleur inhabituelle a touché les Alpes françaises. Ces sécheresses ont constitué une prise de conscience un peu brutale du changement climatique et de ses impacts potentiels sur les alpages : difficultés à assurer l'alimentation des troupeaux sur certains alpages, constats localisés de dégradation des végétations, incertitudes sur l'ampleur du changement climatique et sur ses conséquences précises, tensions ravivées entre acteurs de l'agriculture et agents de Parcs ou de Réserves naturelles. Cette situation a conduit un certain nombre d'acteurs concernés par les alpages (éleveurs, bergers, techniciens agricoles et pastoraux, gestionnaires d'espaces protégés, scientifiques écologues et agronomes) à mettre en place un programme d'observation et un espace d'échange et

## Introduction

de co-construction de connaissances sur le sujet. Il s'agit du dispositif Alpages Sentinelles (Dobremez et al. 2014), qui vise à prendre en charge collectivement la problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages.

Le changement climatique et l'enjeu de l'adaptation au changement climatique viennent bouleverser l'image d'immuabilité des alpages : le climat change, et avec lui les milieux et les pratiques, mettant en lumière à la fois le caractère dynamique des alpages et le caractère anthropisé de leurs écosystèmes. Sur les alpages, la question de l'adaptation au changement climatique ne peut alors se réduire à une simple activation de leviers techniques, mais elle oblige à repenser plus globalement les cadres d'analyse de leur fonctionnement, en considérant leur caractère dynamique. Ce travail de thèse propose de s'atteler à cette question, au travers d'une démarche de modélisation conceptuelle.

Notre travail s'inscrit dans le courant des sciences agronomiques, qui sont construites autour de deux centres de gravité que nous essayons d'articuler : la connaissance du fonctionnement d'un système complexe (l'agrosystème) et le raisonnement de l'action sur ce système (Doré et al. 2006). Nous considérons donc l'alpage comme un système agricole. Néanmoins pour parvenir à appréhender la complexité de l'objet « alpage », depuis les mécanismes écologiques à l'œuvre jusqu'à la compréhension des processus de décision des éleveurs et des bergers, en passant par son caractère multifonctionnel, nous nous appuyons en complément sur les concepts et les résultats d'autres disciplines, tant dans les sciences biophysiques (climatologie, écologie...) que dans les sciences humaines et sociales (géographie, sciences de gestion, sociologie, ecological economics...).

Nous inscrivons ce travail de thèse dans une démarche de recherche-action au travers du programme Alpages Sentinelles. Nous visons à la fois à produire des connaissances académiques et des connaissances pour l'action. Pour ce faire, nous articulons savoirs académiques et savoirs experts afin d'intégrer le point de vue des acteurs sur le modèle que nous construisons, et pour tirer parti de leurs connaissances techniques et empiriques, face aux nombreuses incertitudes scientifiques auxquelles nous sommes confrontés.

L'organisation de ce manuscrit de thèse est représentée en Figure 1.

Dans une première partie, nous exposons de manière précise la problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages (chapitre 1) ; dans ce chapitre, pour pallier au faible nombre de travaux portant spécifiquement sur le sujet, nous nous appuyons sur des travaux portant plus largement sur les impacts et l'adaptation au changement climatique pour les activités d'élevage et pour les milieux d'alpage, pour en déduire les spécificités sur les alpages. Nous posons ensuite dans le chapitre 2 les bases méthodologiques d'un travail de construction et d'évaluation d'un modèle conceptuel, que nous nommons le « système alpage-exploitations », et qui vise à renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages. Nous nous appuyons sur une revue bibliographique pour définir les contours du système à modéliser. A l'issue de cette première partie, nous formulons notre thèse : nous pensons qu'analyser l'adaptation au changement climatique d'un alpage doit se faire en considérant d'une part le caractère dynamique de la gestion et des milieux, et d'autre part les interactions entre l'alpage et les exploitations qui l'utilisent. Nous proposons de construire notre modèle conceptuel en ce sens.

## Introduction

Dans une seconde partie, nous présentons le travail de modélisation à proprement parler : dans le chapitre 3 nous présentons la façon dont nous avons articulé ce travail avec le dispositif Alpages Sentinelles, en mobilisant les acteurs impliqués dans ce dispositif et en mobilisant les suivis effectués sur un échantillon diversifié de systèmes. Puis nous présentons le modèle dans le chapitre 4 en argumentant les choix retenus.

Dans une troisième partie consacrée à l'évaluation du modèle, nous mettons à l'épreuve le modèle et le mobilisons pour analyser la vulnérabilité à la recrudescence des aléas climatiques des cas suivis dans le dispositif Alpages Sentinelles (chapitre 5 : exposition aux aléas climatiques, et chapitre 6 : sensibilité et capacités d'adaptation aux aléas climatiques), puis pour construire une grille d'analyse de la résilience au changement climatique (chapitre 7).

Enfin dans une quatrième et dernière partie nous discutons des avancées apportées par ce travail et des perspectives, à la fois sur un plan scientifique et sur un plan opérationnel (chapitre 8).

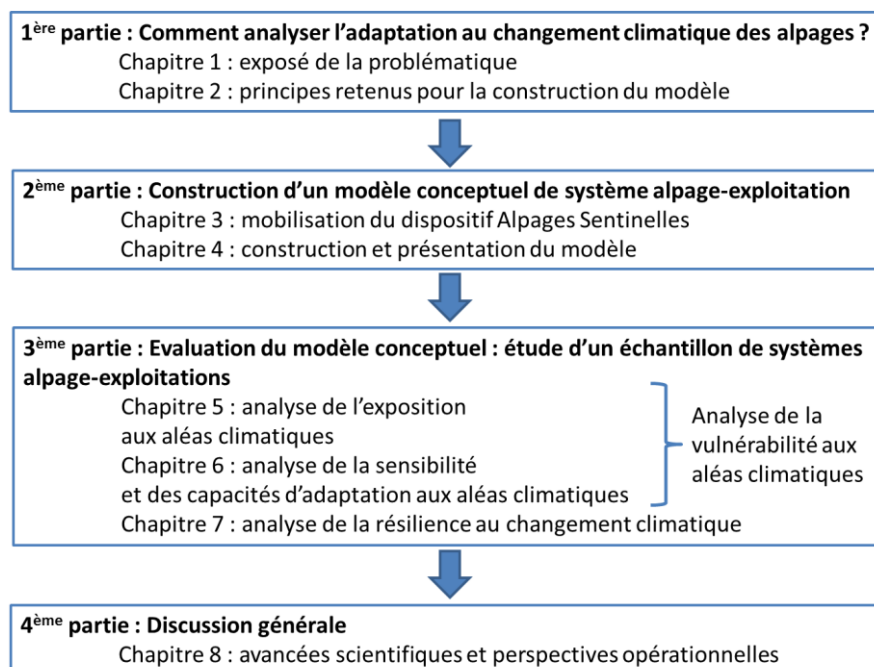


Figure 1 : Plan du manuscrit de thèse





# Première partie : Comment analyser l'adaptation au changement climatique des alpages ?

---



Bill Waterson, *Calvin & Hobbes, It's a Magical World*, 1996



# **1 Problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages**



## 1.1 Les alpages : des espaces agricoles pas comme les autres

Les alpages (également appelés estives, hautes chaumes... ou en anglais *summer mountain pastures*, *alpine pastures*, *highland pastures*, *summer range*...) sont des espaces utilisés par une grande diversité d'exploitations d'élevage d'herbivores, qui vont y chercher une ressource fourragère exclusivement estivale (3 à 5 mois en général) et utilisent le décalage altitudinal pour disposer dans l'été d'une végétation en pleine croissance. Les alpages permettent ainsi de diminuer la pression sur les ressources de l'exploitation, et de libérer la main-d'œuvre pour les travaux estivaux. Les alpages sont aussi caractérisés par un certain éloignement géographique qui rend impossible, à quelques exceptions près, le retour quotidien des animaux sur l'exploitation (Flamant et al. 1999). Cet éloignement est très variable d'une situation à l'autre, de quelques centaines de mètres à plusieurs centaines de kilomètres. Les alpages sont utilisés par les exploitations agricoles situées en montagne, mais aussi par les exploitations agricoles des plaines environnant les principaux massifs montagneux, pour le pâturage de tout ou partie de leurs troupeaux. Pour les Alpes françaises, environ 3000 alpages ont été recensés ; ils sont utilisés par environ  $\frac{1}{4}$  des bovins et  $\frac{3}{4}$  des ovins du massif et de Provence (région Provence-Alpes Côte d'Azur) (Dobremez et Borg, 2015; Enquête pastorale 2012-2014 Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur).

On trouve des alpages dans toutes les régions montagneuses européennes, au travers d'une grande diversité d'espaces : diversité en termes de taille et de configuration, d'altitude et d'étagement altitudinal, principalement aux étages subalpin et alpin. Ils recouvrent également une diversité de fonctionnement. Toutes les espèces herbivores sont représentées, mais la grande majorité des effectifs en alpage est constituée d'ovins et de bovins, allaitants ou laitiers. Les alpages sont souvent utilisés de manière collective par plusieurs éleveurs ; la gestion de l'alpage est selon les cas confiée à l'un des éleveurs ou à un ou plusieurs bergers salariés (Guéringer et al. 2009), avec un gardiennage qui peut être permanent ou temporaire. De par les conditions climatiques et topographiques, la gestion des milieux ne s'y fait pratiquement qu'à travers la conduite du troupeau au pâturage.

Les alpages sont le plus souvent de statut foncier public (propriétés communales, domaniales, départementales...) et sont une des dernières réminiscences des « Biens Communs » (Hardin 1968, Ostrom 2010) dans les systèmes agricoles européens. Comme toutes les ressources communes, les ressources pastorales sont des ressources « de faible exclusivité mais de rivalité élevée » (Ostrom 2010), c'est-à-dire concrètement qu'il est difficile d'exclure un bénéficiaire potentiel de l'accès à la ressource (plus difficile que dans le cas d'une propriété privée, mais pas impossible), et qu'il y a une concurrence sur l'utilisation de la ressource (la ressource est limitée ; ce qui est consommé par un bénéficiaire n'est plus disponible pour un autre bénéficiaire)<sup>1</sup>. La gestion de ces communs est de ce fait très spécifique, avec un certain nombre de règles visant à assurer leur préservation sur le long-terme. Ces règles sont très variables d'une région à l'autre, voire d'un alpage à l'autre ; elles ont trait aux dates d'utilisation des alpages, aux effectifs estivés, aux exploitations prioritaires pour l'accès aux ressources... voir par exemple Eychenne (2006) pour le cas des estives ariégeoises. Depuis 1972, en France, la Loi Pastorale encadre au niveau national les règles de gestion des alpages. Cette loi oblige à la signature de « conventions pluriannuelles de pâturage », d'une durée limitée (autour de 5 ans en

---

<sup>1</sup> Les biens communs (*commons*, *common pool resources*) se distinguent ainsi des biens collectifs (*publics goods*), dont l'exemple typique est l'éclairage public, caractérisés par une faible exclusivité (disponible pour tous) et une faible rivalité (l'utilisation de la ressource par un bénéficiaire n'empêche pas un autre bénéficiaire d'en profiter) (Eychenne et Lazaro 2014).

général) ; elle entérine ainsi le fait que les alpages ne sont pas des espaces agricoles comme les autres, soumis aux baux ruraux. (Charbonnier 2012)<sup>2</sup>.

Les alpages sont aussi parmi les milieux les plus riches d'Europe en nombre d'espèces ; ils abritent une biodiversité patrimoniale exceptionnelle. De ce fait les alpages sont souvent situés dans des espaces protégés sous différents statuts (Parcs nationaux, Parc naturels régionaux, Réserves Naturelles, Zones Natura 2000...). Si la préservation des milieux en tant que ressource a depuis longtemps été une préoccupation pour les éleveurs comme pour les administrations (Eychenne 2006), la gestion pastorale doit à présent intégrer aussi la préservation de la biodiversité, et ce plus qu'ailleurs de par le statut de communs et la richesse écologique des alpages. Cette préoccupation se traduit par de nouvelles règles dans les usages (plans de gestion associés aux mesures agri-environnementales, conventions pluriannuelles de pâturage avec des exigences spécifiques sur la préservation des milieux...). Elle s'accorde souvent bien avec la gestion pastorale, par exemple lorsqu'il s'agit de maintenir l'ouverture des milieux ; dans d'autres situations les objectifs environnementaux et pastoraux sont plus difficilement compatibles (retard de pâturage par exemple) ; elles peuvent aller jusqu'à provoquer des tensions majeures dans le cas du loup, vu par les uns comme un nuisible et par les autres comme un élément majeur de la biodiversité (Garde et al. 2014b).

Enfin les alpages, en plus d'être des ressources pastorales communes, sont aussi de plus en plus considérées comme des biens « collectifs »<sup>3</sup>, c'est-à-dire des biens partagées par tous (Eychenne et Lazaro 2014) : la biodiversité importante sur ces estives, les paysages culturels de grande valeur qui y sont associés (Soane et al. 2012) en font des espaces utilisés par d'autres acteurs que les éleveurs et les bergers. Cela vient s'ajouter à d'autres usages qui pouvaient préexister, comme l'exploitation forestière (Morgan-Davies et al. 2008) ou la chasse. Tous ces autres acteurs vont chercher d'autres ressources que les ressources pastorales (Quétier et al. 2009), néanmoins la gestion pastorale est impactée par ce statut « collectif » relativement nouveau des estives ; elle doit intégrer les autres enjeux et usages (fréquentation touristique et activités cynégétiques en particulier).

Aujourd'hui, une gestion durable des alpages doit donc à la fois (1) permettre une alimentation des troupeaux estivés conforme aux objectifs attendus par les agriculteurs, et participer ainsi à la pérennité des exploitations utilisatrices ; (2) assurer le renouvellement de la ressource année après année (Duru et Hubert 2003) ; (3) préserver sur le long-terme la biodiversité et les paysages inhérents à ces espaces, ainsi que l'accès pour les autres usagers. Le changement climatique, qui concerne l'ensemble des activités agricoles, touche également aujourd'hui les alpages. De par les nombreuses particularités des alpages, l'adaptation au changement climatique s'y pose en des termes bien particuliers. Peu de travaux sur l'adaptation au changement climatique ont concerné spécifiquement les alpages. Nous allons donc nous appuyer sur des travaux plus génériques et expliquer les problèmes posés pour l'élevage et les modes d'adaptation des systèmes d'élevage,

---

<sup>2</sup> La Loi Pastorale institue aussi les « Associations Foncières Pastorales », structure juridique qui facilite le regroupement des terrains publics et privés et leur supervision par les communes, et les Groupements Pastoraux, collectif d'éleveurs agréés aptes à signer les conventions de pâturage

<sup>3</sup> Une distinction est à faire ici entre anglais et français. Les biens collectifs correspondent aux *public goods* anglo-saxons, alors que les biens publics en France renvoient à des biens produits et/ou fournis par la puissance publique (Eychenne et Lazaro 2014).

pour parvenir in fine à mettre en lumière les particularités sur les alpages, qui nous ont conduits à mener ce travail de thèse.

## 1.2 Le changement climatique : une réalité sur l'ensemble du globe, avec des spécificités en montagne

### 1.2.1 Des changements déjà marqués à l'échelle planétaire

Le réchauffement climatique à l'échelle mondiale est aujourd'hui un fait scientifique avéré, et l'origine anthropique de ce réchauffement fait largement consensus dans la communauté scientifique (Oreskes 2004, Cook et al. 2013). La tendance linéaire de la moyenne globale des données de température de surface combinant les terres émergées et les océans indique un réchauffement de 0,78°C [0,72 à 0,85]<sup>4</sup> entre la période 1850–1900 et la période 2003–2012 (IPCC 2013). Ce réchauffement n'est pas régulier dans le temps, et n'est pas homogène à la surface du Globe (Figure 2).

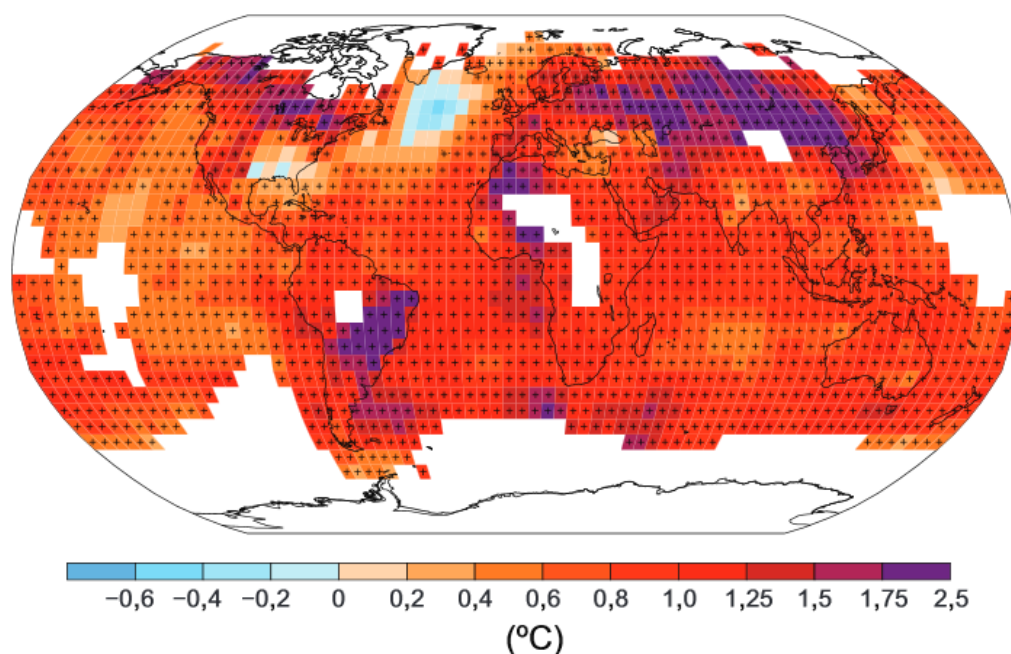


Figure 2 : Evolution de la température en surface observée entre 1901 et 2012 (IPCC 2013)

Carte de l'évolution des températures en surface observée entre 1901 et 2012. Les tendances ont été calculées uniquement pour les régions où la disponibilité des données permet une estimation robuste. Les autres régions sont en blanc. Les mailles pour lesquelles la tendance est significative au niveau de 10 % sont indiquées par le signe +.

<sup>4</sup> Dans la contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, l'incertitude est quantifiée en utilisant des intervalles d'incertitude à 90 %. La probabilité est de 90 % que la valeur réelle soit comprise dans l'intervalle indiqué. Les intervalles d'incertitude ne sont pas nécessairement symétriques de part et d'autre de l'estimation correspondante la plus probable. Une estimation la plus probable de cette valeur est également donnée, lorsque celle-ci est disponible.



Le réchauffement climatique touche pratiquement l'ensemble des terres émergées de la planète. Il s'accompagne d'autres changements du climat qui sont plus difficiles à établir clairement et qui sont très variables en nature et en intensité d'un point à l'autre du globe. Ainsi par exemple, les experts du GIEC s'accordent sur le fait que le niveau moyen des précipitations a augmenté depuis 1901 sur les régions continentales des moyennes latitudes de l'hémisphère Nord, avec un signal très clair depuis 1951. Ailleurs il est difficile d'établir des tendances claires.

La dynamique du changement climatique est amenée à se poursuivre dans le futur (Figure 3). Son ampleur et ses caractéristiques seront différentes selon le niveau des émissions de gaz à effets de serre des prochaines décennies. Le GIEC propose différents scénarios de réchauffement climatique, correspondant à différents niveaux d'émissions de gaz à effets de serre : scénarios A1, A2, B1, B2 du rapport de 2007, et une série de scénarios « RCP » (« profils représentatifs d'évolution de concentration ») du rapport de 2014 (IPCC 2007, 2014a). A l'horizon 2035, les scénarios diffèrent peu ; les experts du GIEC attendent un réchauffement atmosphérique à l'échelle du globe compris entre 0,3 °C et 0,7 °C pour la période 2016–2035 relativement à la période 1986–2005. A plus longue échéance les différents scénarios diffèrent fortement, avec des réchauffements compris entre 0,3 °C et 1,7 °C pour le scénario le plus optimiste (RCP 2.6), et entre 2,6 °C et 4,8 °C pour le scénario le plus pessimiste (RCP8,5), entre les périodes 1986-2005 et 2081-2100 (IPCC 2014a) (Figure 3).

Pour les précipitations, la confiance dans les scénarios est moindre que pour les températures, d'autant plus que les différences locales vont être très fortes. Dans certaines régions des moyennes latitudes et dans les régions subtropicales arides, les précipitations diminueront probablement, tandis que dans de nombreuses régions humides des moyennes latitudes, les précipitations moyennes augmenteront probablement d'ici la fin de ce siècle, au moins dans le cas du RCP 8,5. Dans ces évolutions, il y aura probablement aussi des différences marquées selon les saisons.

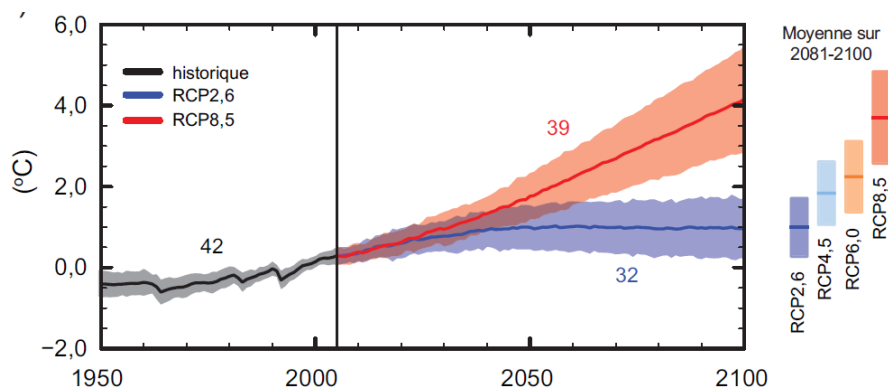


Figure 3 : Séries chronologiques simulées à partir de plusieurs modèles de 1950 à 2100 pour : a) l'évolution de la température annuelle moyenne du globe en surface par rapport à la période 1986-2005 (IPCC 2013)

### 1.2.2 Conséquences du réchauffement climatique en montagne et dans les Alpes

En montagne, comme ailleurs, il est possible de constater les premiers effets du changement climatique. L'étude statistique de séries climatiques ou de données indirectes montre que les Alpes européennes ont déjà enregistré une hausse d'environ 2° C entre la fin du 19<sup>e</sup> et le début du 21<sup>e</sup> siècle, soit deux fois le taux de réchauffement mesuré à l'échelle nord-hémisphérique (Auer et al.

2007) – il faut toutefois nuancer ce constat, sachant que le réchauffement est partout plus important sur les terres émergées qu'à la surface des océans.

Ce réchauffement, que l'on constate à toutes les altitudes (Durand et al. 2009b), n'a pas été régulier. On peut noter une rupture à la fin des années 80 (Bigot et Rome 2010), que l'on identifie assez bien sur les relevés des stations météorologiques. A titre d'exemple, la Figure 4 représente les moyennes annuelles et estivales des températures relevées sur deux stations météorologiques de moyenne montagne qui sont souvent utilisées comme référence pour décrire le climat à l'échelle des Alpes françaises : Bourg St Maurice dans les Alpes du Nord (département 73, altitude : 965m d'altitude) et Embrun dans les Alpes du Sud (département 05, 871 m d'altitude). La moyenne glissante des températures sur la période 1960-2015 montre bien dans les deux cas un réchauffement marqué, très prononcé à partir des années 80-90. Ce réchauffement est plus marqué en été. Des analyses dendrochronologiques ont montré que cette hausse des températures estivales est sans commune mesure avec les variations de températures survenues au cours du dernier millénaire dans les Alpes (Corona et al. 2010).

A l'échelle des Alpes Françaises, Durand et al. (2009) estiment, à partir de 21 stations météorologiques réparties sur l'ensemble du massif, une élévation des températures d'environ 0,026 °C/an sur la période 1958- 2002. Mais ce réchauffement moyen cache des disparités ; Bigot et Rome (2010) constatent un réchauffement moyen bien plus atténué (0,014°C par an) sur les stations du Vercors et de Chartreuse. Sur la Figure 4, on voit que le réchauffement moyen est plus prononcé à Bourg St Maurice qu'à Embrun

Au-delà du phénomène de réchauffement moyen, qui va jouer en alpage sur la phénologie des plantes et sur l'évapotranspiration, des évolutions marquantes d'autres paramètres climatiques sont importantes à considérer en montagne. On retiendra surtout deux paramètres qui auront un impact pour les activités d'élevage :

- Une baisse du nombre de jours de gel de 12 à 14 % (ONERC 2008) qui semble surtout s'expliquer par une hausse forte des températures minimales dès la fin des années 80, quand les températures maximales ne s'élèvent fortement qu'à partir de la fin des années 90 (Bigot et Rome 2010). Il en résulte des hivers moins rigoureux, qui démarrent plus tard et se terminent plus tôt, mais là aussi avec des différences au sein du massif alpin et selon l'altitude.
- Une baisse de la durée de l'enneigement en moyenne montagne qui est une conséquence immédiate du réchauffement des températures (les précipitations tombent davantage sous forme liquide). La durée moyenne de l'enneigement s'est par exemple réduite de plus d'un mois en moyenne montagne depuis la décennie 1970 et la hauteur moyenne de neige a diminué d'environ 40 cm dans les Alpes du Nord (ONERC 2008), alors qu'à haute altitude (>2 500 m), l'impact sur la couverture neigeuse est négligeable et c'est surtout le niveau des précipitations qui va jouer sur l'évolution du manteau neigeux (Durand et al. 2009a). Les alpages les plus bas en altitude seront donc particulièrement concernés. Paradoxalement, il est possible que le risque de gelée sur les végétations augmente avec le réchauffement climatique, à cause de la disparition précoce du manteau neigeux protecteur (un peu comme le risque de gelées sur les arbres fruitiers augmente avec le débourrage plus précoce des arbres : Seguin 2010).

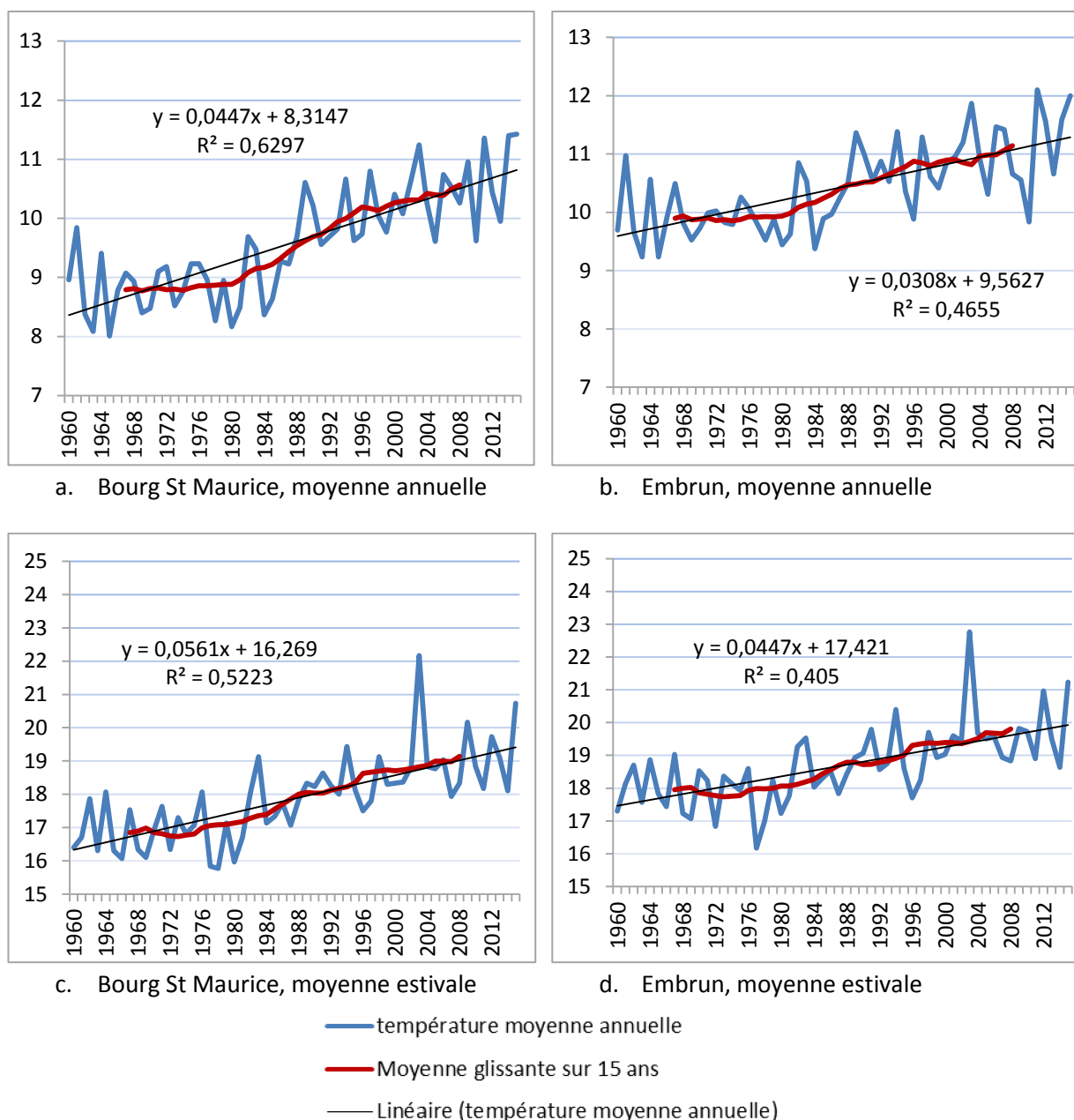


Figure 4 : Températures moyennes annuelles et estivales (juin-juillet, août) en °C relevées sur les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m), de 1960 à 2015, et températures moyennes glissantes sur 15 ans.

La valeur de la moyenne glissante est positionnée au milieu de l'intervalle. Par exemple la valeur pour la moyenne glissante sur la période 2000-2015 est renseignée pour l'année 2008.

La régression linéaire (courbe noire et équation) renseigne sur l'évolution moyenne des paramètres sur la période. Le  $r^2$  nous donne une indication du niveau de variabilité interannuelle du paramètre.

On n'observe pas de signal de changement du niveau des précipitations, dont le régime (intensité répartition dans l'année) est caractérisé par une grande variabilité interannuelle. Une augmentation de l'intensité des sécheresses est observée, en particulier sur le Sud du massif (Figure 8). Cela se traduit par une extension du climat méditerranéen vers le nord du massif (Lelièvre et al. 2009).

Dans le massif alpin, et en montagne en général, la variabilité du climat est forte dans l'espace (effets du relief). A cause de cela, et de la faible densité de stations météorologiques au sein du massif, il

demeure beaucoup d'incertitudes au niveau local (Beniston 2006). Avec le changement climatique, on peut s'attendre à une accentuation des spécificités locales du climat en montagne (Bigot et Rome 2010). Depuis quelques années, les tentatives de modélisation numérique du climat se multiplient à l'échelle régionale, notamment en zone de montagne (Terray et Braconnot 2007). Bigot et Rome (2010) proposent une synthèse des sorties de différentes simulations climatiques de ces modèles sur les Alpes. Il en ressort une poursuite des dynamiques déjà observées : une poursuite du réchauffement, plus fort que le réchauffement moyen du continent, plus marqué en été, et plus marqué en moyenne montagne ; baisse de la durée d'enneigement (d'ici à 2100, disparition de la neige en deçà de 500m, baisse de 30% en deçà de 1500m). Des évolutions dans le régime des précipitations sont attendues : plus de précipitations en hiver et au printemps, et moins en été. Ces changements conduiraient à des changements importants des bilans hydriques régionaux aux phases hivernale et estivale (écoulement de surface, infiltration, évapotranspiration...) et donc à des conséquences importantes pour l'agriculture (sécheresses édaphiques, problèmes de rechargement des nappes phréatiques...), mais qu'il reste extrêmement difficile de quantifier, surtout à l'échelle locale.

### 1.2.3 Evolution de la variabilité climatique

Au-delà de ces tendances moyennes de long terme, les experts du GIEC prévoient aussi une augmentation de la variabilité climatique interannuelle (IPCC 2013), et une augmentation en fréquence et en intensité des événements extrêmes (chaleurs extrêmes, sécheresses, pluies intenses, vents extrêmes) (Schär et al. 2004, IPCC 2012).

Les systèmes humains, quels qu'ils soient, tout comme les systèmes dits naturels, sont adaptés pour faire avec une certaine gamme de variabilité du climat (« coping range », Figure 5), (De Vries 1985, Smit et al. 1999, Smit et Pilifosova 2001). Les événements météorologiques qui dépassent cette gamme seront considérés comme des événements extrêmes. Avec le changement climatique, on a une évolution dans la gamme de variabilité du climat, ce qui explique que certains événements extrêmes (dépassant la gamme de variabilité auquel le système est adapté) deviennent plus fréquents, et que les événements les plus extrêmes soient plus extrêmes que les précédents (Smit et al. 1999, Smit et Pilifosova 2001) (Figure 5).

Dans le détail, la variabilité climatique ne va pas forcément évoluer de la même manière pour tous les paramètres climatiques (Figure 6). Il peut y avoir un simple décalage dans la valeur moyenne du paramètre, mais avec une variabilité interannuelle qui reste stable (Figure 6a). Ce phénomène seul permettrait d'expliquer par exemple que l'on observe de plus en plus fréquemment des canicules, et que l'on batte régulièrement des records de température. Mais on peut aussi avoir une augmentation de la variabilité climatique sans que la valeur moyenne du paramètre n'évolue (Figure 6b) ; on peut enfin avoir une combinaison des deux effets (Figure 6c). Dans tous les cas, on aura une augmentation en fréquence des événements considérés comme extrêmes, et une augmentation de l'intensité des événements records (Smit et al. 1999, Smit et Pilifosova 2001), et une perception des aléas qui sera assez similaire.

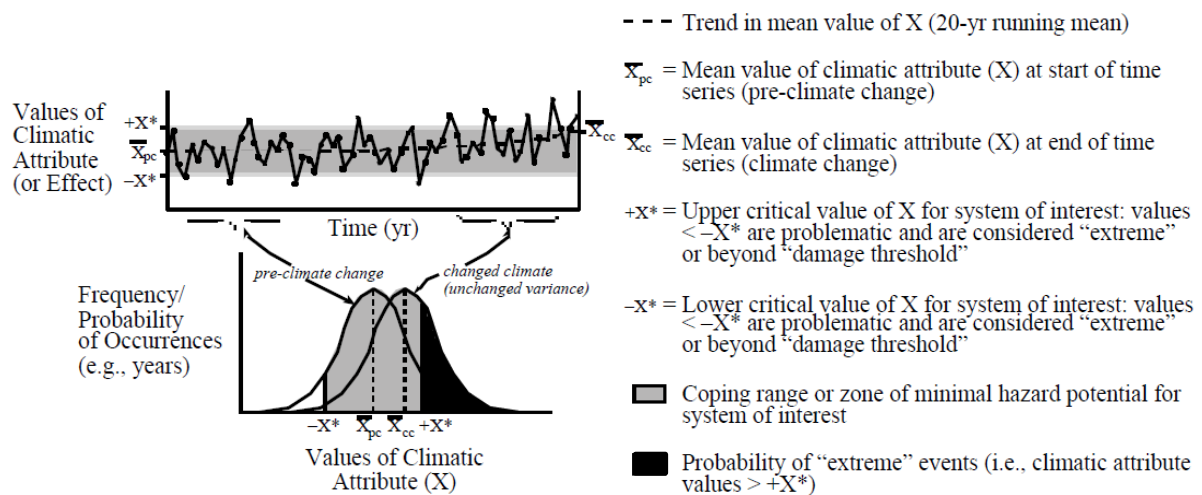


Figure 5 : Changement climatique, variabilité, extrêmes et domaine d'adaptation (coping range) (Smit et al. 1999, Smit et Pilifosova 2001)

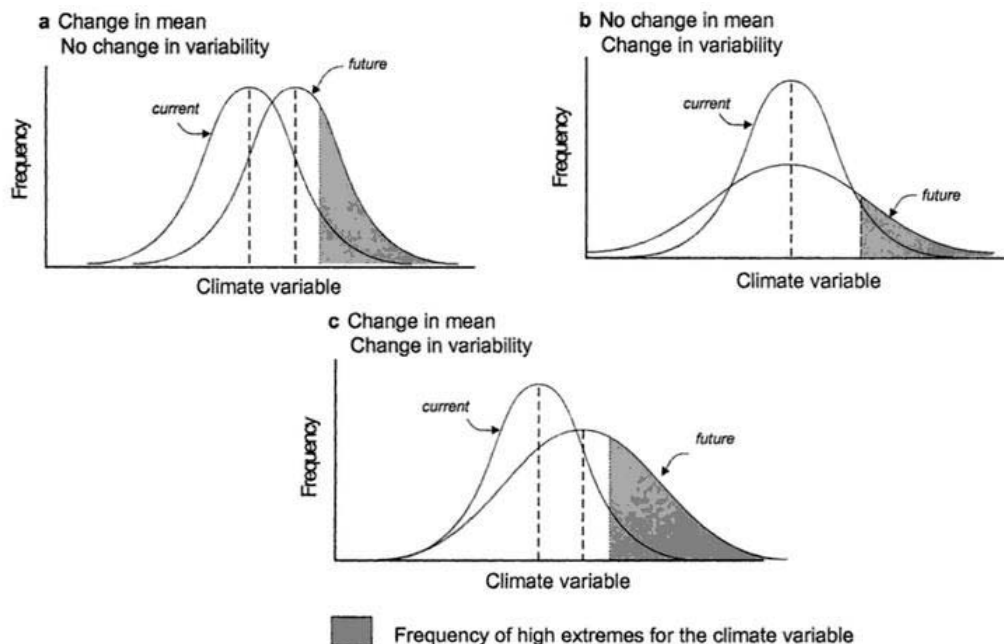


Figure 6 : Changements dans le climat moyen et la variabilité climatique (Smit et al. 2000, Smit et Pilifosova 2003)

Dans les faits il est très difficile de prédire comment la variabilité climatique d'un paramètre donné va ou est déjà en train d'évoluer, (1) parce qu'il n'y a pas un recul historique suffisant sur les données actuelles pour pouvoir conclure sur des évolutions de long-terme de la variabilité (on peut observer sur les temps long des cycles avec des successions d'années avec beaucoup de variabilité et des années avec peu de variabilité (Dieppoiss et al. 2016) ; il est donc nécessaire de disposer d'un grand recul temporel pour conclure à des changements structurels de long-terme dans la variabilité du climat), (2) parce que jusqu'à une époque récente les modèles climatiques ont surtout été conçus pour projeter des climats moyens et ont peu cherché à modéliser la variabilité, (3) parce que certains aléas climatiques, comme les sécheresses agronomiques (Itier et Seguin 2007), sont la résultante de plusieurs paramètres climatiques en interaction et de paramètres physiques locaux (caractéristiques du sol) qui rendent les projections difficiles.

#### 1.2.4 Evolution de la variabilité climatique dans les Alpes Françaises

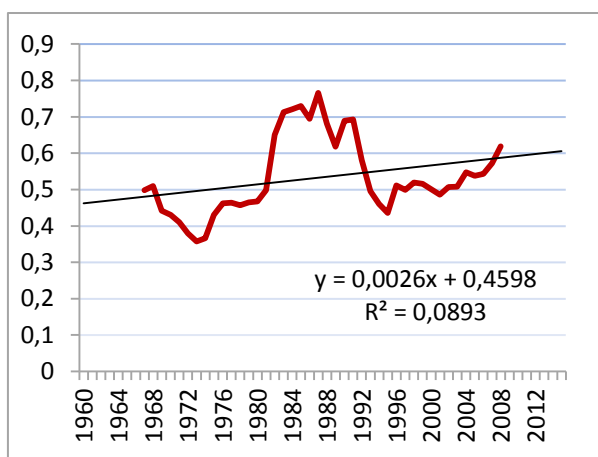
Quelques travaux pointent tout de même déjà une augmentation de certains aléas, telles les vagues de chaleur, qui vont être amenées à augmenter encore en fréquence et en intensité au cours du vingt-et-unième siècle en Europe (Schär et al. 2004, Wreford et Adger 2010), ou les épisodes de sécheresses. Dans les Alpes, des épisodes comme la sécheresse estivale de 2003 sont amenés à devenir de plus en plus fréquents, jusqu'à devenir la norme d'ici la fin du siècle (Calanca 2007).

Si l'on compare la variabilité, pour les stations de Bourg Saint Maurice et d'Embrun, des températures moyennes annuelles ou estivales, estimée au travers de l'évolution de l'écart-type calculé sur des pas de temps glissants de 15 ans (Figure 7), on constate certes une tendance à l'augmentation de la variabilité sur la période 1960-2015 (régressions linéaires), mais cette hausse de la variabilité est bien inférieure dans son ampleur à l'amplitude des variations de cette variabilité. On voit très nettement que peuvent se succéder des périodes avec une forte variabilité interannuelle et des périodes où la variabilité interannuelle est plus faible. S'il est clair que les températures ont augmenté en moyenne depuis les années 60, il est plus difficile de conclure avec certitude à une augmentation de la variabilité des températures, du moins pour l'instant. Visuellement si l'on regarde les températures estivales de Bourg St Maurice et d'Embrun (Figure 4), il semblerait qu'on ait eu principalement un décalage des variables sans augmentation de la variabilité (Figure 6, cas a), et peut-être en plus, sur la fin de la période une augmentation de la variabilité (Figure 6, cas c), surtout marquée en été, mais qui tient beaucoup à l'événement unique de 2003.

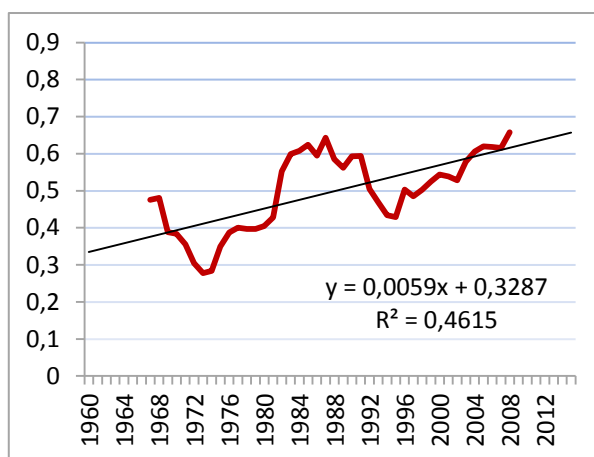
Les sécheresses sont des aléas marquants qui sont plus parlants pour les activités agricoles que les températures moyennes. Les déficits hydriques (Evapotranspiration Potentielle – Précipitations) cumulés sur une période sont un bon indicateur de l'intensité des sécheresses. Sur la période de végétation (mars-septembre) les bilans hydriques des stations Météo-France de Bourg Saint Maurice et Embrun montrent toutes les deux une série d'épisodes d'une intensité exceptionnelle au cours des années 2000 (Figure 8). L'intensité moyenne des sécheresses a augmenté à Embrun. A Bourg St Maurice c'est moins net ; les dernières années ont connu des déficits moindres. Si des records ont été battus dans les deux stations, il reste difficile là aussi de valider une augmentation structurelle de la variabilité interannuelle des déficits hydriques.

Visuellement l'évolution de la variabilité climatique semble adopter une dynamique différente dans les deux stations : à Bourg st Maurice il semblerait que la variabilité ait augmenté pratiquement sans augmentation de la valeur moyenne des sécheresses (cf. Figure 6, cas b) et qu'à Embrun on ait plutôt un niveau de variabilité assez stable, mais avec un décalage dans le niveau des déficits (cf. Figure 6, cas c).

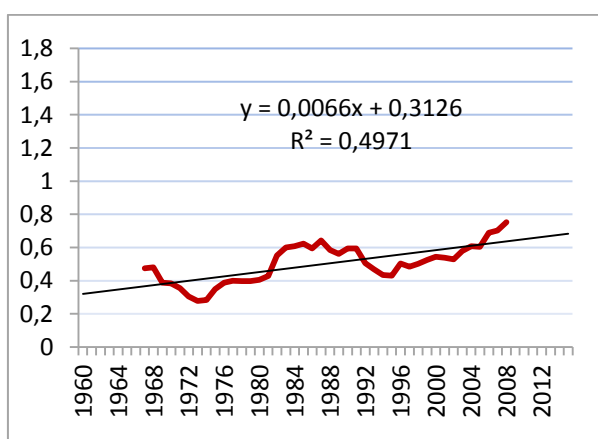
S'il n'est pas sûr statistiquement que la variabilité climatique se soit accrue, pour les éleveurs du massif alpin la recrudescence des sécheresses (entendue comme une hausse en fréquence et en intensité des épisodes) est la façon dont le changement climatique est perçu. Plus précisément, bien que les relevés météorologiques montrent partout une augmentation des températures et des déficits hydriques exceptionnels, la réalité du changement climatique est beaucoup plus perçue dans les vallées aux climats les plus secs (Sérès 2010a). On peut penser qu'il y a des phénomènes d'effets de seuils qui comptent dans la perception des aléas et du changement climatique.



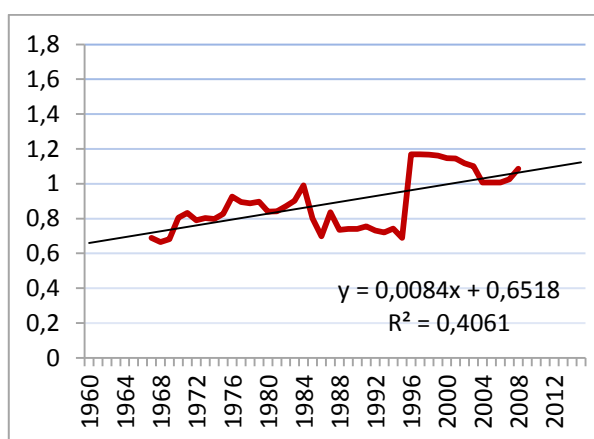
a. moyenne annuelle, Bourg St Maurice



b. moyenne annuelle, Embrun



c. moyenne estivale, Bourg St Maurice



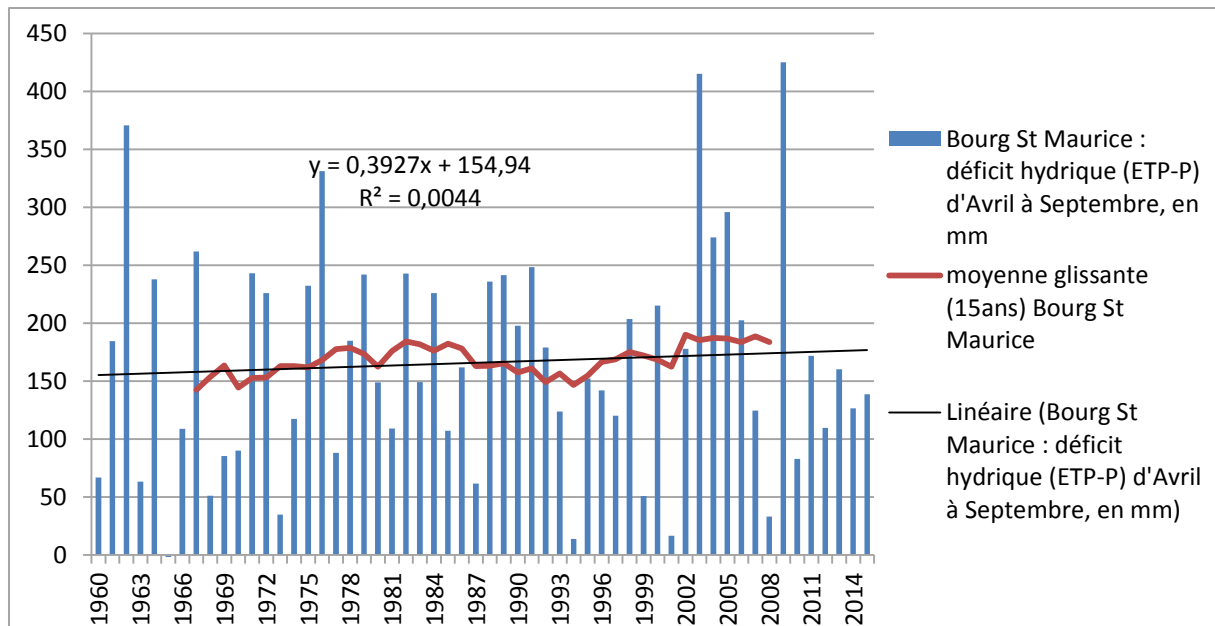
d. moyenne estivale, Embrun

— Ecart-type glissant sur 15 ans  
 — Linéaire (Ecart-type glissant sur 15 ans)

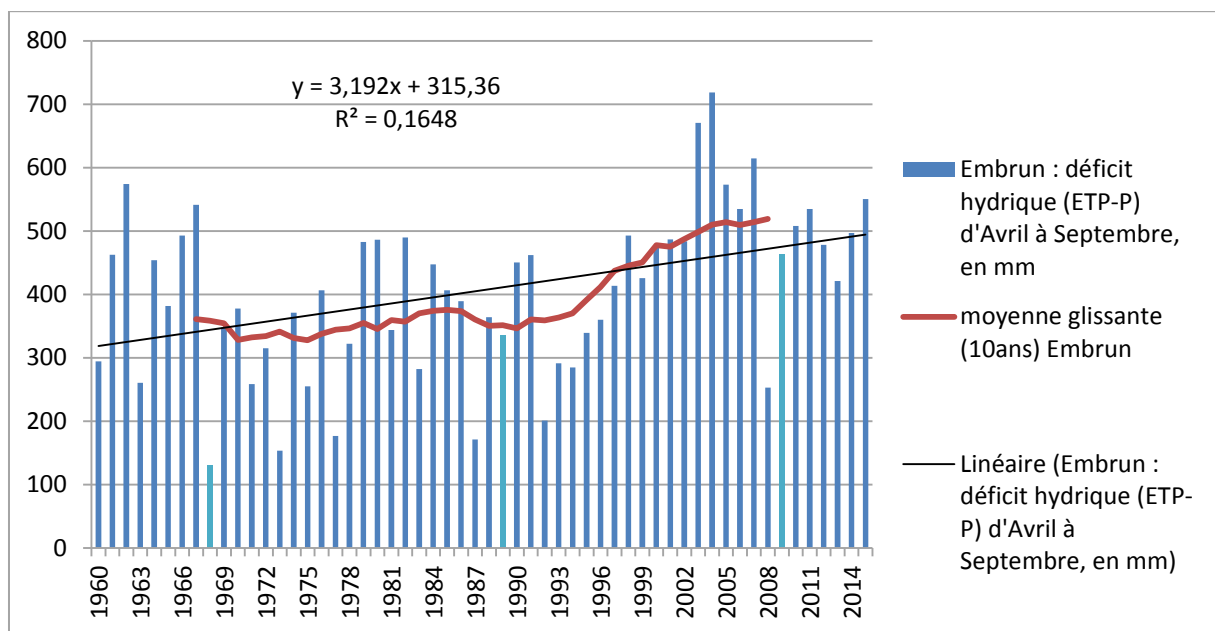
Figure 7 : Evolution des écarts-type glissants sur 15 ans de la température moyenne annuelle et estivale (juin, juillet, août) en °C relevée pour les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m).

La valeur de la moyenne glissante est positionnée au milieu de l'intervalle. Par exemple la valeur pour la moyenne glissante sur la période 2001-2015 est renseignée pour l'année 2008.

La régression linéaire (courbe noire et équation) renseigne sur l'évolution moyenne des paramètres sur la période. Le  $r^2$  nous donne une indication du niveau de variabilité interannuelle du paramètre.



a. Bourg St Maurice



b. Embrun

Figure 8 : Déficit hydriques (évapotranspiration potentielle – précipitations) durant la période de végétation (mars-septembre) pour les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m)

En bleu clair : relevés incomplets sur l'année ; la valeur réelle est supérieure à la valeur mesurée.

La valeur de la moyenne glissante est positionnée au milieu de l'intervalle. Par exemple la valeur pour la moyenne glissante sur la période 2001-2015 est renseignée pour l'année 2008.

La régression linéaire (courbe noire et équation) renseigne sur l'évolution moyenne des paramètres sur la période. Le  $r^2$  nous donne une indication du niveau de variabilité interannuelle du paramètre.



## 1.3 L'adaptation au changement climatique pour les activités d'élevage

### 1.3.1 Concept d'adaptation

Mis à part les travaux en climatologie, les travaux scientifiques liés à la problématique du changement climatique peuvent être scindés en deux grandes catégories : les travaux sur l'atténuation du changement climatique, ou « mitigation », qui cherchent à réduire les émissions de gaz à effets de serre dans l'atmosphère (IPCC 2014b), et les travaux sur les impacts du changement climatique et l'adaptation au changement climatique (on parle parfois d'atténuation des impacts) (IPCC 2014c). Dans ce travail de thèse, nous ne nous intéressons qu'aux problématiques d'impact et d'adaptation. Pour le GIEC (IPCC 2001), l'adaptation aux changements climatiques indique « l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques ». D'autres définitions que l'on peut trouver dans la littérature de la notion d'adaptation et répertoriées par Smit et Wandel (2006), évoquent également toutes la notion « d'ajustement ». L'adaptation renvoie donc à un phénomène dynamique : il s'agit de modifier un système pour qu'il reste adapté à un environnement qui évolue ou qui est susceptible d'évoluer.

Travailler sur l'adaptation nécessite de s'intéresser aux impacts du changement climatique sur les activités ou les communautés. Or tout comme le changement climatique n'est pas un phénomène uniforme dans l'espace, les impacts ne seront pas non plus les mêmes selon les activités. Par exemple en termes de santé publique les épisodes de canicule seront une préoccupation majeure ; dans le secteur touristique, ce sera notamment l'enneigement hivernal ; dans le domaine de la gestion des risques naturels les dynamiques des précipitations, les tempêtes... Dans le secteur agricole les sécheresses seront souvent considérées comme la principale menace, mais de nombreux autres paramètres qui évoluent avec le changement climatique vont avoir des conséquences sur les productions agricoles.

Nous allons à présent nous intéresser plus précisément à l'adaptation au changement climatique des activités d'élevage herbivore. Sur ce sujet, on peut distinguer deux types de travaux aux approches différentes : les travaux qui s'intéressent à l'adaptation à la tendance moyenne du changement climatique, en considérant des situations moyennes futures par rapport à une situation actuelle (que nous évoquons dans la section 1.3.2), et les travaux qui s'intéressent à la gestion des impacts de la variabilité climatique (que nous évoquons dans les sections 1.3.3 et 1.3.4).

### 1.3.2 Impact, opportunités et menaces de la tendance moyenne du changement climatique pour l'élevage

Différents travaux ont essayé de déterminer les impacts du changement climatique sur les productions agricoles, à des échelles très globales, comme à des niveaux territoriaux assez fins. Sur le territoire métropolitain, en couplant les évolutions attendues du climat à une échelle spatiale assez fine (Modèle Arpège-Climat de Météo France<sup>5</sup>) avec des modèles de développement des plantes fourragères, on est alors en mesure de décrire les principaux changements, et de les traduire en

---

<sup>5</sup> Le modèle Arpège Climat a été développé dans les années 90 (Déqué et al. 1994). C'est un modèle climatique dérivé du modèle météorologique Arpège. Il modélise le climat en découpant l'atmosphère de la terre en un ensemble de mailles, avec une finesse différenciée selon les zones, permettant une analyse fine, sur une zone choisie préalablement, et de modéliser ainsi le climat sur des mailles d'environ 50 kilomètres de côté, soit 235 mailles pour le territoire métropolitain (Corse exclue).

termes de menaces concrètes, mais aussi en termes d'opportunités pour les différentes productions fourragères, pour différentes régions et à différents pas de temps (Poisson 2009, Ruget et al. 2010).

Deux modèles de développement ont été mobilisés (modèles STICS (Brisson et al. 1998) et PASIM (Graux 2011)) pour simuler les évolutions de la production fourragère à partir de scénarios du rapport du GIEC de 2007 (Ruget et al. 2013). Globalement, dans tous les scénarios, pour toutes les échéances et sur tout le territoire, la principale opportunité pour la production fourragère provient d'un raccourcissement de la période sans pousse de l'herbe en hiver, et la principale menace d'un rallongement de la période de sécheresse estivale.

Dans un futur proche (2020-2046) les scénarios diffèrent peu. Pour la prairie, à l'échelle de l'année on a dans toutes les situations une augmentation de la production fourragère par rapport au climat actuel (Figure 9-a). Pour le maïs fourrage, les rendements sont en hausse aussi (modélisation STICS) même en conditions non irriguées, grâce à une avancée possible des dates de semis (Ruget et al. 2012a). Le changement climatique peut globalement être bénéfique pour l'élevage, si les éleveurs parviennent à adapter leurs pratiques (changement des dates de mise à l'herbe, de semis, de récolte... pour suivre l'évolution du climat, de la phénologie des plantes et de la portance des sols) (Ruget et al. 2012b).

Dans le futur lointain (scénario A2, 2070-2098), les simulations réalisées avec STICS et PASIM pour les prairies divergent un peu (divergences liées aux modèles et à des différences dans les itinéraires techniques modélisés) ; on peut néanmoins retenir que l'augmentation de production est beaucoup plus faible et que dans certaines situations les rendements deviennent mêmes inférieurs aux rendements actuels, à cause d'une évapotranspiration très importante, et dans le Sud-Ouest à cause d'un effet direct des températures élevées. Pour le maïs, l'augmentation de rendements se réduit en conditions non irriguées (baisse du niveau des précipitations, en particulier sur la façade atlantique) (Ruget et al. 2012a).

Ce bilan plutôt positif doit être nuancé : l'augmentation des rendements prévus est en grande partie dû à l'effet de l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> a deux effets positifs sur la production végétale : augmentation de la production primaire (le carbone du CO<sub>2</sub> étant un ingrédient majeur de la constitution des tissus végétaux par photosynthèse), et diminution de l'évapotranspiration. Or l'effet à long-terme du CO<sub>2</sub> est assez controversé (Long et al. 2006) : il est possible que cet effet s'atténue un peu à long-terme avec une adaptation progressive des plantes. Sans cet effet du CO<sub>2</sub>, les augmentations prédites de rendements sont moindres dans le futur proche, et peuvent être négatives dans certaines situations (Ouest) ; ces rendements chutent partout dans le futur lointain (Figure 9-b).

Par ailleurs, les simulations n'ont pas été faites en haute-montagne, où les modèles agronomiques ne sont pas adaptés (pas de prise en compte de l'effet de la neige ni du froid). Les prairies modélisées sont des prairies monospécifiques productives (ray-gras anglais et fétuque élevée) ; les conclusions seraient donc sans doute à nuancer pour des prairies à la flore très diversifiée et/ou peu productives, et pour des surfaces pastorales (Ruget et al. 2006). Les conclusions de ces simulations sont donc à prendre avec précaution pour les végétations de montagne, que ce soit en alpage ou sur d'autres espaces prairiaux ou pastoraux.

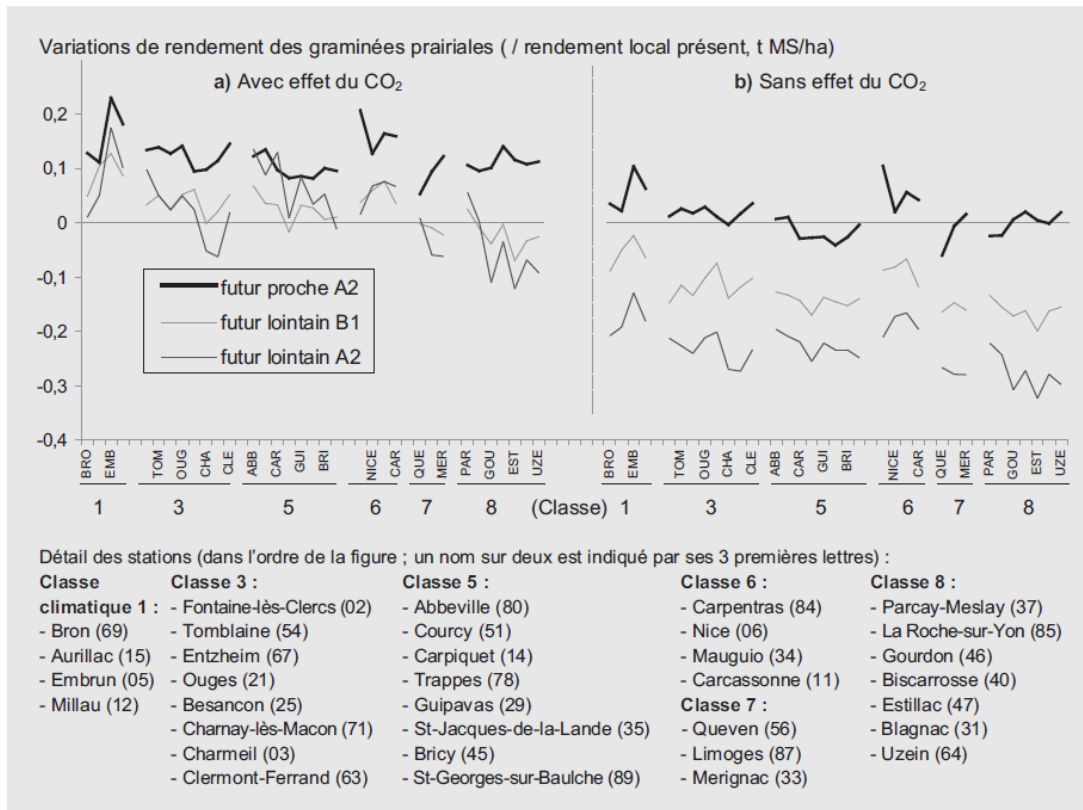


Figure 9 : Variations du rendement annuel de la prairie (par rapport au rendement local présent, en tonnes de matière sèche/ha) établi avec le modèle STICS pour différentes stations en France et pour 3 séries climatiques, avec (a) ou sans (b) prise en compte de l'effet du CO<sub>2</sub> (moyenne sur 27 ans, stations regroupées selon 8 zones de climats similaires) (Ruget et al. 2013 p. 214)

Pour Embrun, par exemple, en prenant en compte l'effet du CO<sub>2</sub>, la productivité annuelle des prairies serait supérieure de 0,2 tonne sur la période 2020-2046 par rapport à la période 1980-2006. Sur la période 2070-2098 elle serait supérieure de 0,1 à 0,2 TMS par rapport à la productivité sur la période 1980-2006. Sans effet CO<sub>2</sub>, par rapport à la période 1980-2006 on serait à +0,1 TMS pour la période 2020-2046, et avec une baisse inférieure à 0,2 TMS pour la période 2070-2080.

### 1.3.3 Adaptation de l'élevage à la recrudescence des aléas climatiques

Mais surtout, les bilans établis des menaces et opportunités induite par le changement « moyen » du climat, masquent la problématique de l'adaptation à une augmentation de la variabilité climatique et à des aléas de plus en plus extrêmes. Or la gestion de la variabilité climatique peut être considérée comme la principale difficulté pour les exploitations d'élevage (Duru et al. 2012, Sautier et al. 2013a). Un fort aléa peut avoir des répercussions sur plusieurs années, si le cheptel a dû être décapitalisé, si les prairies ont été dégradées, ou s'il faut rationner les animaux : Lemaire et Pflimlin (2007) ont ainsi établi un lien entre la sécheresse de 2003 et une baisse très nette de la production laitière en France au printemps 2004. Les conclusions sur les opportunités et menaces du changement climatique « moyen » ne tiennent donc que si les systèmes d'élevage disposent de marges de manœuvre pour faire face à la variabilité climatique (capacité de report des stocks d'une année à l'autre par exemple), et pour gérer au cours d'une même année des surplus et des déficits temporaires de production accrus.

### ***1.3.3.1 Les systèmes d'élevage extensifs seraient particulièrement vulnérables aux aléas climatiques...***

Les systèmes d'élevage extensifs, pour lesquels l'alimentation des troupeaux est basée en grande partie sur la prairie et sur des ressources pastorales, représentent la majorité des systèmes utilisateurs des alpages. Plusieurs auteurs pointent la grande vulnérabilité aux aléas climatiques de ces systèmes, et parmi eux tout particulièrement les systèmes de montagne (Lemaire et Pflimlin 2007, Blanc et al. 2008). Ils attribuent cette vulnérabilité à plusieurs facteurs : manque de diversité dans les assolements (parfois uniquement de la prairie permanente), usage des prairies contraint par la topographie, période de végétation courte ne permettant pas de compensation des aléas sur une année, marges de manœuvre limitées (pas de recours à des cultures à double fin ou à des cultures dérobées, effets limités d'une intensification des pratiques, impossibilité de changer d'espèce ou variété en prairie permanente...). Ces exploitations doivent également composer avec d'autres contraintes qui limitent les marges de manœuvre face aux aléas climatiques : Indemnité Compensatrice de Handicap Naturel (ICHN) et Prime Herbagère Agri-Environnementale (PHAE, jusqu'en 2014), qui imposent des règles contraignantes en termes de chargement. Elles sont aussi souvent soumises aux cahiers des charges de productions AOC, IGP, ou biologiques, qui restreignent également les pratiques, notamment les modes de récolte, ou la possibilité de recourir à des intrants extérieurs (Andrieu 2004, Jacquot 2012).

### ***1.3.3.2 ... ils disposent pourtant de marges de manœuvre importantes***

Mais ce constat repose largement sur une lecture des systèmes d'élevage centrée sur une logique « d'intensification » où l'on rechercherait à maximiser l'utilisation des ressources et à maîtriser au maximum le milieu pour s'affranchir des facteurs limitant inhérents à ce milieu. Or cette lecture apparaît peu adaptée aujourd'hui pour analyser le fonctionnement des systèmes d'élevage en général (Dedieu et al. 2008a), et des systèmes d'élevage extensifs en particulier (Landais et Balent 1995) – l'analyse du fonctionnement des systèmes d'élevage étant entendu comme l'analyse des interactions entre dimensions humaines et biotechniques de l'activité d'élevage (Gibon et al. 1999, Dedieu et al. 2008b) . Les systèmes d'élevage sont soumis aujourd'hui à un contexte de multiples incertitudes (Dedieu et Ingrand 2010) : volatilité des prix des matières premières et des productions agricoles, incertitudes sur les évolutions des politiques agricoles et de la réglementation, risque d'occurrence de crises sanitaires et financières graves... Le réchauffement climatique, avec la recrudescence attendue d'événements extrêmes, ajoute à cette incertitude. Au-delà de la notion d'incertitude, dont le niveau pourrait être quantifié, certains auteurs parlent même d'un contexte « d'imprévisibilité » (unpredictability) (Darnhofer 2014). Ce contexte oblige à s'intéresser à la façon dont les éleveurs agissent en situation d'incertitude (Lémery et al. 2005, Ancey et al. 2013), et cela conduit à analyser le fonctionnement des systèmes d'élevage sous l'angle de leur flexibilité, c'est-à-dire « leur aptitude à s'accommoder aux circonstances, à absorber des changements, leur capacité à préserver et à créer des options, à apprendre » (Reix 1979, Pasin et Tchokogué 2001) cités par Chia et Marchesnay (2008) et Dedieu et Ingrand (2010). Différentes sources, différents mécanismes de flexibilité sont décrits dans ces travaux ; on retiendra notamment la distinction faite par Tarondeau (1999), entre flexibilité « opérationnelle » et flexibilité « stratégique ». Ces deux formes de flexibilité correspondent à des échelles temporelles différentes. La flexibilité opérationnelle se traduira par des ajustements conjoncturels mis en œuvre au cours d'un cycle de production en réponse aux divers aléas ; la flexibilité stratégique correspondra à la capacité à adapter de manière structurelle le système considéré, pour diminuer sa sensibilité aux aléas.

Ce regard peut être décliné sur les composantes biotechniques animales (par exemple Nozières et al. (2011) et végétales (par exemple Martin et al. (2009) qui composent les systèmes d'élevage, et sur la gestion (Chia et Marchesnay 2008, David et al. 2010, Astigarraga et Ingrand 2011). Pour faire face à l'incertitude et aux aléas, les éleveurs sont de plus en plus amenés à mettre en œuvre une gestion adaptative, c'est-à-dire procéder en permanence au quotidien et année après année, à des ajustements des objectifs et de la conduite (Petit 1978, 1981, cités par Darnhofer et al. 2010a). Cela peut passer par des changements importants dans les modes de gestion. Cela nécessite aussi de parvenir à tirer parti des apprentissages au cours du temps et des aléas rencontrés pour améliorer la gestion (Wreford et Adger 2010, Milestad et al. 2012).

### 1.3.4 Leviers activés par les systèmes d'élevage utilisateurs des alpages face aux aléas climatiques

La vision réductrice de systèmes qui seraient très vulnérables à cause de prairies permanentes « monocultures uniformes » ne laissant que peu de possibilités d'ajustement des pratiques doit donc être nuancée.

Tout d'abord, si la prairie permanente occupe effectivement parfois la totalité de la surface agricole utilisée sur les exploitations extensives, cette prairie recouvre une grande diversité de milieux et de caractéristiques agronomiques à l'échelle d'une exploitation, que ce soit en termes de productivité, de précocité ou de souplesse d'exploitation (voir par exemple les travaux de (Jeannin et al. 1991) pour les Alpes du Nord). Plusieurs travaux ont montré qu'il était possible de trouver des marges de manœuvre dans la conduite des systèmes fourragers face aux aléas climatiques en mobilisant de manière adéquate la diversité fonctionnelle des prairies permanentes (Andrieu et al. 2007, Martin et al. 2009, Sautier 2013). Certains travaux suggèrent aussi qu'il est possible de piloter par les pratiques la composition des prairies pour améliorer leurs propriétés agronomiques et gagner en flexibilité à l'échelle du système fourrager (Loucougaray et al. 2015, Gos et al. 2016).

Ensuite, les systèmes d'élevage extensifs ont su faire preuve de flexibilité par le passé. A la suite des premières manifestations sévères du changement climatique du début des années 2000 (2003 et suivantes), plusieurs programmes de recherche et de recherche-développement<sup>6</sup> ont été conduits dans le massif Alpin et en région Méditerranéenne et péri-méditerranéenne, où certains aléas avaient été particulièrement ressentis, constituant une prise de conscience brutale du changement climatique (Moulin et al. 2009, Aubron et al. 2010, Nettier et al. 2010, 2012a, Sérès 2010a, 2010b, Noury et al. 2013). Ces travaux ont permis de montrer concrètement que les systèmes d'élevage de ces régions, qui sont ceux que l'on va retrouver sur les alpages, avaient su activer de nombreux leviers d'adaptation et se montrer flexibles. Ils ont aussi permis d'identifier les limites de cette flexibilité.

---

<sup>6</sup> Climadapt : Changement climatique dans les Alpes : quelles stratégies d'adaptation durables pour l'agriculture de montagne (projet porté par le GIS Alpes-Jura).

Climfourrel : Adaptation des systèmes fourragers et d'élevage péri-méditerranéens au changement climatique (projet PSDR).

Secalp : Adaptation des territoires alpins à la recrudescence des sécheresses dans un contexte de changement global (projet GICC).

Alpages sentinelles : voir chapitre 3.1.

Parmi les leviers activés, le recours conjoncturel à des achats a été le principal pour compenser la perte de ressource fourragère (achats de foin, d'herbe ou maïs sur pied, de concentrés) et assurer l'alimentation hivernale. Une baisse temporaire des effectifs est également un levier fréquent (réformes anticipées, ventes d'animaux maigres...). Les achats de foin peuvent néanmoins peser sur la trésorerie et fragiliser les exploitations, en particulier pour les exploitations laitières des Alpes du Nord et pour les exploitations de haute-montagne, pour lesquels les besoins sont importants et qui disposent de peu de moyens pour améliorer l'autonomie fourragère. Il en est de même pour les baisses temporaires d'effectifs, qui peuvent se ressentir sur les revenus plusieurs années après l'aléa.

De nombreuses modifications structurelles ont aussi été observées pour améliorer l'autonomie fourragère et réduire les achats ou la décapitalisation du cheptel : extensification, lorsque c'est possible, avec des agrandissements (surtout des surfaces de fauche) à tailles de troupeaux constante ; ou au contraire intensification de la conduite des surfaces fourragères, avec le semis d'espèces et variétés plus résistantes, le développement de l'irrigation, des apports d'intrants plus importants, ou l'augmentation du nombre de coupes (opportunité permise par un allongement des saisons de végétations).

Au pâturage, les systèmes laitiers des Alpes du Nord et ceux de haute-montagne apparaissent en général moins tendus face aux sécheresses. Ils jouent principalement sur un surdimensionnement structurel avec une planification assez rigide de l'utilisation de l'espace et des calendriers de pâturage qui changent très peu d'une année sur l'autre (Camacho et al. 2008). Les systèmes plus pastoraux de moyenne montagne et de Provence jouent davantage sur l'utilisation plus ou moins exceptionnelle de surfaces tampons peu productives (sous-bois...), avec des calendriers de pâturage qui peuvent évoluer beaucoup d'une année sur l'autre.

Des changements que l'on peut qualifier de rupture (Noury et al. 2013) sont également parfois observés. Mais ils restent le plus souvent uniquement envisagés (Nettier et al. 2012a). Ces ruptures dépassent le cadre du système fourrager pour toucher le système d'exploitation dans son ensemble, voire le système famille-exploitation (Osty 1978) : réduction des effectifs et recherche de valeur ajoutée par la vente directe ou la transformation ; changement de production ; diversification des activités à l'échelle de l'exploitation ou à l'échelle des ménages. Dans ces cas-là, le facteur climatique n'est jamais le seul élément moteur ; le contexte socio-économique compte également beaucoup (Nozières 2014).

### **1.4 Spécificités des impacts et de l'adaptation au changement climatique sur les alpages**

La plupart des constats faits sur les impacts du changement climatique inhérents à l'agriculture de montagne vont se trouver amplifiés sur les alpages, à cause des conditions pédologiques, climatiques, géomorphologiques inhérentes à la haute-montagne. Il y aura également en plus des impacts très spécifiques. Aux multiples incertitudes déjà décrites, il faudra ajouter le manque de connaissances scientifiques sur l'évolution des végétations face au changement climatique.

En alpage, l'adaptation au changement climatique renvoie à deux types de problèmes, qui sont à considérer à deux pas de temps différents.

### 1.4.1 Gestion de la recrudescence des aléas climatiques

La recrudescence des aléas climatiques va poser des difficultés de gestion comme sur les exploitations, mais les problèmes déjà identifiés pour les exploitations d'élevage vont se trouver accrus par les conditions climatiques et de relief, qui vont restreindre encore plus le champ des possibles : saison de végétation extrêmement réduite, gestion des milieux presque exclusivement par la dent de l'animal, multifonctionnalité à préserver, règles administratives (PAC), plans de gestion de MAE, closes des conventions de pâturage, et parfois cahiers des charges de production à respecter.

Si les prairies d'alpage apparaissent assez résistantes aux sécheresses, avec des baisses de rendements qui ne sont ressenties que l'année sèche et des compositions botaniques qui n'évoluent pas suite à un épisode de forte sécheresse (Benot et al. 2013, Jung et al. 2014), l'effet cumulé de la sécheresse et de pratiques de pâturage qui ne seraient pas ajustées à la ressource disponible peuvent conduire à des dégradations rapides (Alard et Balent 2007). A cause des conditions climatiques, et l'impossibilité de recourir à des interventions mécaniques, les dégradations sur les végétations d'alpage seront souvent irréversibles ; elles auront donc des conséquences durables à la fois sur la biodiversité et sur la ressource fourragère. Sur les alpages, il y a donc en quelque sorte moins le « droit à l'erreur » que sur les autres espaces agricoles.

Comme pour les exploitations, si les alpages peuvent apparaître à première vue très vulnérables aux aléas climatiques, dans les faits on observe un certain niveau de flexibilité, avec de nombreux ajustements réalisés pour parvenir à assurer l'alimentation des troupeaux et le renouvellement des ressources (éviter leur dégradation). Trois niveaux d'ajustements peuvent être identifiés et ont été décrits (Nettier et al. 2011b) :

(1) Le premier niveau correspond à l'adaptation de la conduite du troupeau au pâturage. Ce sont des adaptations conjoncturelles uniquement, qui mobilisent le savoir-faire des bergers (i) quotidiennement, en choisissant les horaires de pâturage pour diminuer les besoins en eau, en pâturant les secteurs adaptés à la météo du jour, en explorant des zones difficiles d'accès ; (ii) sur la saison d'estive, en pâturant chaque quartier au moment adéquat en fonction des caractéristiques des végétations et de leurs stades de développement ; et (iii) d'une année sur l'autre, en préservant les secteurs de sécurité lors des années favorables et en améliorant progressivement la ressource des faciès peu productifs.

(2) Un second niveau d'action correspond à des améliorations de la configuration (Girard et al. 2001, 2008) de l'alpage visant à augmenter la ressource disponible ou à mieux consommer la ressource présente : agrandissement, réserves d'eau ou construction de cabanes sur des quartiers excentrés. Ces aménagements correspondent à des modifications structurelles.

(3) Enfin lorsqu'il existe des marges de manœuvre sur les exploitations, les éleveurs disposent d'un levier complémentaire d'adaptation et peuvent effectuer des diminutions conjoncturelles ou structurelles du temps passé en alpage et/ou de l'effectif inalpé. Le cas inverse, où des marges de manœuvre sont trouvées sur l'alpage pour diminuer la pression sur les exploitations (alpage « refuge ») est peu représenté dans les cas décrits par Nettier et al. (2011b), tous situés dans le massif du Vercors. Ce cas semble toutefois plus fréquent dans d'autres situations dans les Alpes (Nettier et al. 2014) ou ailleurs (Rigolot et al. 2014), dans le Massif Central). L'affirmation que l'on entend parfois selon laquelle les éleveurs considéreraient « la montagne comme inépuisable »,



reportée dans l'ouvrage de Landais et Deffontaines (1988) semble en tout cas difficilement pouvoir être généralisée.

Si de nombreux ajustements sont déjà mis en œuvre, dans de nombreux cas la situation est fragile sur les alpages ou sur les exploitations, et des observations de dégradations ponctuelles ont été observées en alpage, qui ont été associés par certains acteurs à l'effet conjoint des sécheresses et du pastoralisme (Dobremez et al. 2014). Les marges de manœuvre risquent d'être de plus en plus limitées avec l'accentuation du réchauffement climatique.

### **1.4.2 Gestion de la co-évolution progressive du climat et des milieux**

Sur le long-terme, il est difficile d'estimer comment vont se traduire en alpage les opportunités et les menaces du changement climatique que nous avons décrites pour l'élevage en général en France (raccourcissement de la période de froid hivernal et allongement de la période de sécheresse estivale). A haute altitude, le déneigement plus précoce déjà observé n'est pas forcément bénéfique pour la productivité des végétations puisqu'il les expose au gel. Par contre les déficits hydriques, qui sont réduits avec l'altitude, peuvent rester suffisamment faibles pour que certains alpages soient préservés des sécheresses.

Par ailleurs, si le changement climatique est susceptible de faire évoluer les végétations d'alpage (Engler et al. 2011), il demeure de nombreuses incertitudes sur la façon dont ces évolutions vont se concrétiser (Gottfried et al. 2012, IPCC 2014c). Une remontée des étages de végétation est souvent prédite du fait du réchauffement climatique. Celle-ci pourrait conduire à une fermeture (ou à une accélération de la fermeture) du paysage sur certains alpages et à la disparition de l'étage alpin dans certaines régions des Alpes (Bigot et Rome 2010). Cela aura des conséquences importantes pour les ressources pastorales et pour la biodiversité, avec la disparition de niches écologiques et la raréfaction de nombreuses espèces (ce qui peut rendre de plus en plus difficile l'atteinte des objectifs fixés au travers des mesures agri-environnementales).

Mais dans le détail, à un niveau local il reste difficile de prédire la façon dont vont évoluer les écosystèmes. Des décalages phénologiques différenciés entre espèces pourraient perturber les chaînes alimentaires ; la vitesse de dispersion des espèces en altitude pourrait ne pas être suffisamment rapide pour compenser le réchauffement du climat (Yoccoz et al. 2010, Talluto et al. 2016). Toutefois des travaux récents montrent aussi que dans certaines situations, notamment à l'étage alpin, le microrelief permet d'avoir une gamme de microclimats aussi importante que celle due à l'étagement altitudinal, et bien plus large que le changement climatique à venir, et que les espèces végétales pourraient finalement se maintenir assez facilement en ne se dispersant que de quelques mètres (Scherrer et Körner 2010).

Il est par ailleurs possible que localement l'effet des sécheresses, surtout si elles se succèdent, conduise à des mortalités importantes des arbres, et qu'au lieu d'avoir une enforestation, on ait la dynamique paysagère inverse avec une raréfaction des arbres sur les alpages. Les mêmes interrogations se posent pour la strate herbacée : si les végétations d'alpage résistent bien à une ou deux fortes sécheresses (Jung et al. 2014), il est possible qu'il y ait des effets de seuils au-delà desquels la végétation évolue fortement. Enfin de nombreux paramètres très spécifiques, comme l'effet du gel, restent mal connus.



Enfin, les pratiques peuvent avoir un effet bien plus rapide que le changement climatique pour faire évoluer les végétations, même au subalpin (Benot et al. 2013). Même si l'effet de ces pratiques demeure lui aussi mal connu, cela signifie qu'il y a au travers de la conduite pastorale des leviers d'actions potentiels pour piloter l'évolution des écosystèmes, et qu'il faut donc dès aujourd'hui intégrer dans la gestion pastorale l'enjeu de l'évolution à long-terme, et raisonner les pratiques vis-à-vis de cet enjeu. Par exemple si effectivement la dynamique forestière est accentuée, il peut être intéressant de piloter cette dynamique pour que cela soit bénéfique en termes de ressource pastorale, l'ombrage des arbres pouvant dans certaines conditions protéger la ressource et diminuer l'effet de la canicule et des sécheresses (Etienne et al. 1994, Rapey et al. 1994, Tchakérian et al. 2005), et ralentir les effets de long-terme du changement climatique (Buttler et al. 2012).

### **1.4.3 Quelques impacts du changement climatique que nous n'abordons pas**

Dans ce travail de thèse nous nous concentrons sur l'impact du changement climatique sur les végétations et les ressources alimentaires inhérentes. Le changement climatique a également un impact direct sur les ressources et les besoins en eau pour l'abreuvement des troupeaux en alpage. Nous faisons le choix dans cette thèse de ne pas étudier ce volet du problème, qui renvoie à des problématiques en hydrologie, et nous ne considérons les problématiques d'abreuvement que de manière indirecte, comme levier d'adaptation pour améliorer la consommation des ressources pastorales.

De même nous n'étudions pas les effets strictement zootechniques du changement climatique, comme les aspects sanitaires (effets des fortes chaleurs sur le comportement et la santé des animaux, émergence de nouvelles maladies, remontée en altitude de certains vecteurs) ou les possibles perturbations des cycles de reproduction.

## **1.5 Des cadres d'analyse inadaptés pour traiter de l'adaptation au changement climatique sur les alpages**

### **1.5.1 Les outils d'analyse du fonctionnement d'un alpage**

Les outils d'analyse et d'aide à la gestion des alpages qui sont utilisés dans les Alpes françaises par les techniciens pour conseiller les éleveurs, les bergers et les collectivités territoriales propriétaires d'alpages (Joulet 1999, Bornard et al. 2006, CERPAM et Parc national des Ecrins 2006) s'avèrent insuffisants pour prendre en compte l'adaptation au changement climatique. Ces outils, qui sont également utilisés dans les Pyrénées par les techniciens qui les ont adaptés de manière empiriques à leurs contextes (Gross et al. 2011), proviennent de cadres d'analyse basés sur deux types de travaux scientifiques :

Les premiers ont visé à caractériser et évaluer quantitativement la ressource pastorale présente sur les alpages (Bernard-Brunet et Bornard 2004) à travers différentes typologies de végétations auxquelles est attribuée une valeur alimentaire, la « valeur pastorale », qui prend en compte la valeur nutritive et l'appétibilité des espèces présentes dans la végétation<sup>7</sup> (Daget et Poissonet 1971,

---

<sup>7</sup> La valeur pastorale est un indice global de qualité qui tient compte de la composition floristique de l'herbage et de la valeur fourragère des espèces. Il est obtenu par la formule suivante :  $VP = 0,2 \times CSi \times ISi$  (pour  $i$  variant de 1 à  $n$ ,  $n$  étant le nombre d'espèces identifiées sur les points de relevés de végétation effectués), avec  $CSi$  contribution de l'espèce  $i$  au phytovolume ou contribution spécifique (en %),  $ISi$  indice spécifique de qualité de l'espèce  $i$  qui varie de 0 à 5 selon l'espèce.

1972), caractérisant ainsi des « faciès pastoraux » selon leur intérêt pastoral (Jougllet 1999, Bornard et al. 2006).

Les seconds travaux ont cherché à comprendre la logique de gestion de l'alpage par le berger en année « moyenne » (Savini et al. 1995), à partir de l'analyse des pratiques mises en œuvre sur un alpage par un berger sur une campagne, et de l'explicitation par le berger des raisons de ses pratiques, c'est-à-dire de la façon dont il mobilise les végétations pour « construire des ressources » (Girard 1995) et alimenter les animaux (Landais et Deffontaines 1988). Ce modèle de fonctionnement d'un alpage ainsi construit, qui s'appuie sur la représentation d'un seul berger ne correspond pas complètement à la représentation qu'ont tous les bergers du fonctionnement d'un alpage (Savini et Landais 1991) ; mais il offre une grille de lecture qui a du sens pour un technicien pastoral, pour réaliser un diagnostic sur le fonctionnement de n'importe quel alpage (Prévoist et Quiblier 1991). La méthode de diagnostic pastoral utilisée aujourd'hui dans le massif alpin (CERPAM et Parc national des Ecrins 2006), s'appuie ainsi sur ce modèle conceptuel (Savini et al. 2010), et sur les typologies de végétations précédemment citées. Ce modèle conceptuel s'appuie sur trois concepts qui découpent l'espace et le temps de l'alpage et permettent de décrire sa gestion : le « secteur », unités spatiales de base dont les caractéristiques (géomorphologie et combinaison de types de végétation) déterminent le comportement spatial et alimentaire du troupeau au pâturage ; le « circuit de pâturage », itinéraire suivi au cours d'une journée par le troupeau, qui visite un certain nombre de secteurs pour consommer différents types de végétations ; et le « quartier », ensemble de secteurs et circuits pâturés au cours d'une même période, de l'ordre du mois, plus ou moins délimité par des barrières naturelles et l'étagement altitudinal (Figure 10).

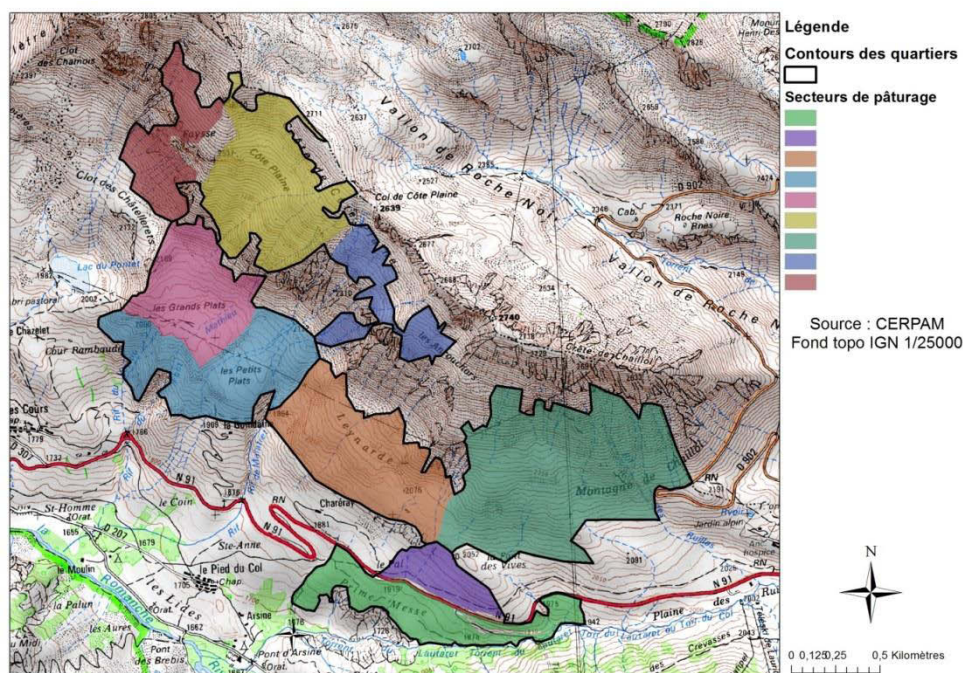


Figure 10 : Découpage en secteur et quartiers d'un alpage dans le Parc national des Ecrins. Source : CERPAM ; fond topo IGN

Ces indices spécifiques (qui sont parfois discutés) ont été déterminés en prenant en compte différents critères des espèces parmi lesquels la valeur nutritive, la productivité, la digestibilité, l'appétibilité, etc.. La valeur pastorale varie donc entre 0 et 100, mais qui, en pratique, excède rarement 40 en alpage.

### 1.5.2 Limites des outils et cadres d'analyse actuels de la gestion pour traiter la question de l'adaptation au changement climatique

Ces différents outils permettent difficilement de s'intéresser aux ajustements réalisés sur l'alpage face aux aléas climatiques et de penser en termes de gestion adaptative ; lors de la réalisation des diagnostics pastoraux, pour tenir compte des incertitudes liées à l'évaluation de la ressource et de la variabilité interannuelle de la production fourragère, une simple marge de sécurité (de 25 à 30%) est appliquée. Si la valeur pastorale est un paramètre plus intéressant que le rendement, qui permet de nuancer la productivité par rapport au comportement animal, elle ne prend pas en compte les variabilités interannuelles de production, ni le stade d'exploitation des végétations ou l'aptitude des bergers à faire consommer des plantes a priori peu appétentes (Cruz et al. 2002, Guérin et Agreil 2007). La diversité des végétations et leur complémentarité en cas d'aléas ne sont ainsi pas vraiment prises en compte. Tous ces aspects seront pourtant déterminants lorsque les bergers chercheront à trouver des marges de manœuvre.

Dans les travaux initiaux qui avait servi à élaborer le modèle conceptuel de Savini et al. (1995), sur l'alpage qui avait servi de référence la question des ajustements était évoquée (Landais et Deffontaines 1988). Les effectifs animaux étaient importants par rapport à la ressource. La gestion était très planifiée, mais intégrait la possibilité de nombreux ajustements tout au long de la saison : en priorité, selon le berger, des ajustements pour faire face aux jours de mauvais temps (en gardant de la ressource dans les secteurs abrités), mais aussi des ajustements visant à compenser les variations de productivité de la ressource sur la saison ; ces derniers ne sont pas décrits précisément, on devine qu'ils tiennent à un ensemble de petits leviers activés tout au long de la saison : « on prend le temps comme il vient, les années sèches, les années humides, et on essaie d'être habile avec tout ça [...] il y a tout de même une certaine souplesse, le berger peut dans une certaine mesure accélérer ou ralentir le mouvement » (Landais et Deffontaines 1988). Mais l'objectif était alors de comprendre la logique de gestion dans son ensemble et les pratiques du berger à ce niveau ; les ajustements ont été considéré comme secondaires à l'époque, d'autant plus peut-être, que le cas d'alpages « bien chargés » n'était sans doute pas si fréquent, et que le contexte au niveau national était plutôt à la « reconquête des espaces pastoraux ».

Par ailleurs, ces outils prennent peu en compte le caractère dynamique des végétations d'alpage. Pourtant dès les années 70 on peut trouver des travaux qui s'intéressent aux dynamiques des végétations et à l'effet des pratiques sur ces dynamiques (par exemple Jarrige et al. 1979, Bornard et Cozic 1986). Jouglet (1999) et Bornard et al. (2006) donnent bien quelques éléments quant aux évolutions possibles des végétations sous l'effet des pratiques, mais ces travaux semblent peu mobilisés aujourd'hui ; ils ne semblent pas avoir été déclinés en outils de conseil ou de gestion.

Jusqu'à une époque récente, aucun travaux ne s'est intéressé à l'effet que pouvait avoir le changement climatique sur les végétations ; par contre les typologies de végétations sont construites en référence aux effets du climat au niveau local : pelouses « subalpines », « alpines », « de mode thermique » (situées sur des pentes en adret et rapidement déneigées), « de mode nival » (restant très tardivement enneigées)...

Néanmoins, les pratiques des éleveurs et bergers au quotidien témoignent bien de la prise en compte des dynamiques des végétations avec des considérations de très long-terme qui dépassent leur carrière professionnelle, lorsque par exemple ils veillent à éviter le « sous-pâturage ». Et dans les

pratiques, les techniciens sont amenés à « déformer » l'usage de leurs outils pour prendre en compte les dynamiques des végétations. Ainsi la grille d'évaluation de la pression de pâturage (Garde 1990, Garde et al. 2014a), initialement conçue pour estimer la proportion de ressource consommée par un troupeau, est-elle utilisée aujourd'hui comme un moyen d'estimer l'impact du pâturage sur l'évolution de la ressource. Sont employés des termes comme « entretien » et « impact » (Figure 11). Par ailleurs de nombreux plans de gestion mis en œuvre dans le cadre des mesures agri-environnementales ont pour objectifs de faire évoluer les végétations (Figure 12).

Enfin, dans ces outils les exploitations utilisatrices des alpages sont considérées comme des boîtes noires, auxquelles on ne s'intéresse pas. Dans le travail initial qui a conduit à l'outil de diagnostic pastoral (Landais et Deffontaines 1988), le fonctionnement des exploitations agricoles n'est pas analysé, même si les relations entre éleveurs et bergers sont bien abordées, du point de vue du berger. Celui-ci décrit des éleveurs peu préoccupés par la gestion de l'alpage, par la pérennité de la ressource, et par la complexité du travail de berger. Cela avait fait réagir plusieurs chercheurs, qui avaient, dans un ouvrage collectif d'analyse de ce travail (Landais 1991), apporté des nuances à cette posture des éleveurs (Gilibert 1991, Napoleone 1991), essayé de l'expliquer par des considérations stratégiques (nécessité de ne pas trop considérer le travail du berger pour ne pas devoir trop le rémunérer, et logique de charges minimales sur l'alpage) (Baranger et al. 1991), et avaient aussi replacé la fonction de l'alpage dans le système d'élevage (Dedieu 1991), pour montrer qu'il était essentiel à la fois pour l'organisation du travail et dans la conduite zootechnique (rôle clé pour améliorer l'état corporel des animaux et conséquences sur une à deux campagnes), et que les éleveurs ne pouvaient vraisemblablement pas totalement s'en désintéresser.

Les exploitations sont effectivement importantes à considérer sur le pas de temps court de la gestion des aléas comme sur le pas de temps long du changement climatique.

- Pour la gestion des aléas, nous avons vu que l'articulation entre alpages et exploitations pouvait être une source importante de flexibilité. Il peut être intéressant en effet de savoir si des marges de manœuvre peuvent être dégagées en cas de besoin sur les exploitations (qui subissent aussi des aléas climatiques et doivent composer avec leurs propres contraintes de fonctionnement et de multiples incertitudes) ; et à l'inverse dans certaines situations les alpages peuvent représenter un « refuge » face aux impacts du changement climatique sur les exploitations.
- Sur le long-terme, on ne peut pas faire l'impasse sur l'évolution des exploitations utilisatrices des alpages. En effet celles-ci subissent également le changement climatique et s'y adaptent, en intégrant l'utilisation de l'alpage dans le raisonnement des modalités d'adaptation ; mais ces exploitations vont également se transformer sur le temps long, en fonction d'autres perturbations externes et en fonction de moteurs internes (évolution des projets et des attentes au cours de la carrière des agriculteurs, évolution de la conduite technique, et évolution du rôle attendu des alpages). Il peut aussi y avoir des changements d'exploitations utilisatrices.

	Observations visuelles	Prélèvement phytomasse herbacée (étalonné pour des ovins)	Mode de gestion
1	<b>Traces de passage rapide du troupeau</b> : coups de dents épars, herbe plus ou moins couchée dans faciès productif, quelques crottes présentes.	< 20 %	Passage rapide
2	<b>Prélèvement herbacé faible</b> : les bonnes espèces constituant le fin (légumineuses, bonnes graminées, autres), sont consommées irrégulièrement ; le risque de gaspillage est important (herbe couchée dans faciès productif). Coups de dents épars sur feuillages arbustifs les plus appétents	20 à 40 %	Tri
3	<b>Prélèvement herbacé irrégulier</b> : dans l'ensemble, le fonds pastoral est consommé ; les espèces moins appétentes sont consommées partiellement et irrégulièrement par taches ou trouées ; peu d'incursions dans les zones embroussaillées denses et peu pénétrables (pâturage concentré sur les zones ouvertes). Le stock sur pied en sec n'est pas attaqué. Les feuillages les plus appétents sont partiellement prélevés, pas d'impact sur les autres arbustifs consommables.	40 à 60 %	Pâturage prudent
4	<b>Prélèvement herbacé important</b> : l'ensemble de la strate herbacée est mangé assez régulièrement ; il subsiste des touffes de refus ; exploration très partielle des plages embroussaillées denses et peu pénétrables, qui se traduisent au fil des temps par quelques passages visibles. Pâturage régulier d'au moins 80 % de la surface accessible Le stock sur pied en sec (de l'année précédente) est peu attaqué par les ovins, plus par les bovins et les équins. Impact visible sur arbustifs consommables.	60 à 80 %	Gestion
5	<b>Pelouse raclée</b> : l'ensemble de la strate herbacée est très bien consommée, avec un aspect de la pelouse ras et régulier ; les refus d'espèces grossières sont rares ou inexistantes ; les espèces les moins appétentes sont irrégulièrement consommées (carex toujours vert, brachypode de Phénicie). Avec exploration régulière des plages embroussaillées denses et peu pénétrables de type buissons épineux ; ouverture de passages bien marqués. Pâturage régulier de la totalité de la surface accessible Prélèvement partiel dans le stock sur pied en sec (de l'année précédente), plus complet par les bovins et les équins. Impact important sur arbustifs consommables.	80 à 100 %	Impact

Figure 11 : Grille d'évaluation de la pression de pâturage du CERPAM (Garde et al. 2014a)



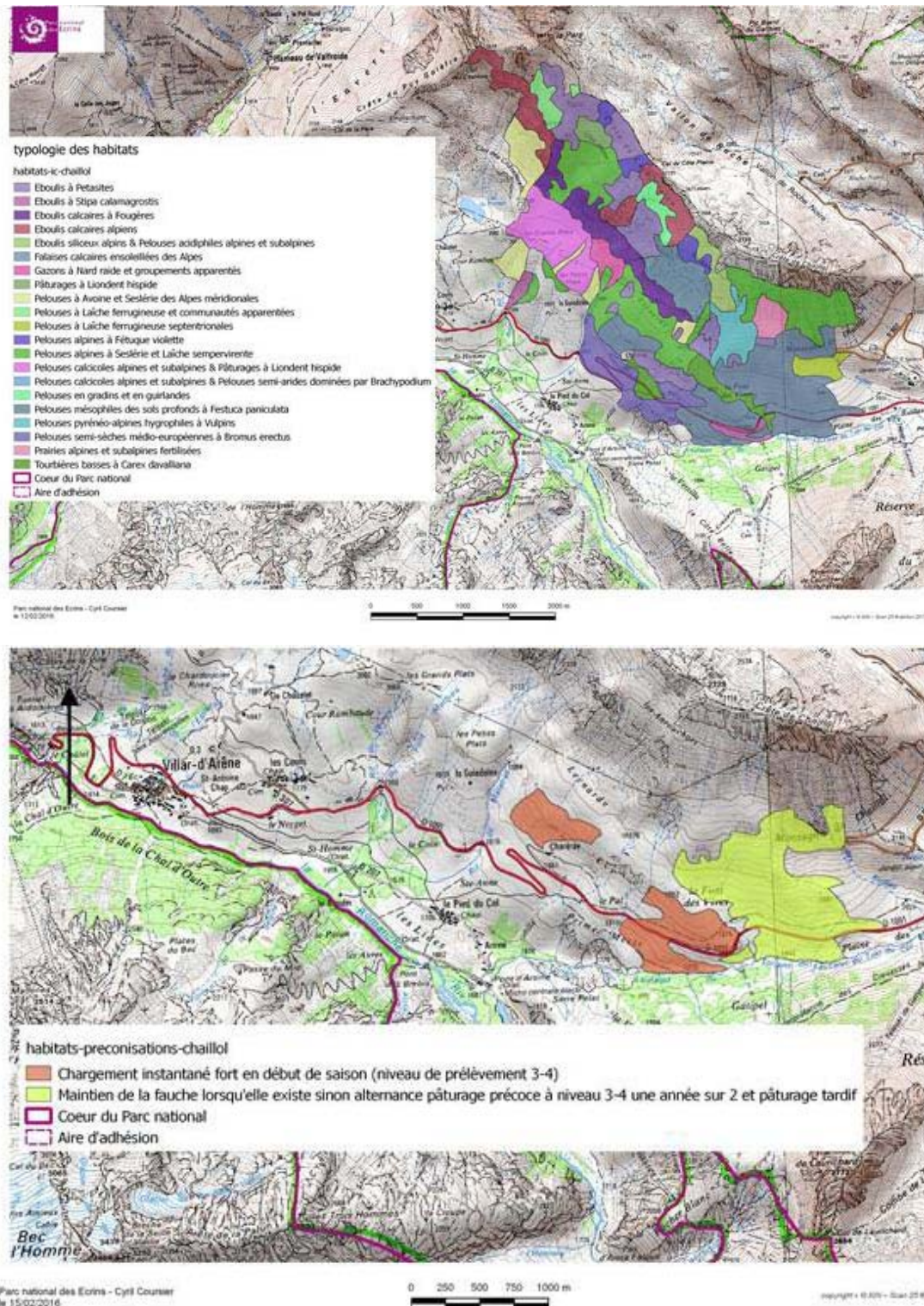


Figure 12 : Habitats d'intérêts communautaires et préconisations de gestion visant à maîtriser la dynamique du queyrellin (pelouses à Festuca paniculata) (source : Parc national des Ecrins et CERPAM).

Extrait du dossier constitué pour la mise en place d'une mesure agri-environnementale sur un alpage du Parc national des Ecrins. Compte tenu des contraintes de gestion, le groupement pastoral ne s'engagera à appliquer les préconisations que sur une partie des zones identifiées, parmi d'autres engagements liés à d'autres enjeux.

De par les enjeux multiples sur les alpages, l'adaptation de ces unités de gestion au changement climatique est un enjeu majeur pour de nombreux acteurs (Dobremez et al. 2014). Les techniciens pastoraux, les gestionnaires d'espaces protégés se trouvent relativement démunis pour évaluer les conséquences du changement climatique et pour conseiller les éleveurs sur l'adaptation au changement climatique, à cause de l'absence d'outils opérationnels adaptés et surtout à cause de l'absence de cadres d'analyse structurés pour aborder le sujet.

### 1.6 Synthèse

Nous avons vu dans cette première partie que le changement climatique était déjà une réalité perçue sur les alpages et que son impact allait s'amplifier au cours des prochaines années. Plus que sur les autres espaces, la pérennité de la ressource est remise en cause, tout comme la biodiversité des milieux d'alpage, et au final sa multifonctionnalité. L'incertitude domine sur les évolutions à attendre des végétations. Les alpages, qui sont des espaces aux enjeux multiples, sont au cœur des préoccupations de nombreux acteurs, qui se demandent si les activités pastorales vont parvenir à s'adapter au changement climatique.

Le changement climatique oblige à considérer la gestion des alpages sur deux pas de temps à la fois : sur le pas de temps de l'année, pour être suffisamment flexible pour faire face aux aléas, et sur le temps long pour penser la co-évolution progressive du climat, des végétations et des exploitations utilisatrices. Il oblige à ne pas considérer les alpages comme des systèmes isolés, mais à s'intéresser aussi aux interactions entre alpages et exploitations.

Les outils et les cadres d'analyse qui permettent de comprendre le fonctionnement d'un alpage et de raisonner sa gestion n'ont pas été conçus vis-à-vis de l'adaptation au changement climatique et permettent difficilement d'analyser sa flexibilité et sa dynamique sur le temps long. Dans une optique d'aide à la gestion des alpages, construire de nouveaux cadres d'analyse et de nouveaux outils permettrait de mieux aider à l'adaptation au changement climatique sur les alpages. Ces nouveaux cadres d'analyse et outils devraient intégrer les relations entre alpages et exploitations, permettre de considérer la flexibilité de l'alpage face aux aléas climatique dans un contexte de fortes incertitudes, et permettre de prendre en compte le temps long dans la gestion.

**C'est pourquoi nous proposons dans cette thèse de faire évoluer les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages, pour donner des clés d'analyse de leur adaptation au changement climatique.**

## **2 Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages**





## 2.1 Modéliser : adopter un regard orienté sur un objet

Le changement climatique oblige donc à changer de « modèle ». Un modèle est en effet une représentation simplifiée de la réalité permettant de répondre à une question. Le modèle précédent du fonctionnement de l'alpage (Savini et al. 1995) ne visait pas à répondre à la question de l'adaptation au changement climatique ; la question de la gestion des aléas climatiques était très secondaire sur les alpages au moment où ces travaux ont été réalisés. L'enjeu était de comprendre la logique d'ensemble du fonctionnement d'un alpage et a permis de poser les bases permettant de réaliser des diagnostics du fonctionnement des alpages et de fournir des préconisations de gestion. Nous devons donc concevoir un nouveau modèle, qui mettra en lumière les aspects de l'alpage qui sont déterminants pour l'adaptation au changement climatique que nous avons commencé à identifier (interactions alpage-exploitations, flexibilité, temps long...).

Un modèle est aussi une description générique d'un objet. Face à la grande diversité à laquelle on est confronté dès lors qu'on s'intéresse au fonctionnement des systèmes d'élevage extensifs, la construction de modèles génériques permettant de décrire les systèmes est un moyen de dépasser la particularité de chaque cas rencontré pour souligner ce qu'il y a de commun ; modéliser apparaît rapidement incontournable pour produire des connaissances génériques applicables à un grand nombre de cas, pour comparer des cas entre eux, ou comparer des cas par rapport à un modèle théorique (Landais et Balent 1995).

De la même manière que le modèle de Savini et al. (1995) est utilisé comme grille de lecture du fonctionnement des alpages dans les démarches de diagnostic pastoral, nous voulons construire un modèle a priori, qui puisse être mobilisé comme grille de lecture pour analyser des cas d'alpages.

Un modèle ne peut être complètement objectif, ou neutre. Que ce soit fait d'une manière délibérée ou non, un modèle est forcément une représentation subjective du monde. Il est donc essentiel d'explicitier ses choix et de les présenter de la façon la plus lisible possible pour qu'ils puissent être compris, partagés ou critiqués (Le Moigne 1977, cité par Bommel 2009). C'est ce que nous allons faire dans la suite de ce chapitre, où nous allons apporter des réponses à différentes questions qui doivent guider la construction d'un modèle. La première question est celle de la définition des contours, des limites, de l'objet modélisé. Nous traitons cette question dans la section 2.2. Le travail de modélisation oblige également à répondre à deux autres types d'interrogations complémentaires d'ordre méthodologique (Varenne et Silberstein 2013) : la question de l'acquisition des connaissances à modéliser (méthodes, processus de modélisation à employer) et celle de la représentation de ces connaissances (types de modèle, formalismes). Nous traitons ces questions dans la section 2.3. Enfin, se pose la nécessaire question de la validation et/ou de l'évaluation du modèle, que nous abordons dans la section 2.4. La Figure 13 résume ainsi la démarche de modélisation que nous suivons, et que nous explicitons dans les sections suivantes.

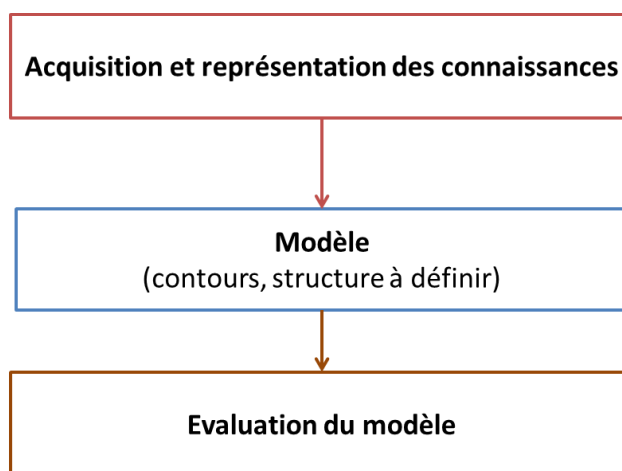


Figure 13 : Démarche d'ensemble de la modélisation

Dans la suite de ce manuscrit de thèse, nous enrichissons progressivement cette figure au fur et à mesure que nous précisons notre démarche (voir Figure 21 page 64 et Figure 31 page 98).

## 2.2 Définir les contours du système

### 2.2.1 Le système d'élevage comme cadre d'analyse

Nous positionnons nos travaux dans le cadre des travaux sur les systèmes d'élevage (livestock farming systems) (Landais et Balent 1995, Gibon et al. 1999, Dedieu et al. 2008b). Pour parvenir à comprendre et analyser la gestion des alpages, nous cherchons en effet d'une part à bien comprendre les choix effectués dans la gestion et les raisons de ces choix, et d'autre part à comprendre la cohérence d'ensemble de cette gestion. Les recherches sur les systèmes d'exploitation agricole (*farming systems research*) (Dent et McGregor 1994, Dent et al. 1995, Darnhofer et al. 2012), et en particulier parmi ceux-ci les travaux sur les systèmes d'élevage, qui s'intéressent aux interactions Hommes-Troupeaux-Ressources (Dedieu et al. 2008b) vont dans ce sens.

Nous pouvons d'ailleurs nuancer, ou enrichir, ce triptyque avec le cas des alpages vis-à-vis de la problématique que nous avons définie (Figure 14), en distinguant les « végétations » et les « ressources », que nous considérons comme une construction par les bergers et les éleveurs réalisée tout au long d'une campagne annuelle, en fonction de la diversité des végétations qu'ils ont à leur disposition, de leurs propriétés (productivité, précocité, aptitude au report sur pied) et de leur agencement dans l'espace (Bellon et al. 1999, Moulin et al. 2001, Guérin et Gautier 2004). Si cette distinction n'est pas toujours fondamentale dans le cas général, pour les alpages elle est importante, car les végétations sont aussi d'autres types de ressources pour d'autres types d'acteurs (Eychenne et Lazaro 2014). Nous considérons l'action du climat sur les végétations ; nous considérons également l'effet du troupeau au pâturage sur les végétations (cf. flèches vertes sur la figure). Rappel : nous ne considérons pas non plus l'effet du climat sur les troupeaux, ni sur les ressources en eau pour l'abreuvement des troupeaux.

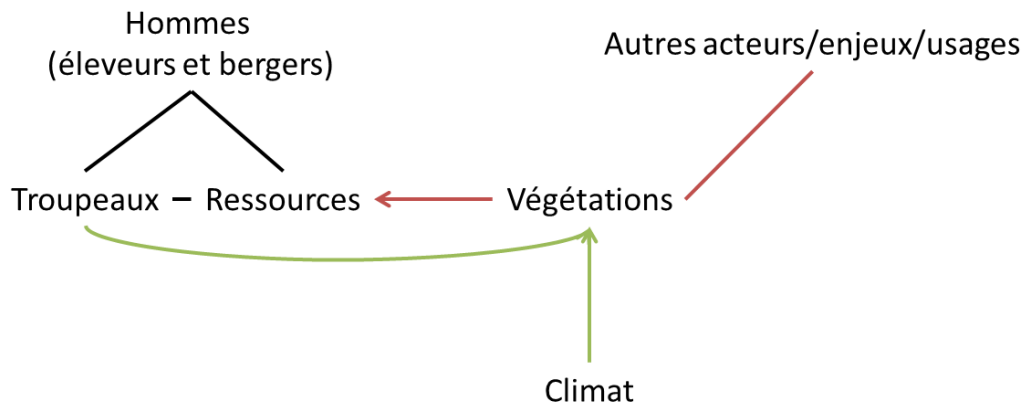


Figure 14 : Le triptyque hommes-troupeaux-ressources de l'approche des systèmes d'élevage (Dedieu et al. 2008b), décliné vis-à-vis de la problématique de l'adaptation au changement climatique en alpage

Les travaux sur les systèmes d'élevage reposent sur une vision systémique, c'est-à-dire qu'ils considèrent l'ensemble avant d'étudier finement les différentes parties d'un objet (Osty 1978) et qu'ils portent davantage attention aux relations entre les éléments que de se focaliser sur quelques éléments spécifiques et de les étudier isolément les uns des autres (Darnhofer et al. 2012). Ils préconisent aussi de s'intéresser à la fois (1) à la dimension biophysique du système (au « système de production » constitué des végétations, des animaux, du sol, du climat) et (2) à la dimension humaine du système (au « système de gestion », ou « système décisionnel », constitué des hommes, de leurs valeurs, leurs objectifs, leurs savoirs, leurs observations, leurs prises de décision) (Keating et McCown 2001), afin de parvenir à comprendre la cohérence fonctionnelle et stratégique des systèmes techniques (Osty et al. 1998), ou les raisons des transformations (ou non transformations) des systèmes. Cela suppose de s'intéresser aux « techniques » utilisées, qui sont de l'ordre de la connaissance, sans référence à une mise en œuvre concrète et qui peuvent être décrites indépendamment de l'agriculteur qui les met en œuvre, mais aussi aux « pratiques », c'est-à-dire à la mise en œuvre concrète des techniques, qui sont liées à l'opérateur et aux conditions dans lesquelles il exerce son métier (Teissier 1979, Landais et Balent 1995), et de comprendre les raisons de ces pratiques. Certains auteurs vont jusqu'à s'intéresser au « sens » que les agriculteurs donnent à ces pratiques (Darré et al. 2006), qui sont un révélateur de leurs logiques et leurs objectifs. L'analyse de l'organisation spatiale des exploitations agricoles permet aussi souvent de donner des clés de compréhension des pratiques (Morlon et Benoit 1990, Soulard 2002, 2005b, Thenail et Baudry 2004, Benoît et al. 2006, Camacho et al. 2008), de même que l'analyse du travail, que ce soit en termes de charge tout au long de l'année (Dedieu et Servièrè 1999), en termes d'organisation du travail (Madelrieux et Dedieu 2008, Madelrieux et al. 2009), ou en termes de rapport au travail (Dufour et Dedieu 2010, Nettier et al. 2012b).

En termes biophysique, notre problématique conduit à nous intéresser aux effets du climat sur les végétations, et aux conséquences en termes de ressources, et à l'effet des pratiques sur ces végétations/ressources. En termes de gestion, nous nous focalisons sur le système fourrager, défini comme un système d'information et de décision, ou un programme visant à équilibrer les ressources et les besoins en fourrages pour atteindre un objectif de production dans un cadre de contraintes données (Duru et al. 1988b, Dobremez et al. 2008), en intégrant le renouvellement et la pérennité de la ressource fourragère sur un pas de temps pluriannuel (Fleury et al. 1996).

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

De manière générale, les travaux sur les systèmes d'élevage choisissent le plus souvent comme échelle de travail l'exploitation agricole, ou le système famille-exploitation (Osty 1978), afin d'analyser la cohérence entre le fonctionnement de l'exploitation d'élevage et les objectifs du/des agriculteur(s) et de sa/leurs famille(s). Dans ces approches le système et ses limites n'est pas toujours défini a priori mais est construit au cours du processus de recherche. Ce système ne correspond pas toujours aux contours de l'exploitation agricole stricto sensu ; il convient surtout définir le bon système, permettant de répondre à la problématique (Darnhofer et al. 2012). Ainsi les travaux antérieurs qui ont cherché à comprendre et modéliser la gestion de l'alpage (Savini et al. 1995) ont bien considéré l'alpage, son troupeau, et le berger qui le gère comme un système d'élevage à part entière même si ce n'est pas une exploitation agricole, pour essayer de comprendre la gestion mise en place par le berger selon différentes échelles spatio-temporelles et sa cohérence, lorsqu'il associe des végétations d'aptitudes pastorales diverses afin d'en faire une ressource pastorale mobilisable par le troupeau. Si ces travaux ont considéré les exploitations agricoles comme des boîtes noires, dans la plupart des travaux sur les systèmes d'élevage c'est l'alpage qui a eu tendance à être considéré comme une boîte noire, même lorsque les travaux portaient spécifiquement sur des systèmes utilisateurs d'alpage (Eychenne 2008a) : voir par exemple Coléno et al. (2005), Mottet et al. (2006). Pour réfléchir plus précisément aux contours du système à modéliser et à la façon dont nous pouvons considérer dans le modèle les interactions entre alpages et exploitations, nous nous appuyons sur une revue bibliographique large à la fois en termes disciplinaire, et en termes de thématiques, et en termes d'approche (nous ne nous limitons pas aux approches systémiques), de la façon dont sont étudiées les interactions entre alpages et exploitations agricoles.

### 2.2.2 Comment sont abordées les interactions entre alpages et exploitations dans la littérature ?

#### 2.2.2.1 Démarche

Cette analyse reprend les résultats présentés dans un article rédigé dans le cadre de cette thèse et paru en 2015 dans la revue *INRA Productions Animales* : NETTIER B., DOBREMEZ L., BRUNSCHWIG G., 2015, « Prendre en compte les interactions entre alpages et exploitations dans les systèmes agropastoraux : une revue bibliographique », *INRA Productions Animales*, 28 (4), p. 329–340.

Au cours de la revue bibliographique, nous cherchons tout d'abord à identifier la diversité des thématiques abordées à propos des interactions entre alpages et exploitations ; pour chaque thématique, nous précisons le domaine de préoccupation en jeu (usage agricole, gestion durable des végétations ou multiusage) et si la démarche adoptée se réfère à une approche systémique.

Nous avons effectué une revue bibliographique dans la base de données Scopus sur les articles traitant d'interactions entre alpages et exploitations agricoles. Tous les articles référencés dans la base de donnée jusqu'en janvier 2015 et traitant à la fois d'alpage (ou un synonyme) et d'exploitation agricole ont été sélectionnés (recherche effectuée : *TITLE-ABS-KEY(("alpine pasture" OR "mountain pasture" OR "highland pasture" OR "summer pasture" OR "summer range\*") AND farm\*)*). Nous n'avons pas restreint la recherche à une époque précise de publication des articles, car des articles anciens nous ont paru proposer des points de vue originaux.

Dans cette sélection de 202 articles, nous n'avons tout d'abord conservé que les articles traitant effectivement d'interaction entre alpages et exploitations agricoles, et les articles pour lesquels les spécificités de l'alpage avaient bien une importance (ont été exclus par exemple les

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

expérimentations sur des troupeaux se passant en alpage, mais sans analyse de l'effet de l'alpage). Nous avons restreint le champ géographique de la recherche à l'Europe, pour rester dans un contexte relativement homogène sur le plan climatique et socio-économique (climat tempéré, agriculture majoritairement familiale...). Nous avons exclu quelques articles redondants. Nous avons enfin ajouté quatre articles non référencés dans Scopus (trois articles récents et un article absent) que nous avons repérés en sollicitant l'avis d'un expert.

Au final nous avons retenu dans l'analyse 62 articles. Nous avons classé et analysé ces articles en fonction des thématiques abordées, en identifiant à chaque fois les objets analysés et la problématique associée, les fonctions des alpages et le type de pratiques auxquelles les auteurs s'intéressent, et en repérant les travaux mobilisant une approche systémique.

Nous avons classé les articles en fonction des spécificités de l'alpage qui sont prises en considération, de la thématique traitée et du type d'approche choisie (Tableau 1). Nous avons ainsi distingué trois domaines de préoccupation pour la gestion des alpages : l'usage agricole, la gestion à long-terme des végétations d'alpage, le multiusage (colonne 1 du tableau). Certains articles n'adoptent pas une démarche systémique, mais s'intéressent uniquement aux effets sur les alpages de caractéristiques des exploitations ou de pratiques sur les exploitations (colonne 3, en violet) ou analysent les effets réciproques (colonne 4, en orange). D'autres travaux adoptent une démarche systémique et considèrent que les alpages et les exploitations font partie d'un même système dont ils analysent le fonctionnement (colonne 5, en gris). Six articles abordent plusieurs thématiques et apparaissent deux fois dans l'analyse. Après une rapide présentation d'ensemble des thématiques abordées (répertoriées dans la colonne 2 du tableau), nous préciserons leur contenu.

Domaine de préoccupation pour la gestion des alpages	Thématique abordée dans l'article concernant les interactions alpages-exploitations	Pas d'approche systémique Alpages et exploitations sont considérés comme des entités autonomes, en interaction		(3) Alpage et exploitations sont considérés comme faisant partie d'un même système dont on analyse le fonctionnement
		(1) Analyse des effets de pratiques ou de caractéristiques des exploitations (conduite du troupeau, type de système d'élevage...) sur les alpages	(2) Analyse des effets de caractéristiques des alpages (végétation, mode de gestion, conditions environnementales...) sur les exploitations (revenus, résultats zootechniques...)	
Usage agricole au cours d'un cycle de production	Fonction alimentaire de l'alpage et performances techniques et économiques	May et al. 2008	Blättler et al. 2013 Mack et al. 2013 Penati et al. 2013 Zendri et al. 2013 Asheim et al. 2014	Senegacnik 1987 Trocon 1993 Cayla et al. 1998 Ruhland et al. 1999 Wettstein et al. 2010 Blanco et al. 2012 Imfeld-Mueller 2013 Mack et Flury 2014 Rigolot et al. 2014
	Effets de l'alpage sur la qualité des produits	Walkenhorst et al. 2005 Segato et al. 2007	Bonizzi et al. 2009 Gorlier et al. 2013 Romanzin et al. 2013	Lizet 1998 Chabrat et al. 2014
	gestion sanitaire du troupeau inalpé	Greber et al. 2010 Castro et al. 2011	Libiseller et al. 1986 Charbon et al. 1995 Rawlings et al. 1998 Allerberger et al. 2003 Artho et al. 2007 Nardelli et al. 2008 Corazzin et al. 2010 Comin et al. 2011 Kaufmann et al. 2012 Reber et al. 2012 Spergser et al. 2013 Alzieu et al. 2014	

<b>Gestion durable des végétations d'alpage</b>	Evolution des systèmes et des pratiques et conséquences pour les végétations d'alpage	Riedl 1984 Sitko et Troll 2008 Zan Lotric et al. 2012 Calabrese et al. 2014 Schulz 2015	Opperer 1995 Sturaro et al. 2013	Duclos et Mallen 1998 Zervas 1998 Grellier 2006 Camacho et al. 2008 Gellrich et al. 2008 Olea et Mateo-Tomás 2009 Villalba et al. 2010 von Felten et al. 2012
	Diversité et complémentarité des ressources			Penz 1984 Wehrli 1991 Montserrat et Villar 2007 Camacho et al. 2008 Eychenne 2008a Eychenne 2008b Fischer et al. 2012 Babai et Molnár 2014 Rigolot et al. 2014
<b>Multi-usage des alpages</b>	Relations entre acteurs dans l'utilisation des alpages		Ikenaga 2001 Corti et al. 2010	Lizet 1998 Forni 2000 Eychenne 2008a Eychenne 2008b Chabrat et al. 2014 Eychenne et Lazaro 2014

Tableau 1 : Thématiques abordées et approches retenues dans les articles analysés au cours d'une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations (Nettier et al. 2015).

Les couleurs dans le tableau font référence aux couleurs utilisées dans les 3 figures ci-dessous.



Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

### *2.2.2.2 Thématiques abordées dans la littérature et approches retenues*

Sur les 62 articles analysés (dont six rattachés à deux thématiques), un peu plus de la moitié (36) traitent de l'usage agricole des alpages au cours d'un cycle de production (Figure 15). Il ressort en outre de la Figure 16 que la moitié des articles (34 sur 62) ont adopté une approche systémique.

La Figure 15 montre que les articles traitant de l'usage agricole s'intéressent soit à la fonction alimentaire des alpages et aux performances techniques et/ou économiques associées (15 articles), soit à la qualité des produits issus de l'alpage (7 articles), soit à la gestion sanitaire des troupeaux inalpés (14 articles). Très logiquement, dans ces travaux on trouve surtout des approches expérimentales, avec une analyse de l'effet de quelques facteurs bien identifiés. On trouve relativement peu d'approches systémiques en comparaison des autres thématiques (Figure 16), sauf pour les travaux s'intéressant aux fonctions alimentaires des alpages, où l'utilisation des ressources d'alpage est, dans certains cas, mise en regard de la conduite d'ensemble du troupeau et repositionnée dans un cycle complet de production. On note que les travaux portant sur la gestion sanitaire des troupeaux n'adoptent jamais d'approche systémique. Cela traduit un faible investissement de cette thématique avec des approches à l'échelle de l'exploitation agricole.

Les enjeux de gestion durable des végétations d'alpages sont traités dans 24 articles sur 62 (soit 39%) (Figure 15). On trouve d'abord 15 articles qui s'interrogent sur les conséquences pour les végétations d'alpage de l'évolution des systèmes d'élevage et parfois des pratiques. Le plus souvent (8 cas sur 15) des approches systémiques sont mobilisées, qui permettent de comprendre les logiques de gestion et de dépasser de simples approches statistiques de l'évolution des structures agricoles. Neuf articles s'intéressent à la diversité et à la complémentarité des ressources mobilisées pour l'alimentation des troupeaux, sur et en dehors de l'alpage. Par nature ils adoptent des démarches systémiques. Le nombre d'articles s'intéressant à la gestion durable des végétations d'alpage peut paraître relativement faible au regard des nombreux travaux en écologie portant sur le sujet. Cela souligne que la plupart de ces travaux restent à une échelle parcellaire et ne font pas le lien entre les pratiques sur l'alpage et le fonctionnement des exploitations. Ils ont donc été exclus de notre panel d'articles.

Enfin, nous n'avons trouvé que 8 articles abordant la question des relations entre acteurs autour de l'utilisation des alpages. Les approches systémiques sont privilégiées dans cette thématique, ce qui permet de s'intéresser, à l'échelle de l'exploitation, aux conséquences sur l'alpage des relations entre les acteurs. Là aussi de nombreux travaux existent sur le sujet, mais qui ne traitent pas explicitement des conséquences à l'échelle des exploitations des relations entre acteurs, et que nous n'avons donc pas retenus dans notre recherche.

Si l'on porte un regard chronologique sur les publications étudiées (Figure 17), on note une augmentation progressive au cours du temps du nombre de publications (qui s'explique peut-être par un meilleur référencement des publications récentes dans la base de données Scopus), à l'exception de la période 2001-2005 marquée par un creux et l'absence de publications portant sur la gestion durable des végétations d'alpage et sur la fonction alimentaire des alpages. On note également que la thématique des relations entre acteurs sur l'alpage n'apparaît qu'à la fin des années 1990, comme celle de l'effet des alpages sur la qualité des produits.

Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

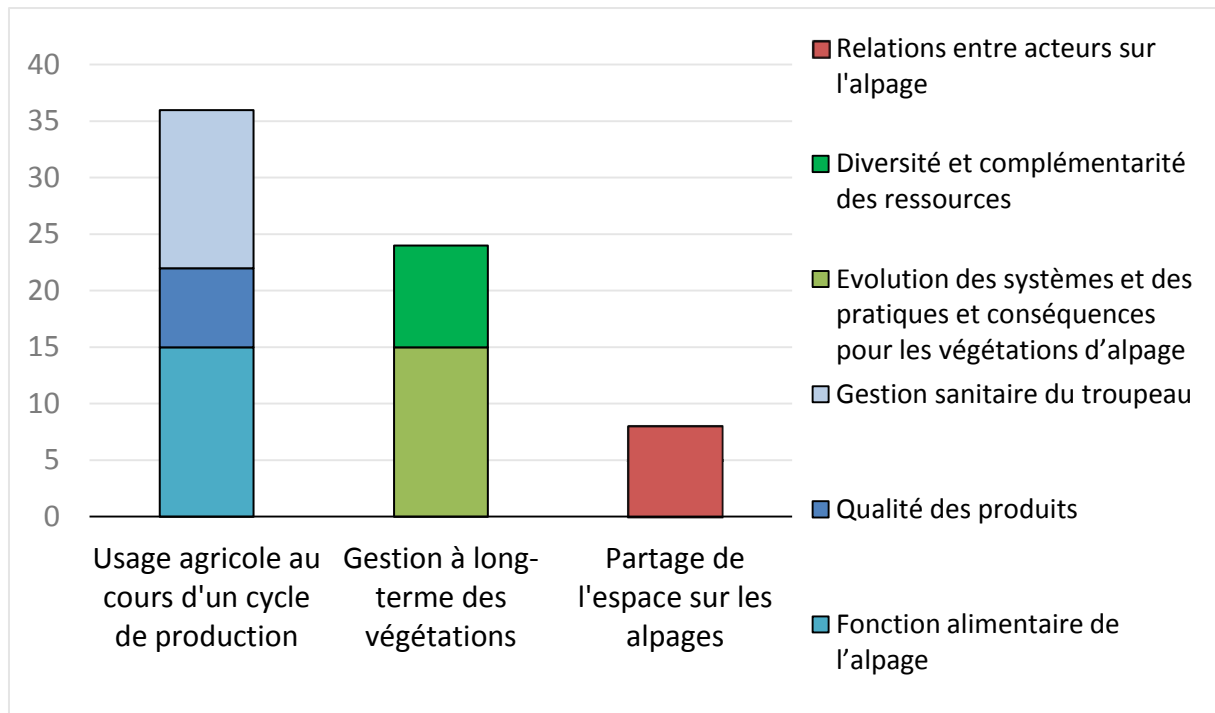


Figure 15 : Les articulations alpages-exploitations dans les articles sélectionnés au cours d'une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations : nombre d'articles identifiés pour chaque domaine de préoccupation et thématique étudiés (Nettier et al. 2015).

N.B. : six des 62 articles apparaissent dans deux thématiques

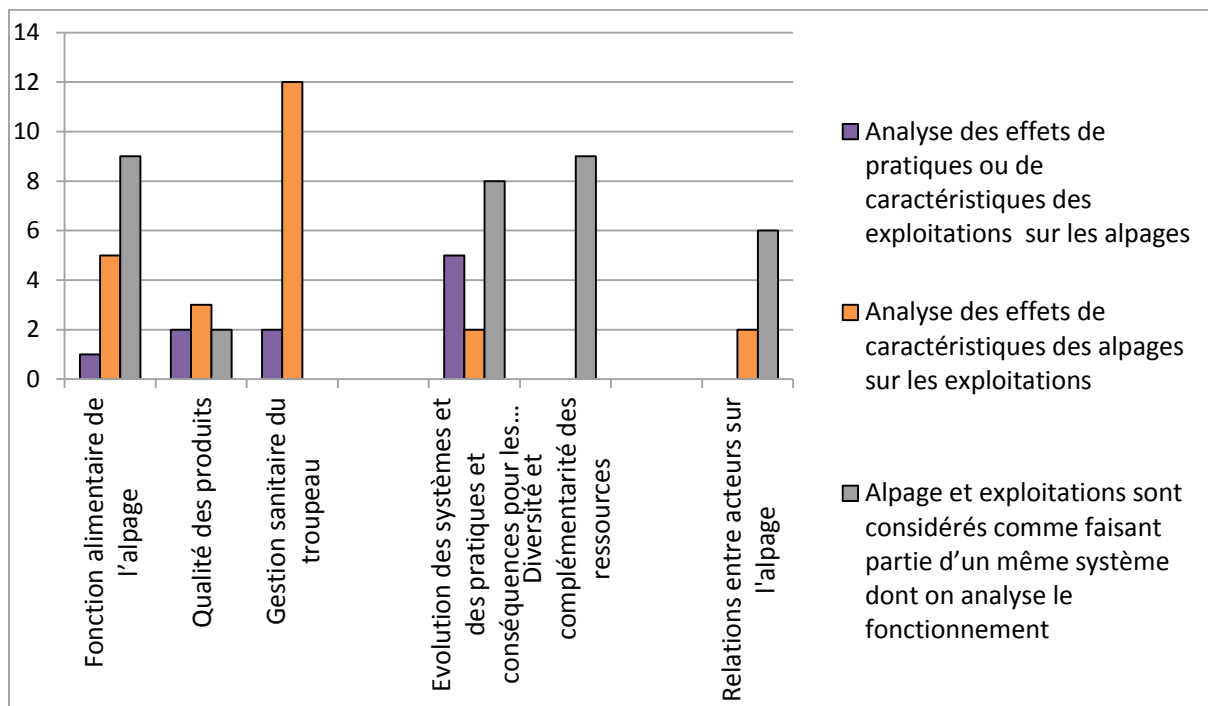


Figure 16 : Les approches choisies dans les articles analysés au cours d'une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations : nombre d'articles identifiés selon les thématiques abordées (Nettier et al. 2015).

N.B. : six des 62 articles apparaissent dans deux thématiques

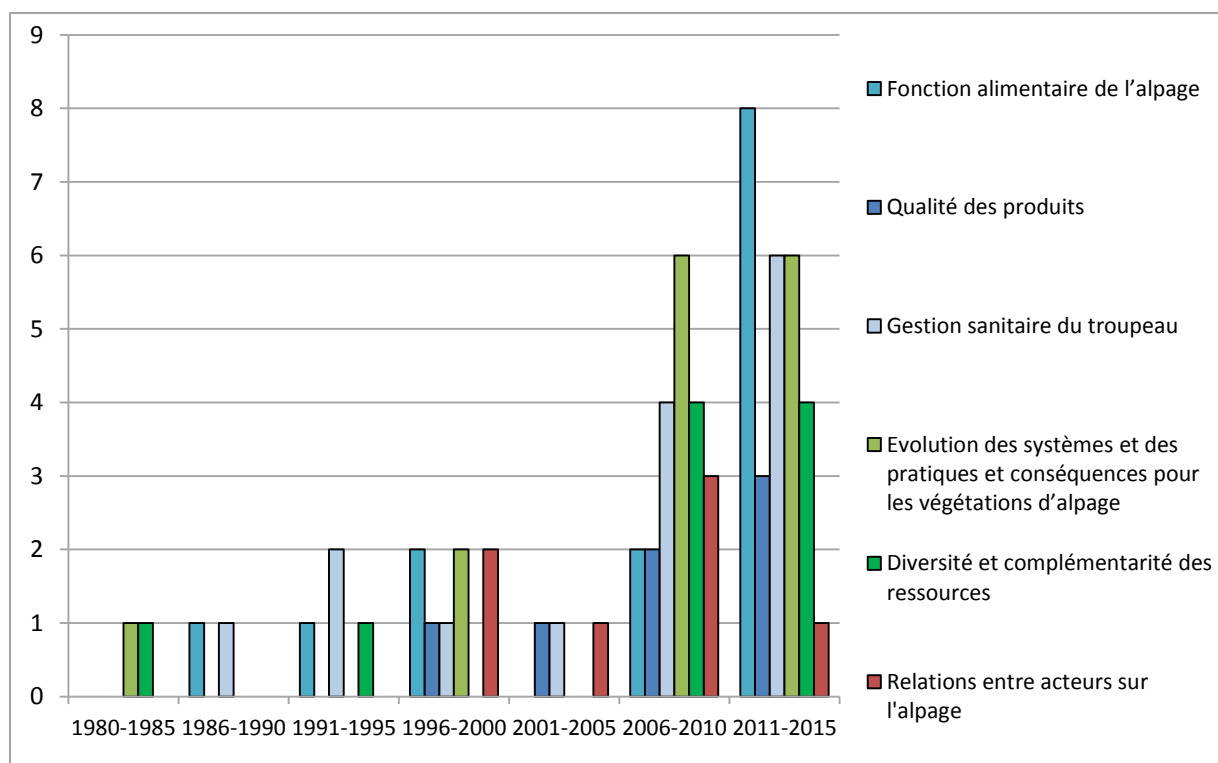


Figure 17 : Evolution des thématiques abordées au cours du temps dans les articles analysés au cours d'une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations (Nettier et al. 2015).

N.B. : six des 62 articles apparaissent dans deux thématiques

### 2.2.2.3 Articulation alpages-exploitations vis-à-vis d'un usage agricole au cours d'un cycle de production

#### 2.2.2.3.1 Fonction alimentaire de l'alpage

Une première série d'articles considère les alpages pour leur fonction alimentaire et analyse l'intérêt économique d'estiver des animaux pour une exploitation agricole (Blättler et al. 2013, Mack et al. 2013, Zendri et al. 2013, Asheim et al. 2014). Dans ces différents travaux, alpages et exploitations sont considérés comme des entités relativement autonomes, et l'on ne s'intéresse pas à l'articulation entre les deux. D'autres travaux au contraire étudient les performances techniques de systèmes qui intègrent alpages et exploitations, en analysant les performances zootechniques d'animaux sur l'ensemble de leur période de croissance, pour mettre en évidence l'intérêt de l'alpage pour rattraper une période de sous-alimentation sur l'exploitation (Blanco et al. 2012), ou à l'inverse pour montrer la possibilité de rattraper en bâtiment une faible croissance sur l'alpage (Ruhland et al. 1999). Trocon (1993) montre que l'alimentation hivernale des génisses joue sur la productivité laitière en alpage et aussi la durée de vie productive des vaches laitières. D'autres auteurs comparent l'intérêt de l'estive pour différents types de systèmes d'élevage (Wettstein *et al* 2010) ou cherchent à identifier les fonctions de l'estive dans les systèmes fourragers (diversifier les cycles de production, sécuriser les stocks...) (Cayla et al. 1998). Les alpages apparaissent alors importants pour atténuer l'effet des aléas climatiques (sécheresse en particulier) sur l'alimentation des troupeaux (Rigolot et al. 2014). Imfeld-Mueller (2013) propose une réflexion originale sur le choix du type d'animaux à estiver pour une exploitation : à partir d'une revue bibliographique, elle remet en cause l'intérêt technico-économique de monter les vaches en alpage (où elles souffrent d'un déficit énergétique)

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

plutôt que les génisses (capables de rattraper un retard de croissance pris sur l'alpage et qui ont une meilleure productivité en première lactation si elles ont estivé). Enfin May et al. (2008) suggèrent de réfléchir aux types d'animaux à estiver pour réduire le risque sur les alpages exposés à la prédation. Ces différents travaux conduisent leurs auteurs respectifs à s'intéresser aux stratégies de gestion du troupeau (choix du type et mode de production) et à la construction du calendrier de pâturage, mais sans analyser très précisément la gestion des ressources en alpage ou sur les exploitations.

Certains auteurs s'interrogent sur l'intérêt pour une exploitation d'estiver selon l'évolution du contexte socio-économique, soit au travers d'une analyse historique de l'évolution des systèmes d'élevage et des combinaisons d'activités des ménages en Yougoslavie (Senegacnik 1987), soit au travers d'une démarche prospective liée à la nouvelle réforme de la Politique Agricole Commune

Enfin, Penati et al. (2013) réalisent une analyse multicritères des performances environnementales d'exploitations laitières utilisatrices d'alpages dans les Alpes Italiennes (analyse de cycle de vie). Ils concluent qu'un accroissement de la productivité par vache et un accroissement de l'autonomie alimentaire (notamment par une utilisation accrue des alpages) permettraient une amélioration des performances environnementales et un maintien de la rentabilité des exploitations.

### 2.2.2.3.2 Effets de l'alpage sur la qualité des produits

Sur un autre volet technique on trouve des travaux qui s'intéressent à l'effet de la flore des alpages laitiers sur les caractéristiques organoleptiques ou chimiques du lait ou des fromages dans des contextes de productions fromagères sous signes officiels de qualité. Les liens entre alpages et exploitations sont alors assez ténus : Walkenhorst et al. (2005) et Segato et al. (2007) analysent l'effet de certaines pratiques des exploitations (taux de renouvellement, stade de lactation, sélection des vaches inalpées...) sur la qualité du lait en alpage. Sans réellement adopter une démarche systémique à l'échelle de l'exploitation agricole, Bonizzi et al. (2009) et Gorlier et al. (2013) suivent l'évolution de la qualité du lait au cours d'une saison, selon l'altitude du pâturage et la phénologie de la végétation ; (Romanzin et al. 2013) comparent la qualité organoleptique et biochimique de fromages produits à partir de vaches au pâturage en alpage ou en bâtiment. Dans ces différents cas, l'alpage n'est pas tellement vu pour la quantité de ressources fourragères qu'il représente, mais plus comme ayant une fonction pour influencer la qualité des produits animaux. L'enjeu étudié n'est pas comment gérer cette ressource sur le long terme, mais tout au plus de caler le pâturage sur la phénologie des végétations et de caler les conduites du troupeau pour valoriser au mieux cette fonction (Mack et Flury 2014).

Parfois ce n'est pas une qualité mesurable des produits d'alpage qui est mise en avant, mais plutôt l'image positive que les alpages apportent aux produits (Lizet 1998). Chabrat et al. (2014) présentent néanmoins un contre-exemple avec le cas de la viande AOP « Fin gras du Mézenc », dont le cahier des charges est basé sur la complémentarité entre une ressource pastorale et du fourrage récolté, et où les éleveurs évitent d'utiliser l'image de l'alpage pour démarquer leur produit. Ils vont jusqu'à rejeter la notion d'alpage pour décrire leurs pâturages, *i)* parce que leurs prés de fauche et leurs habitations sont situés pratiquement à la même altitude que les alpages (estives) pâturés et qu'ils revendiquent ainsi des conditions de vie rudes toute l'année, *ii)* pour démarquer leur produit d'autres produits AOP en misant surtout sur l'image d'un foin de qualité, mais aussi *iii)* pour que leurs alpages ne soient pas identifiés en tant que tels et restent ainsi protégés de la convoitise de transhumants extérieurs au territoire.

Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

### 2.2.2.3.3 Gestion sanitaire du troupeau inalpé

Différents travaux considèrent l'alpage du point de vue de la fonction ou du risque sanitaire qu'il peut présenter pour les troupeaux : effet de l'alternance bâtiment/alpage sur le stress et le comportement des animaux (Corazzin et al. 2010, Castro et al. 2011, Comin et al. 2011), effet du mélange des troupeaux (Charbon et al. 1995, Allerberger et al. 2003, Artho et al. 2007, Nardelli et al. 2008, Sperser et al. 2013) et du contact faune sauvage/faune domestique (Reber et al. 2012) dans la propagation des infections et l'apparition de souches résistantes, ou effet de certaines caractéristiques des alpages et des exploitations sur la santé des troupeaux (type de machines à traire utilisées, compétence des bergers...) (Greber et al. 2010). D'autres auteurs évaluent l'intérêt (qui s'avère variable selon les maladies) de l'alpage pour mettre les troupeaux hors d'atteinte de certaines contaminations (Libiseller et al. 1986, Rawlings et al. 1998, Kaufmann et al. 2012, Alzieu et al. 2014).

### 2.2.2.4 Articulation alpages-exploitations pour une gestion durable des végétations d'alpage

#### 2.2.2.4.1 Evolution des systèmes d'élevage et des pratiques, et conséquences sur les végétations d'alpage

La question des conséquences pour les végétations d'alpages de l'évolution des systèmes d'élevage et des pratiques agricoles est un thème largement abordé, principalement en lien avec les enjeux d'enrichissement. Sans analyser très précisément le fonctionnement des systèmes d'élevage, certains auteurs soulignent l'importance de maintenir une activité agricole. Ainsi Sitko et Troll (2008) soulignent le lien entre dynamisme des exploitations et maintien d'espaces ouverts et (Grellier 2006) comme Olea et Mateo-Tomás (2009) le rôle des systèmes, des pratiques et savoir-faire traditionnels dans la préservation de la biodiversité. D'autres auteurs observent les effets négatifs des évolutions des systèmes (et indirectement des pratiques) sur la biodiversité, le paysage, l'érosion des sols. Ainsi (Riedl 1984) associe l'augmentation de l'enrichissement et des phénomènes d'érosion sur les alpages autrichiens avec l'évolution des systèmes utilisateurs d'alpages (autrefois laitiers, avec un usage intensif des alpages ; à présent allaitants et très extensifs). Sturaro et al. (2013) comparent différents types de systèmes dans le Trentin et montrent que les systèmes traditionnels permettent un meilleur entretien des alpages, tandis que Zervas (1998) constate que la dépopulation de certaines régions en Grèce a conduit à une dégradation des milieux, souvent liée à un sous-pâturage, mais parfois aussi à du surpâturage localisé qui s'explique par une gestion moins fine de l'adéquation entre pression de pâturage et potentialités des végétations sur les alpages. Dans ces travaux les alpages sont considérés avant tout par rapport à leurs fonctions environnementales (intérêt paysager, réservoir de biodiversité...).

D'autres auteurs analysent plus en détail le fonctionnement des systèmes et s'intéressent à l'évolution des végétations aussi en tant que ressource pastorale à préserver. Ils s'intéressent en particulier à la gestion du troupeau : Villalba et al. (2010) montrent, *via* un modèle de simulation en bovin allaitants, que différentes stratégies de gestion du troupeau (et notamment les objectifs fixés en nombre de veaux par vache et par an) conduisent indirectement à d'importantes différences dans l'utilisation des alpages, et Zan Lotric et al. (2012) soulignent l'intérêt du maintien des races rustiques pour une bonne valorisation et gestion des végétations d'alpage.

En lien avec l'évolution des systèmes d'élevage et des pratiques et leurs conséquences pour les végétations d'alpage, Opperer (1995) montre l'effet bénéfique des programmes agri-

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

environnementaux mis en place en Bavière pour garantir durablement l'utilisation des alpages et le maintien de pratiques extensives. Schulz (2015) est plus critique vis-à-vis des mesures agri-environnementales sur les alpages suisses. Lui aussi constate l'évolution des systèmes d'élevage : de moins en moins d'animaux sont disponibles sur les exploitations pour monter en alpage, ce qui conduit à des difficultés pour atteindre les seuils minimum de chargement exigés dans les mesures agri-environnementales, avec pour conséquence un recentrage sur les meilleurs alpages. L'auteur constate l'incapacité des mesures à contrer ce phénomène. Il propose notamment de travailler à des plans de gestion plus précis et de raisonner à une échelle régionale les priorités dans la répartition des charges pastorales. Il souligne aussi l'incohérence de programmes agri-environnementaux trop centrés sur le risque de surpâturage quand l'enjeu majeur est bien le sous-pâturage.

Pour parvenir à saisir la cohérence des orientations stratégiques des exploitations et comprendre ainsi les raisons des pratiques sur les alpages, plusieurs travaux entrent plus en détail dans le fonctionnement individuel des exploitations et des alpages par le recours à des enquêtes auprès d'éleveurs et de bergers. De cette façon, (Gellrich et al. 2008) identifient les raisons pour lesquelles certains alpages s'enfrichent ou restent ouverts, alors que le modèle de simulation qu'ils avaient construit à partir d'analyses statistiques prévoyait l'inverse. Si des facteurs techniques et économiques sont à l'œuvre, d'autres considérations apparaissent déterminantes. Les enjeux de charges de travail et de contraintes d'organisation du travail (Gellrich et al. 2008, Camacho et al. 2008), l'attachement aux traditions liées à l'alpage (von Felten et al. 2012) ou le développement de la pratique d'une agriculture « de loisirs » (Gellrich et al. 2008) permettent de comprendre l'effort que vont accorder les éleveurs aux pratiques d'entretien des végétations. Quant aux bergers salariés, des motivations non financières peuvent également largement motiver leur choix de rester plusieurs années sur un alpage (ce qui s'avère être une garantie de pratiques durables), notamment la qualité des relations avec leurs employeurs (Calabrese et al. 2014). Enfin (Duclos et Mallen 1998) proposent une lecture sociologique plus globale des transformations des systèmes d'élevage pastoraux pour expliquer la régression des paysages pastoraux et de la biodiversité : évolution des races, des pratiques (transhumance en camion...), spécialisation technique des éleveurs et altération des savoir-faire pastoraux traditionnels.

### 2.2.2.4.2 Diversité et complémentarité des ressources

Plusieurs auteurs s'intéressent à la diversité et à la complémentarité des différentes végétations mobilisées par les troupeaux au cours d'une année vis-à-vis d'un objectif de préservation des végétations d'alpage sur le long-terme. Les approches systémiques sont alors nécessaires pour comprendre les mécanismes en jeu. Les différences de saisonnalité, de productivité et de qualité des végétations mobilisées par les exploitations sont en effet essentielles pour assurer l'alimentation de troupeaux dont les besoins peuvent varier tout au long de l'année. Certains auteurs soulignent que pour préserver les végétations d'alpage, il est important d'agir aussi sur l'accès et le maintien des végétations aux altitudes inférieures, face au risque de fermeture notamment dans certains espaces pastoraux (Montserrat et Villar 2007). Il est également important de veiller à maintenir, par une gestion différenciée, la diversité des végétations et des fonctions qui leur sont associées (Babai et Molnár 2014).

Au-delà des caractéristiques des végétations mobilisées, l'organisation spatiale des exploitations agricoles, les conditions d'accès aux différents espaces agricoles et pastoraux, le morcellement, la pente pourront également conditionner les fonctions attribuées aux différents espaces pastoraux et

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

notamment aux alpages (Penz 1984) et les pratiques sur ces espaces (Camacho et al. 2008). Les alpages, souvent situés à distance des exploitations et bénéficiant de conditions climatiques différentes, jouent un rôle important pour atténuer l'effet de certains aléas climatiques, comme les sécheresses. Et des règles d'usage visant à réguler les variations d'effectifs d'une année sur l'autre permettent de garantir une gestion durable des végétations face à ces variations qui pourraient pousser à utiliser plus ou moins les alpages selon les aléas climatiques (Rigolot et al. 2014). Ils apparaissent aussi comme des espaces indispensables pour les exploitations dans des territoires montagnards très contraints où l'essentiel des surfaces « en bas » doit être consacré à la constitution de stocks hivernaux, et où la main-d'œuvre estivale doit être libérée pour la réalisation de ces stocks (ce que permettent les alpages si la garde du troupeau en alpage est déléguée) (Wehrli 1991). En revanche, sur des territoires moins contraints, la disponibilité de surfaces « en bas » est alors un facteur explicatif dans le choix d'utiliser ou non des alpages (Eychenne 2008a, Fischer et al. 2012).

Enfin là encore des considérations sociologiques permettent d'éclairer la façon dont les éleveurs construisent la cohérence d'ensemble de leur système fourrager en mobilisant la diversité des végétations, et la place qu'ils attribuent aux alpages : Eychenne (2008a, 2008b) croise ainsi une dimension sociologique avec une dimension technique au cours d'une étude de cas dans les Pyrénées, permettant de mieux comprendre la vision qu'ont les agriculteurs de leurs alpages (estives) et de caractériser leurs fonctions au sein des systèmes fourragers. Il apparaît alors que pour certains éleveurs, les alpages ne sont pas uniquement une ressource disponible en été, mais aussi que cette ressource est centrale dans la façon dont ils conçoivent leur métier et leur exploitation, et que les systèmes fourragers sont construits et gérés de manière à valoriser au mieux cette ressource. A l'inverse, pour d'autres éleveurs, les mêmes alpages peuvent ne représenter qu'une ressource d'appoint, pour une partie bien spécifique du troupeau et s'inscrivent dans un système fourrager qui ne sera pas construit autour de cette ressource.

### *2.2.2.5 Articulation alpages-exploitations et multiusage de l'alpage*

Les alpages sont des espaces multifonctionnels où les activités pastorales côtoient d'autres activités, touristiques en particulier. Si la fréquentation touristique peut représenter une contrainte de gestion au quotidien, le multiusage des alpages est le plus souvent considéré comme une opportunité qui permet aux agriculteurs de diversifier leurs activités (tourisme) (Corti et al. 2010), et qui confère une image positive aux productions agricoles. Elle renforce la nécessité de maintenir une activité pastorale entretenant les paysages (Ikenaga 2001). Indirectement cela participe à la création d'une identité collective pour les éleveurs (Lizet 1998).

A partir de l'exemple des alpages pyrénéens, (Eychenne et Lazaro 2014) décrivent cependant le mouvement récent de glissement de l'alpage « bien commun » à l'alpage « bien collectif », c'est-à-dire appartenant aussi aux autres usagers par ses autres fonctions, et expliquent en quoi cela devient une source de vulnérabilité pour les éleveurs, qui sont amenés à partager matériellement et symboliquement un espace qu'ils se sont fortement appropriés et sur lequel leur légitimité peut ainsi être remise en cause.

Mais les alpages sont aussi un lieu où se rencontrent les éleveurs partageant un même alpage. Quelques travaux portent sur les instances et les règles de gestion collective des espaces pastoraux. Celles-ci peuvent être anciennes (Forni 2000). Ces règles peuvent donner une priorité d'accès à certains éleveurs par rapport à d'autres (par exemple les éleveurs locaux versus les éleveurs



Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

transhumants) et sécuriser ainsi l'accès à l'alpage sur le long-terme pour ceux qui en sont le plus dépendants. Elles peuvent donner à certains éleveurs le pouvoir de décision sur l'alpage même lorsqu'ils sont en minorité, et alors que cela a des répercussions importantes sur l'ensemble des exploitations, comme par exemple le choix de la race des mâles reproducteurs mis en alpage (Eycheune 2008a, 2008b). Le sujet de la concurrence pour l'accès aux alpages reste un sujet peu abordé ; il transparait néanmoins dans quelques articles (Chabrat et al. 2014).

### **2.2.3 Bilan : fonctions des alpages et pratiques étudiées, à l'interaction entre alpages et exploitations**

En guise de bilan, nous récapitulons la grande diversité des fonctions qui sont attendues des alpages et que la revue bibliographique nous a permis d'identifier. Les travaux analysés peuvent étudier la diversité et la complémentarité des ressources sur et en dehors de l'alpage, en lien avec la conduite zootechnique (santé, calendrier, type de production, qualité des produits). Des analyses des fonctions alimentaires attribuées aux alpages permettent alors de déterminer leur place dans les systèmes d'alimentation. Le pas de temps de la gestion considérée est soit l'année, soit la carrière de l'animal, et l'on s'intéresse à la fois aux pratiques liées à l'organisation du pâturage sur ce pas de temps et aux choix à plus long-terme de conduite zootechnique (critères de sélection génétique des animaux, types d'animaux produits, périodes de reproduction...).

Cependant les fonctions de l'alpage vis-à-vis des exploitations ne sont pas uniquement liées à la constitution d'une ration pour les troupeaux : elles peuvent également être sanitaires ou conférer une certaine qualité à la production des exploitations (image, qualité physicochimique ou organoleptique des produits) ; elles peuvent permettre de réduire les charges de travail sur les exploitations. La question des charges et de l'organisation du travail est néanmoins abordée uniquement comme un facteur explicatif des pratiques, mais ne constitue pas une problématique en soi. L'alpage présente enfin quelques fonctions assez originales : il permet de capter des subventions spécifiques, il peut également faire bénéficier les exploitations d'une image positive et permet d'obtenir de meilleures performances environnementales à l'échelle du système d'exploitation.

L'utilisation que font les exploitations des alpages ne se réduit ainsi pas à une période d'utilisation par un effectif d'animaux qui consomment une ressource en vue d'une production animale ; c'est aussi une façon d'articuler la mobilisation de cette ressource avec d'autres ressources, en ayant comme objectif de remplir différentes fonctions (alimentaires, sanitaires, vecteur d'image pour les produits...) au cours d'un cycle de production animale. Ces fonctions sont déterminées par les caractéristiques de toutes les végétations mobilisées, elles sont aussi liées aux contraintes d'organisation spatiale, au contexte socio-économique ou politique, et enfin aux attentes que peuvent avoir les éleveurs, à leur savoir-faire et à la vision qu'ils se font du rôle des alpages, qui peuvent recouvrir une dimension symbolique forte.

Les approches à l'échelle des systèmes d'élevage (Gibon et al. 1999, Dedieu et al. 2008b), en combinant dimensions humaines et biotechniques, apportent un plus pour comprendre le rôle des alpages dans toutes ces dimensions et analyser la façon dont ce rôle évolue en même temps que les systèmes se transforment (effectifs, calendriers de production, niveaux de besoin des animaux...), en relation avec le contexte socio-économique, mais aussi avec l'évolution des attentes des éleveurs et de leurs familles en termes de revenus et de qualité de vie. Ces approches permettent aussi de



## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

décrypter les relations entre les éleveurs, les bergers et les autres acteurs sur l'alpage, et d'analyser leurs conséquences sur la gestion pastorale.

### 2.2.4 Proposition d'un concept : le système alpage-exploitations

Adopter une approche systémique consiste d'abord à définir les contours du système que l'on va étudier (Darnhofer et al. 2012). Le plus souvent les approches à l'échelle de l'exploitation agricole que nous avons étudiées dans cette revue bibliographique considèrent l'alpage comme un espace de l'exploitation agricole et ne prennent en compte qu'une partie de ses spécificités (caractéristiques des végétations, ou enjeux environnementaux, ou encore multiusage...) et des niveaux d'interactions alpages-exploitations. Par ailleurs les interactions entre exploitations utilisatrices d'un même alpage sont très rarement considérées dans les approches systémiques, sauf par Eychenne (2008a, 2008b) et Rigolot et al. (2014).

Vis-à-vis d'une problématique nécessitant de prendre en compte les différentes spécificités des alpages, mais pour laquelle les interactions entre alpages et exploitations doivent aussi être prises en considération, on peut s'intéresser à un système composé de l'alpage et des différentes exploitations qui l'utilisent, c'est-à-dire d'un système composé d'un sous-système « alpage » et d'un ou plusieurs sous-systèmes « exploitations », en interaction. L'analyse doit s'efforcer de bien intégrer les spécificités du sous-système alpage et de considérer le fonctionnement du/des sous-système(s) exploitation(s) de manière à comprendre les déterminants de l'utilisation de l'alpage. Nous proposons de nommer ce système le « système alpage-exploitations ». Il peut s'appliquer aux alpages collectifs et aux alpages individuels.

En centrant le regard sur l'alpage, ce système peut permettre un changement de perspective sur les différentes thématiques que nous avons identifiées au cours de la revue bibliographique (Figure 18), et plus généralement pour l'analyse du triptyque « Hommes-Troupeaux-Végétations/Ressources » (Gibon et al. 1999, Dedieu et al. 2008b).

- Ainsi concernant les « Hommes », les objectifs sur l'alpage deviennent centraux dans les objectifs de gestion pastorale (notamment les objectifs non agricoles) ; on pourra chercher à comprendre comment ils s'articulent avec les autres objectifs de la/des exploitation(s). Les relations entre éleveurs et bergers deviennent centrales dans le processus de décision. Du point de vue de l'organisation du travail, l'alpage n'est plus considéré comme une unité de gestion autonome (vision alpage), ou qui oblige à déléguer le travail ou spécialiser un travailleur sur une période bornée de l'année (vision exploitation agricole). On peut s'intéresser à la façon dont le travail sur l'alpage, avec ses spécificités (isolement, éloignement, tâches collectives comme le tri des animaux ou les corvées d'entretien), s'articule avec l'organisation du travail dans les exploitations (Madelrieux et al. 2009).
- Pour ce qui est des troupeaux, les approches à l'échelle de l'alpage considèrent qu'il faut « faire avec » le troupeau estivé (souvent constitué d'animaux aux besoins et aux comportements différents) et les objectifs attendus par les éleveurs. Les approches à l'échelle de l'exploitation agricole visent à atteindre un objectif zootechnique par l'articulation d'une diversité de ressources sur l'année (dont l'alpage) et d'une conduite zootechnique, donc à utiliser au mieux l'alpage dans le système. L'analyse du fonctionnement du système alpage-exploitations permet de se demander comment conduire au mieux le(s) troupeau(x) sur l'année et à long-terme pour valoriser les différentes

Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

ressources de l'alpage sur la saison et les gérer durablement. Elle permet aussi de faire porter l'éclairage sur les particularités de l'alpage pour la gestion sanitaire et la gestion de la reproduction, qui ont des conséquences sur tout le cycle de production animale.

- Enfin si l'on s'intéresse aux ressources, à la différence des approches au niveau de l'exploitation, l'analyse du fonctionnement du système alpage-exploitations permet de considérer la diversité des ressources internes à l'alpage et la façon dont elles s'articulent entre elles et avec les différentes ressources des exploitations au sein du système fourrager ; elle pointe aussi la question de la gestion du renouvellement de la ressource sur le long-terme (Fleury et al. 1996, Duru et Hubert 2003).

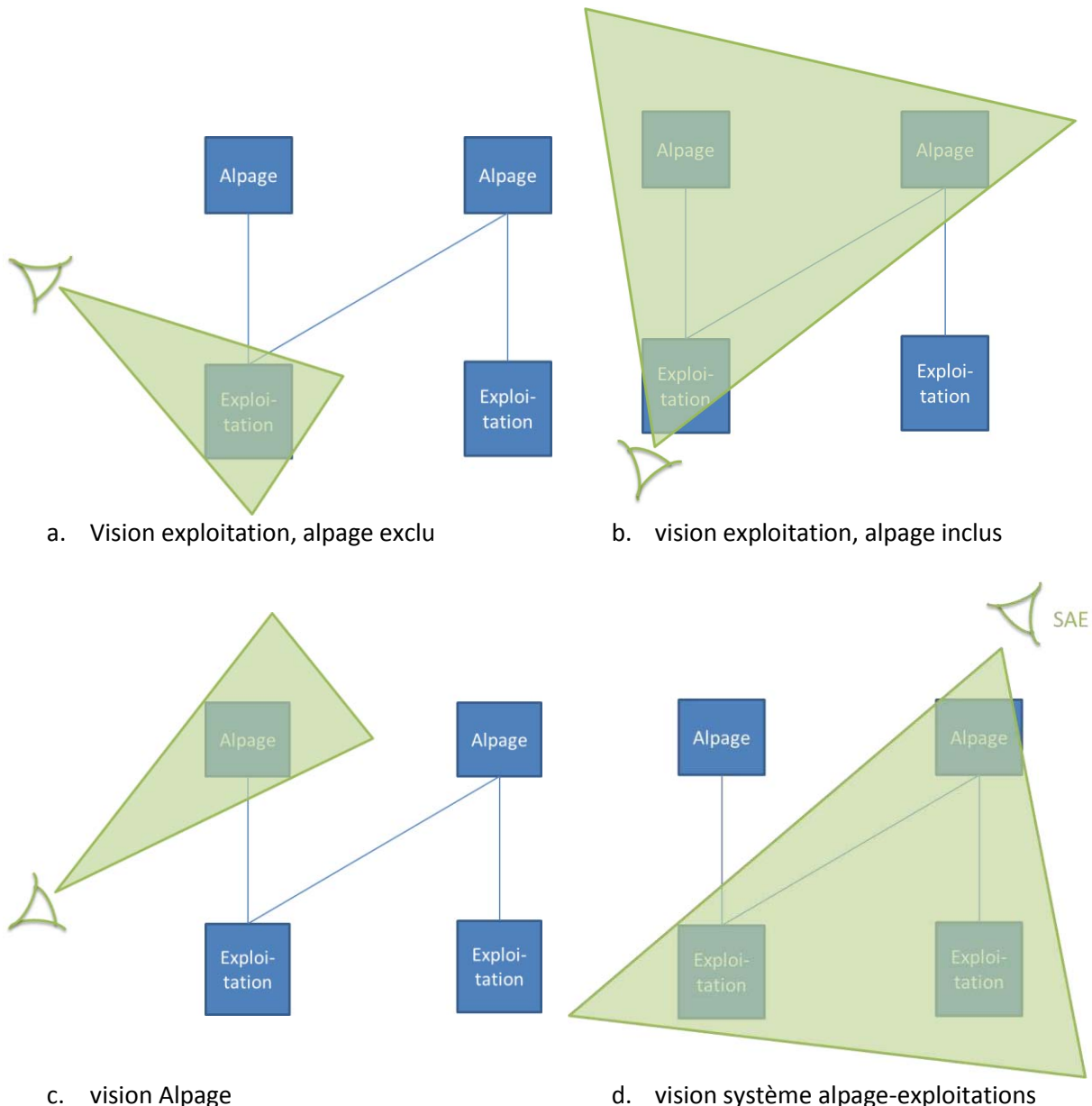


Figure 18 : changement de perspective permis par le système alpage-exploitations (d'après Nettier et al. 2015)

Dans le cas des alpages collectifs, le système alpage-exploitations permet de s'intéresser à l'articulation entre gestions individuelles des exploitations et gestion collective de l'alpage : coordination entre les éleveurs et avec les bergers pour l'organisation du travail (corvées...), conduite

Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

du troupeau (gestion sanitaire, conduite de la reproduction...), articulation d'une diversité des systèmes fourragers, parfois éloignés géographiquement; elle conduit à s'intéresser au fonctionnement des instances de gouvernance du collectif d'éleveurs (qui prennent en France la forme de groupements pastoraux dans la majorité des cas).

## **2.3 Acquisition et représentation des connaissances au cours de la modélisation**

Le travail de modélisation pose la question du mode d'acquisition des connaissances à modéliser, et celle de la représentation de ces connaissances (Varenne et Silberstein 2013). Ce travail de modélisation vise à fournir un cadre d'analyse mobilisable par les praticiens (techniciens pastoraux, gestionnaires d'espaces protégés notamment) pour analyser des situations concrètes. Dans cette optique, l'acquisition des connaissances, comme la représentation des connaissances, doit donc viser à faciliter l'appropriation par ceux-ci du modèle. La remobilisation du modèle pour la construction d'outils d'analyse et de conseil doit pouvoir se faire facilement.

Lorsque le fonctionnement d'un système est complexe et/ou mal connu d'un point de vue scientifique, ce qui est fréquemment le cas pour les systèmes qui ont une forte dimension écologique comme les alpages, recourir aux savoirs techniques et empiriques, en complément des savoirs scientifiques, aide à produire des connaissances opératoires (Walker et Salt 2012). Cela permet de faire avec les incertitudes et de les gérer collectivement (ComMod 2005), et plus rapidement que dans une démarche scientifique plus « classique ».

### **2.3.1 Acquisition des connaissances à modéliser**

Ce modèle s'appuie donc sur les représentations qu'ont les praticiens du fonctionnement d'un alpage, et le dépasse pour intégrer les implications de l'adaptation au changement climatique. Différentes sources sont à disposition pour capter ces représentations, les expliciter : entretiens, étude de documents, étude des pratiques... (Girard 2006a). Nous adoptons une démarche de modélisation participative. Ce type de démarche peut faciliter l'appropriation du modèle; elle permet la mise en débat de savoirs contradictoires, l'enrichissement de point de vue complémentaires (Etienne et al. 2011). Nous articulons la modélisation participative avec l'analyse d'autres sources de données, pour enrichir progressivement le modèle au cours d'un processus itératif. Dans ce processus les phases de modélisation participatives constituent les éléments centraux au cours desquels les connaissances peuvent être synthétisées (Barreteau et al. 2010). Cette démarche itérative est également essentielle pour affiner progressivement le modèle et dégager les éléments principaux, étant entendu que plus un modèle est simple, plus il est susceptible d'avoir une grande généricité (Bommel 2009) et plus il est facilement appropriable (Walker et Salt 2012).

Dans ces démarches de modélisation participative, le chercheur est souvent réduit à un rôle d'animateur et d'apport de méthodologie. A l'instar de Lardon (2005), nous pensons au contraire que le chercheur peut aussi apporter des connaissances et que les connaissances scientifiques, techniques et empiriques sont complémentaires.

Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

### 2.3.2 Représentation des connaissances

#### 2.3.2.1 Structuration du modèle

La question de la représentation des connaissances doit elle aussi intégrer l'enjeu de l'appropriation du modèle, en plus de présenter un caractère opératoire pour analyser le fonctionnement de cas réels d'alpages.

Nous reprenons la structuration proposée par le cadre conceptuel des approches « systèmes d'élevage » (Gibon et al. 1999, Dedieu et al. 2008b), et nous structurons notre modèle selon les deux sous-systèmes définis dans ces approches : le sous-système biophysique et le sous-système de gestion. Cette dichotomie est assez opératoire et fréquente dans les démarches de modélisation (exemple : Jouven et Baumont 2008), et on peut en retrouver des analogies dans la modélisation de systèmes qui ne sont pas des systèmes d'élevage ou des exploitations agricoles. Bommel (2009) parle de « dynamiques naturelles » et de « dynamiques économiques et sociales », pour des modélisations portant plutôt sur des échelles territoriales ; dans les travaux sur les socio-écosystèmes, on peut également considérer dans certains cas, comme le fait Tittonell (2014) pour des systèmes agricoles, que le système biophysique correspond à la dimension écologique du socio-écosystème, et que le système de gestion représente la dimension sociale du système.

Ce découpage du modèle nous permet aussi de faire correspondre différentes interrogations à différentes parties du modèle : pour interroger la question de l'impact du climat sur le système, on se tournera prioritairement vers la dimension biophysique du modèle ; pour interroger les capacités des éleveurs et bergers à adapter leurs pratiques on interrogera plutôt le modèle de gestion.

La problématique du changement climatique renvoie aussi à deux pas de temps différents : le temps de la campagne annuelle et le temps long, avec des problèmes assez différents à gérer. Nous structurons donc également la modélisation suivant ces deux pas de temps.

Le modèle que nous construisons est un modèle conceptuel ; l'objectif est de représenter des connaissances suffisamment formalisées pour permettre d'interroger des cas d'alpages dans une approche qualitative, compréhensive. Le modèle a une vocation explicative, et pas prédictive ; ce n'est pas un modèle de simulation. Différents formalismes existent pour représenter des connaissances ou le fonctionnement de systèmes d'élevage (Girard 2006a, Gouttenoire et al. 2011). Parmi ces formalismes nous en retenons deux en particulier qui paraissent adaptés à nos objectifs pour formaliser le fonctionnement du système biotechnique.

#### 2.3.2.2 Une carte causale pour représenter le modèle biophysique à l'échelle de la campagne

Le formalisme des cartes cognitives consiste en « une représentation graphique de la représentation mentale que le chercheur se fait d'un ensemble de représentations discursives énoncées par un sujet à partir de ses propres représentations cognitives d'un objet particulier » (Cossette 2003). Dans cette représentation, des « liens » sont établis sous forme de schémas (boîtes et flèches) entre des « concepts », ou entre des « variables ». Les cartes causales sont une forme particulière de cartes cognitives qui cherchent à établir des liens de cause à effets entre concepts ou entre variables. La grande majorité des cartes cognitives sont des cartes causales mais les liens peuvent aussi être des liens de proximité, de ressemblance... Cossette (2003) retient le terme générique de liens « d'influence ». Ces liens peuvent être simples (tel concept influence tel autre) mais ils peuvent aussi

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

être plus complexes : l'influence peut être conditionnelle, réversible ou non réversible, non monotone (agir d'une manière pour une plage de valeur d'un paramètre, d'une autre manière pour une autre plage de valeurs). Des précisions quantitatives ou qualitatives, comme le sens de l'influence, peuvent également être précisées (voir l'exemple de carte causale en Figure 19).

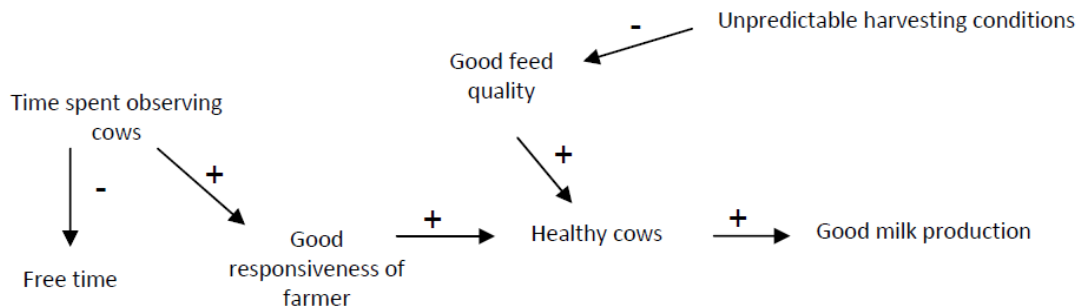


Figure 19 : Extrait d'une carte causale établie avec un groupe d'agriculteurs impliqués dans une démarche de reconception de leurs systèmes d'élevage ; la carte complète contenait 178 concepts et 304 liens. D'après Gouttenoire et al. (2010)

Le sens des flèches indique un lien de cause à effet entre deux concepts. Les signes « + » et « - » indiquent le sens de variations des deux concepts l'un par rapport à l'autre. « + » signifie que les deux concepts varient dans le même sens (plus l'éleveur consacre de temps à observer son troupeau, plus il aura une bonne capacité de réponse) ; « - » signifie que les deux concepts varient en sens inverse (plus l'éleveur consacre de temps à observer à son troupeau, moins il aura de temps libre)

Les cartes causales sont bien adaptées à des représentations collectives (Eden 2004) ; elles permettent aussi d'agréger des représentations individuelles. L'appropriation de ce formalisme extrêmement simple au cours d'une session de modélisation participative est aisée, de même que la compréhension de la carte causale réalisée par n'importe qui. Pour des problématiques agricoles, les cartes causales sont utilisées aussi bien avec des groupes d'agriculteurs (Gouttenoire et al. 2010) que des groupes de techniciens ou de chercheurs (Girard 2006a).

Nous mobilisons ce formalisme pour représenter le modèle biophysique à l'échelle de la campagne annuelle, où il s'agit en effet d'agréger les connaissances d'experts et scientifiques afin de représenter des liens de cause à effet entre la météo et les pratiques d'une part, et la croissance et le développement des végétations au cours d'une campagne annuelle d'autre part.

### 2.3.2.3 Un modèle d'état et de transition pour représenter la dimension de long-terme du modèle biophysique sur le long-terme

Pour représenter le modèle biophysique sur le long-terme, où se posent surtout des questions d'évolution des milieux, nous utilisons le formalisme des modèles d'état et de transition. Ce type de représentation a au départ été développé en écologie pour décrire les dynamiques de milieux pastoraux (Westoby et al. 1989) et est aujourd'hui fréquemment utilisé dans cette discipline pour représenter les évolutions possibles des écosystèmes, en particulier les écosystèmes pastoraux. Ce formalisme suppose qu'un système dynamique peut être représenté sous la forme d'un certain nombre « d'états » qu'il est possible de décrire, et de transitions entre ces états ; un certain nombre d'éléments sont précisées qui conditionnent la réalisation de chaque transition (Walker et Salt 2012) (voir un exemple en Figure 20).

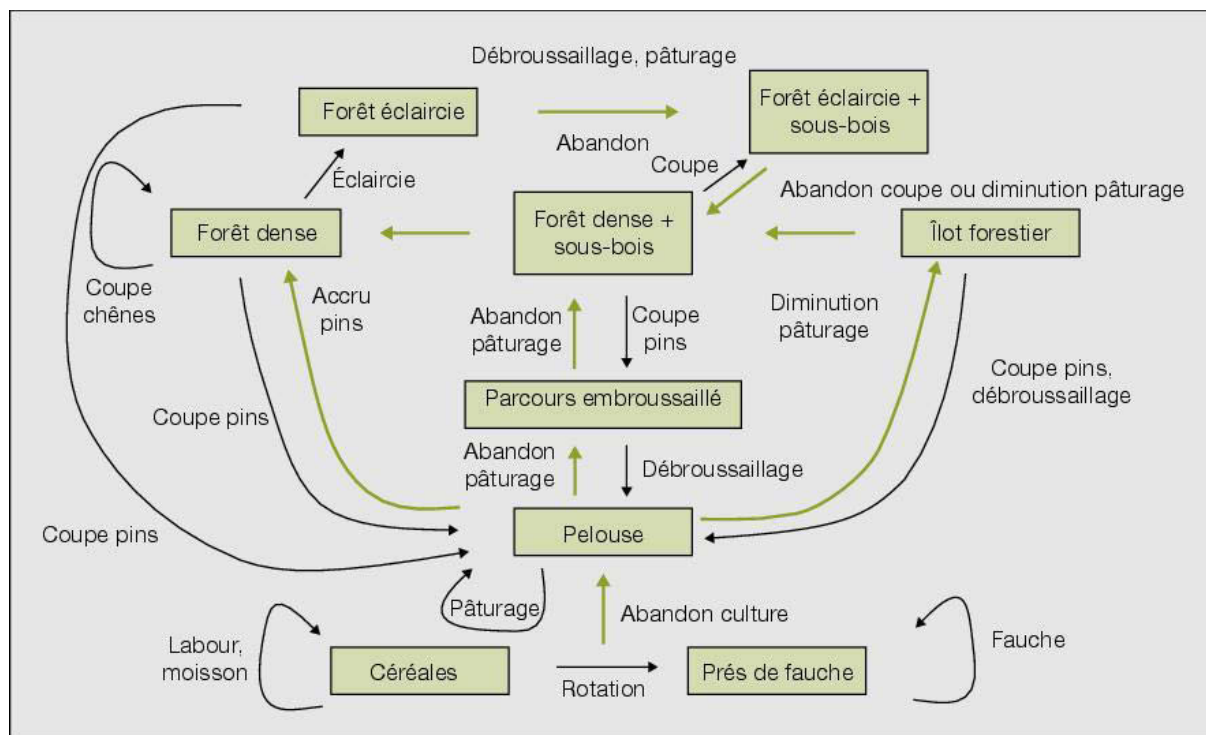


Figure 20 : Modèle d'état et de transition représentant les dynamiques des couverts végétaux selon différentes modalités d'intervention sur le plateau du Larzac (d'après Etienne et al. 2010).

Le modèle est co-construit par un groupe de techniciens et de chercheurs. Ce modèle a été utilisé pour confronter des scénarios d'aménagement envisagés par la Société Civile des Terres du Larzac dans une optique de gestion d'un massif forestier, à ceux qui ont été élaborés par les éleveurs pour améliorer le fonctionnement de leurs exploitations.

Ce type de formalisme a montré son intérêt dans de nombreuses démarches de modélisation participative, pour expliciter les savoirs d'acteurs, faciliter le dialogue entre ces acteurs (Mathevet et al. 2007, Briske et al. 2008). C'est un outil assez dynamique qui peut facilement être mis à jour au gré de l'évolution des connaissances, et déboucher sur des outils des outils de gestion assez élaborés (Rumpff et al. 2011).

Nous utilisons donc ce formalisme : nous définissons d'abord différents types de végétations, puis nous construisons le modèle d'état et de transition en explicitant les pratiques et les paramètres climatiques favorisant le passage d'un type de végétation à l'autre.

Dans l'élaboration de la typologie de végétations, nous veillons à n'avoir qu'un nombre limité de types (pour l'opérationnalité du modèle) et à avoir des catégories suffisamment génériques pour avoir du sens à l'échelle du massif alpin. La distinction des différents types de végétation doit se faire vis-à-vis de critères liés à la sensibilité aux aléas climatiques (cf. cartes causales) et par rapport aux critères déterminant l'utilisation des végétations décrits dans le modèle de gestion. La typologie des végétations est donc un élément central du modèle, et nous l'utilisons pour articuler les différents éléments du modèle : modèle biophysique à l'échelle de l'année, modèle biophysique sur le temps long, et modèle de gestion (voir Figure 21, où nous présentons une version plus détaillée de notre démarche par rapport à la Figure 13, en page 44).

### 2.3.2.4 S'inspirer des modèles de systèmes fourrager pour représenter le modèle de gestion

Pour la construction du système de gestion la dimension participative est moins centrale dans notre démarche. Contrairement au système biophysique, l'enjeu de faire expliciter les savoirs techniques et empiriques pour pallier l'absence de savoirs scientifiques est moindre. Il s'agit surtout de construire une grille de lecture adéquate de la gestion. Nous nous appuyons donc d'abord sur les modélisations existantes de systèmes fourragers (Moreau et al. 2009) pour définir les bases du modèle qui soit adapté à la prise en compte du changement climatique ; des experts sont sollicités dans un second temps en salle et sur le terrain pour affiner le modèle, le confronter à des cas réels, vérifier qu'il a un sens pour eux et qu'il peut être opératoire (Duru et al. 1988a).

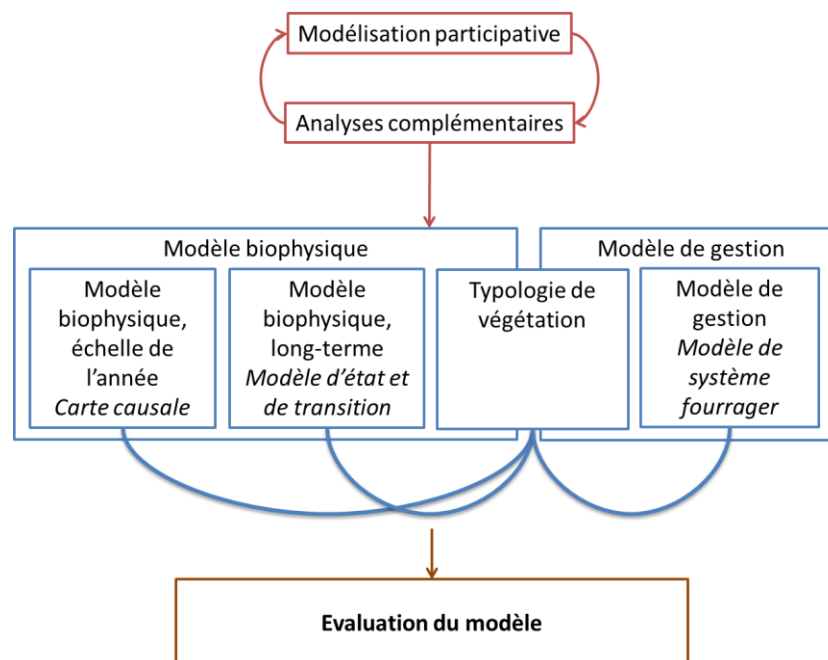


Figure 21 : démarche de modélisation et structure du modèle

## 2.4 Vulnérabilité et résilience : deux concepts mobilisés pour l'évaluation du modèle

### 2.4.1 Valider ou évaluer un modèle

La pertinence de vouloir systématiquement valider un modèle est fréquemment remise en cause (Girard 1995, Bommel 2009). Valider un modèle consiste à vérifier que ce qu'il décrit, ou prédit, correspond bien à la réalité. Or par définition un modèle est une représentation simplifiée de la réalité. Sa validité est donc forcément limitée.

Dans une démarche constructiviste telle que nous l'avons adoptée, la question de la validation n'a pas forcément de sens. Le modèle peut être considéré comme valide par nature, dans la mesure où ceux qui ont participé à sa construction se retrouvent dans la représentation de leurs connaissances. Plutôt que de valider ce type de modèle, c'est-à-dire vérifier qu'il décrit correctement une réalité



physique observable par ailleurs<sup>8</sup>, on va plutôt chercher à l'évaluer, c'est-à-dire vérifier qu'il remplit la fonction pour laquelle il a été conçu, qu'il permet de répondre à la question posée (Thom 1978, cité par Bommel 2009). C'est ce qu'exprime la fameuse maxime de Georges Box « Tous les modèles sont faux, certains sont utiles ». En l'occurrence, on va donc chercher à vérifier que le modèle permet bien de donner des clés de lecture pour analyser l'adaptation au changement climatique des alpages.

Pour (Bommel 2009) l'évaluation d'un modèle doit se faire au regard de sa réfutabilité. Plus le champ d'action d'un modèle est large, plus il pourra être confronté à une diversité de situations, et plus il sera réfutable. Pour évaluer le modèle, nous adoptons donc le principe de le confronter à une grande diversité de systèmes alpage-exploitations, et testons sa capacité à analyser leur adaptation au changement climatique.

Pour réaliser cette analyse, nous mobilisons deux cadres d'analyse complémentaires : d'abord (chapitres 5 et 6) un cadre d'analyse basé sur le concept de la vulnérabilité, un concept courant dans les travaux d'évaluation de l'adaptation de systèmes au changement climatique, puis un cadre d'analyse basé sur le concept de résilience socio-écologique (chapitre 7). Dans la section 2.4.2, nous présentons ces deux concepts et expliquons en quoi ils peuvent fournir des cadres d'analyse complémentaires. Puis nous expliquons de manière plus détaillée le cadre d'analyse de vulnérabilité que nous avons retenu (section 2.4.3), et enfin comment nous mobilisons le concept de résilience (section 2.4.4).

Dans ce travail de thèse, nous n'avons pas pu aller jusqu'à évaluer l'aptitude du modèle à une appropriation par des acteurs ; nous y reviendrons néanmoins en discussion (section 8.3). Des travaux sont déjà prévus à l'issue de cette thèse pour transposer le modèle dans des outils opérationnels de conseil. Ces travaux permettront d'évaluer la facilité d'appropriation du modèle.

## **2.4.2 Vulnérabilité et résilience : deux concepts qui offrent des approches complémentaires pour analyser l'adaptation au changement climatique**

### **2.4.2.1 Vulnérabilité : un concept de plus en plus mobilisé pour l'analyse de l'effet des perturbations environnementales**

L'approche qui est sans doute devenue la plus courante lorsqu'on s'intéresse à l'adaptation au changement climatique d'un système (un pays, une ville, une exploitation agricole, un écosystème) est d'analyser cette adaptation sous l'angle de la vulnérabilité. C'est cette approche qu'a retenue et que préconise notamment le GIEC dans ses rapports d'évaluation. La vulnérabilité peut être définie comme « le degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. » (IPCC 2001). Ce cadre d'analyse a progressivement pris la place d'évaluations scientifiques plus « traditionnelles » qui centraient l'analyse sur les facteurs d'impact ou les impacts (Luers et al. 2003). Avec la vulnérabilité, on passe à une approche plus systémique : on examine un

---

<sup>8</sup> Eventuellement, on pourrait considérer qu'il serait intéressant, même si on s'écarte de l'objectif recherché, de valider les aspects du modèle décrivant des processus écologiques. Mais cela nécessiterait de disposer de données précises collectées pour cet objectif. Nous effectuons une ébauche de validation du modèle biophysique à l'échelle de l'année, en confrontant celui-ci à des jeux de données climatiques et de végétations dans le chapitre 5 (section 5.3.2).



système pour s'intéresser à sa capacité à répondre. Historiquement, le concept de vulnérabilité a été mobilisé d'abord dans les sciences sociales, avec des définitions plus ou moins proches de celle du GIEC, et souvent adaptées à chaque fin disciplinaire (Fuchs et al. 2012), avec une tendance pour les sciences sociales à se focaliser fortement sur les facteurs socio-économiques (Allen, 2003). Les sciences écologiques se sont longtemps surtout focalisées sur des problématiques de stabilité des écosystèmes et ont préféré à la vulnérabilité des notions telles que la résistance, la résilience et la persistance. Ce n'est qu'avec la montée en puissance des problématiques de gestion intégrée des ressources naturelles (Hagmann et al. 2002) et une certaine prise de conscience des liens entre les activités humaines et le fonctionnement des écosystèmes, que la vulnérabilité est entrée dans le champ des sciences écologiques, en parallèle de l'émergence des notions très proches se référant à des « systèmes couplés humain-nature » (socio-écosystèmes, systèmes socio-écologiques, socio-ecological systems, social-ecological systems...) (Adger 2000).

Dans les différentes disciplines, le constat a été fait qu'il n'était pas possible d'expliquer la vulnérabilité uniquement par les conditions environnementales, ni uniquement par les conditions socio-économiques (Holsten et Kropp 2012). La vulnérabilité d'un système, agricole ou autre, au changement climatique sera fonction du changement climatique, de ses effets directs, mais aussi du contexte socio-économique (cf. contexte d'incertitude décrit précédemment pour l'agriculture), de considérations internes au système (projets, objectifs, savoir-faire...). C'est pourquoi, bien que les analyses de vulnérabilité fassent souvent référence à des enjeux globaux (changement climatique, changement global), la plupart des travaux sur la vulnérabilité se situent à une échelle locale (« place-based approach ») (Cutter et al. 2008), afin d'une part de pouvoir réaliser des analyses qui ne s'arrêtent pas aux changements environnementaux mais intègrent aussi les caractéristiques sociales, économiques et d'aménagement du territoire d'étude, et d'autre part d'adopter une démarche de recherche qui peut servir d'appui à la décision.

#### **2.4.2.2 Complémentarité du concept de résilience socio-écologique**

La vulnérabilité est un concept intéressant, notamment parce qu'il existe de nombreux cadres d'analyse et de nombreux exemples de mise en œuvre concrète sur lesquels s'appuyer pour analyser l'adaptation d'un système au changement climatique, et parce que ce concept permet un lien avec les acteurs et peut être décliné en termes de politiques publiques (O'Brien et al. 2004). Néanmoins, les cadres d'analyse de la vulnérabilité présentent une limite importante vis-à-vis du sujet que nous souhaitons traiter, qui est leur focalisation sur des pas de temps assez courts (Miller et al. 2010), à quelques rares exceptions (comme Endfield 2007) qui ont adopté des approches historiques pour analyser l'évolution de la vulnérabilité de sociétés. Dans l'immense majorité des cas il s'agit d'étudier la vulnérabilité actuelle d'un système que l'on considère stable ou dans l'état dans lequel il est à un moment précis, face à des perturbations actuelles ou attendues.

C'est pourquoi nous mobilisons en complément le concept de résilience. La résilience, ou résilience socio-écologique (social-ecological resilience), est la capacité d'un système (socio-écologique) à absorber des perturbations et à se réorganiser, de manière à toujours conserver les mêmes fonctions, structures et réponses, et de ce fait la même identité<sup>9</sup> (Walker et al. 2004, Folke et al. 2010). Cette définition est à bien distinguer d'une définition plus restrictive de la résilience, qui

---

<sup>9</sup> « *The capacity of a social-ecological system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure and feedbacks, and therefore identity* ».

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

provient initialement de la psychologie et de la physique des matériaux, mais qui est parfois utilisée en écologie, et qui est « la capacité d'un système à revenir à un état initial » ; Holling (1996) parle pour cette définition « d'engineering résilience ». La résilience socio-écologique considère donc que les systèmes sont dynamiques, que leurs caractéristiques changent, et que ces systèmes restent résilients s'ils parviennent à conserver un certain nombre de propriétés. L'histoire et les cadres de mise en œuvre des concepts de vulnérabilité et de résilience sont assez différents au départ. Le premier vient plutôt des sciences sociales, et mobilise traditionnellement des approches constructivistes, quand le second a été développé dans les sciences de la nature au travers d'approches beaucoup plus positivistes. Néanmoins les deux concepts tendent à se rejoindre avec le développement des travaux sur les systèmes couplés Hommes-Nature (Janssen et al. 2006). De nombreux articles font référence aux deux notions, avec toutefois des définitions de ces deux concepts qui demeurent encore aujourd'hui assez variables d'un article à l'autre et selon les courants de recherche d'origine (Gallopín 2006). Tout comme nous avons vu que les sciences écologiques mobilisaient les approches de la vulnérabilité, les sciences sociales mobilisent le concept de résilience, notamment en lien avec le développement en tant que discipline à part entière du courant en sciences économique qu'est l'Ecological Economics (Van Den Bergh 2001, Illge et Schwarze 2009). Et certains travaux proches des sciences écologiques, lorsqu'ils mobilisent le concept de résilience, s'approprient les approches constructivistes et les démarches impliquant des acteurs (Walker et Salt 2012). Le concept de résilience, au travers de ses développements conceptuels, présente deux avantages qui nous intéressent.

(1) D'une part il prend explicitement en compte le long-terme et l'articulation entre court-terme et long-terme. De ce fait il sera particulièrement intéressant lorsqu'on considèrera la dimension de long-terme de notre problématique, à savoir la nécessité d'intégrer dès aujourd'hui dans la gestion des considérations sur l'évolution à long-terme des systèmes. (2) D'autre part, alors que la vulnérabilité offre généralement un regard centré sur l'homme et les impacts pour l'homme, la résilience dans ses fondements propose un regard décentré et considère les interactions entre deux systèmes en co-évolution (un système social et un système écologique). Elle paraît ainsi plus adaptée pour étudier la co-évolution d'un système avec son environnement (Coquil et al. 2010), qui est bien ce que nous avons avec l'adaptation au changement climatique sur les alpages : des alpages, des exploitations qui évoluent au cours du temps (s'adaptent au changement climatique et à d'autres perturbations externes et se transforment vis-à-vis de considérations internes) en même temps que le climat change.

On pourrait ajouter un troisième intérêt du concept de résilience vis-à-vis de celui de vulnérabilité, c'est celui d'offrir une vision beaucoup plus positive et pro-active de l'adaptation, quand la focalisation de la vulnérabilité sur les impacts potentiellement négatifs peut être interprétée de manière négative (Miller et al. 2010).

Toutefois, contrairement au concept de vulnérabilité et aux évaluations de vulnérabilité qui ont depuis longtemps été incorporés dans les pratiques, les travaux scientifiques sur la résilience ont connu de nombreux développements conceptuels mais proposent très peu d'exemples de mise en œuvre concrète (on peut citer quelques exceptions, répertoriées par Miller et al. (2010) : Gunderson et Holling (2002), Olsson et al. (2004), Walker et Salt (2006), Berkes et al. (2008), Walker et al. (2009). Dans les faits, enfin, les approches par la résilience restent souvent très centrées sur des

Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

préoccupations écologiques, avec des systèmes dont les contours sont définis vis-à-vis de problématiques écologiques et de fonctionnement écologiques (Miller et al. 2010).

### **2.4.2.3 Contours du problème retenu pour chaque cadre d'analyse**

Les deux concepts, et surtout les deux approches associées, sont donc complémentaires (Nelson et al. 2007), et c'est dans une approche exploratoire que nous mobilisons le concept de résilience, pour tenter de traiter la question de la prise en compte du long-terme dans l'enjeu de l'adaptation des alpages et des systèmes alpage-exploitations au changement climatique. Avec le concept de vulnérabilité, nous nous restreignons à la dimension de court-terme de notre problématique et n'analysons que la vulnérabilité des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques, qui reste l'enjeu majeur pour l'instant aux yeux des acteurs.

## **2.4.3 Analyser la vulnérabilité des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques**

### **2.4.3.1 Une approche qualitative pour comprendre les processus**

Smit et Wandel (2006) distinguent quatre types d'approche dans les travaux en science sociales sur l'adaptation au changement climatique, dont deux mobilisent le concept de vulnérabilité :

- Les travaux visant à évaluer l'impact du changement climatique avec/sans adaptation
- Les travaux visant à sélectionner la meilleure option d'adaptation
- Les travaux reliant l'adaptation avec les capacités d'adaptation et la vulnérabilité, dans une optique de mesure, de quantification de la vulnérabilité. L'objectif avec cette approche est de pouvoir comparer des niveaux d'adaptation entre communautés, pays... pour pouvoir prioriser l'action publique.

Ces trois premières approches ne s'intéressent pas aux processus d'adaptation mais mesurent un avant/après ou comparent des niveaux actuels ou futurs.

- Le quatrième type d'approche est plus centré sur les processus, la mise en œuvre des adaptations, et vise à contribuer aux initiatives d'adaptation. Le cadre d'analyse de la vulnérabilité est fréquemment mobilisé dans ce type d'approche, mais dans une démarche beaucoup plus qualitative. L'objectif ici n'est pas de quantifier, d'établir un score, mais de documenter et comprendre la façon dont les systèmes ou les communautés s'adaptent. Les approches sont participatives, les variables auxquelles s'intéresser ne sont pas établies a priori par les chercheurs ou en fonction des données disponibles, mais proviennent des acteurs (approche bottom-up). La montée en généralité se fait par des approches comparatives.

Ce dernier type d'approche, qui s'intéresse à la façon dont les systèmes s'adaptent, et qui permet les échanges avec les acteurs, paraît intéressant pour répondre à nos objectifs, qui sont de vérifier que le modèle construit permet de comprendre les processus d'adaptation des systèmes alpage-exploitations à l'œuvre, d'apporter des réponses aux acteurs sur le terrain, pour aider au final à l'adaptation des systèmes alpage-exploitations au changement climatique.

### **2.4.3.2 Découpage analytique dans les analyses de vulnérabilité**

« La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation. » (IPCC 2001, Adger 2006). L'exposition renvoie à la durée, à l'amplitude, à la fréquence des changements de

contexte dans lequel le système évolue. La sensibilité est le degré d'affectation positive ou négative d'un système par des stimuli liés au climat. Les capacités d'adaptation, enfin, sont les capacités d'ajustement d'un système face aux changements climatiques (y compris à la variabilité climatique et aux extrêmes climatiques) afin d'atténuer les effets potentiels, d'exploiter les opportunités, ou de faire face aux conséquences. Ce découpage est assez fonctionnel d'un point de vue analytique et a déjà été mobilisé auparavant dans différents travaux scientifiques et de développement pour l'analyse de la vulnérabilité de systèmes agricoles au changement climatique ou aux aléas climatiques à des échelles territoriales (Luers et al. 2003, O'Brien et al. 2004, Belliveau et al. 2006) ou à l'échelle de l'exploitation (Sautier 2013 par exemple), ou pour d'autres problématiques, par exemple la vulnérabilité à la prédation des systèmes pastoraux (CERPAM et al. 2012).

On peut illustrer la distinction entre exposition, sensibilité, et capacités d'adaptation au travers de la comparaison des deux situations suivantes : une exploitation d'élevage située en haute-montagne sera beaucoup plus exposée aux épisodes de froid en hiver qu'une exploitation située au bord de la mer Méditerranée, à la fois en termes de fréquence de survenue de l'aléa et d'intensité de l'aléa (niveau des températures, durée de l'aléa). Par contre, à épisode de froid équivalent, la première exploitation sera beaucoup moins sensible que la seconde. En effet, sur la première exploitation, l'hiver tous les animaux sont dans des bâtiments conçus pour affronter le froid, avec des réserves de fourrage dimensionnées pour passer l'hiver ; sur la seconde exploitation, les animaux restent au pâturage, il est probable que l'on trouve en hiver des animaux qui sont dans des phases fragiles de leur cycle (brebis allaitantes et jeunes agneaux par exemple). Sur l'exploitation de haute-montagne, sauf aléa extrême, les capacités d'adaptation<sup>10</sup> sont suffisantes (à la limite il est inutile de mobiliser des capacités d'adaptation face à cet aléa) ; sur l'exploitation méditerranéenne, les capacités d'adaptation dépendront des infrastructures, du fonctionnement du système (Y a-t-il des bâtiments pour accueillir les animaux, est-il possible de leur distribuer du fourrage ?) et des capacités de l'éleveur à modifier ses pratiques pour limiter l'impact sur ses animaux. La vulnérabilité de ces deux exploitations dépendra au final de la résultante de leur exposition, leur sensibilité, et leurs capacités d'adaptation à l'aléa.

### **2.4.3.3 Analyses de la vulnérabilité : des approches à géométrie variables**

Si la définition que fait le GIEC de la vulnérabilité fait officiellement consensus, dans les faits il existe une multitude de cadres d'analyse de la vulnérabilité (Costa et Kropp 2012), et la définition du GIEC n'est pas la seule définition retenue. Malgré les progrès en termes d'approches intégrées, chaque discipline adapte encore souvent cette définition à ses propres fins disciplinaires, et si en théorie les notions d'exposition, sensibilité, et capacités d'adaptation ont des contours bien cernés, dans les faits en pratique, certaines approches de la vulnérabilité n'intègrent pas les trois dimensions.

---

<sup>10</sup> Capacité ou capacités d'adaptation ? Dans la littérature en français, le pluriel semble être le plus fréquemment employé (exemple : Dedieu et Ingrand 2010)), mais on trouve aussi l'emploi du singulier (Sautier 2013 par exemple). En langue anglaise, on trouve également le pluriel et le singulier (*adaptive capacity*, (Smit et Wandel 2006) ; *adaptation capacities*, (Campos et al. 2014) ; *adaptive capacities*, (Nozières et al. 2011)). S'il y a des différences dans la signification des termes selon les travaux, ces différences ne sont pas liées à l'emploi du singulier ou du pluriel, qui ne change en soi pas la signification du concept. Dans ce manuscrit de thèse, nous emploierons le pluriel, qui nous semble bien mettre l'accent sur la combinaison possible de plusieurs ajustements face à un même aléa et sur la diversité possible des ajustements face à la diversité des aléas pour un système donné.

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

Fuchs et al. (2012) ont essayé de classer les grilles d'analyse de la vulnérabilité. Ils décrivent notamment des approches de la vulnérabilité qu'ils qualifient de « vulnérabilité structurelle », et qui correspondent à une grille de lecture fréquente dans les sciences naturelles, où l'on se concentre sur l'impact avec une volonté de le quantifier ; il s'agit donc d'une définition essentiellement centrée sur l'exposition et la sensibilité des éléments physiques ou biophysiques. Dans les sciences sociales par analogie, la vulnérabilité est plus souvent comprise comme les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe et leur situation qui influencent leur capacité à anticiper, faire avec, résister ou récupérer des impacts d'un aléa (Wisner et al. 2004) ; Fuchs et al. (2012) parlent de « vulnérabilité sociale ». C'est une définition complémentaire de la vulnérabilité structurelle, centrée sur l'humain, et qui met surtout l'accent sur les capacités d'adaptation.

Par ailleurs les limites ne sont pas toujours si simples à borner entre exposition, sensibilité et capacités d'adaptation (Sautier 2013). Parfois exposition et sensibilité sont considérées comme indissociable et sont analysés en même temps (voir par exemple Luers 2005, Belliveau et al. 2006). Dans d'autres situations c'est la limite entre sensibilité et capacités d'adaptation qui est floue. Cette limite est en effet difficile à établir dès lors qu'on est dans un système dynamique (Polsky et al. 2007, Reidsma et al. 2007, cités par Sautier 2013) ; mobiliser les capacités d'adaptation sur le long-terme revient en effet souvent à agir pour diminuer la sensibilité (Engle 2011). Cette limite entre sensibilité et capacités d'adaptation dépend aussi des paramètres auxquels on s'intéresse. Ainsi un système fourrager pourra être considéré comme sensible aux aléas si les éléments constitutifs de ce système (les différentes ressources notamment) y sont sensibles ; si les capacités d'adaptation permettent par divers ajustements des pratiques de limiter les conséquences de cette sensibilité sur les résultats de production, le système ne sera pas vulnérable. Mais on peut considérer, à l'instar d'Andrieu (2004) la sensibilité d'un système fourrager dans son ensemble, par la sensibilité des résultats de production aux aléas climatiques, et sans intégrer dans la caractérisation de la sensibilité du système la sensibilité des différentes ressources. Cette définition apparaît alors intégratrice des capacités d'adaptation telles qu'elles étaient définies dans le point de vue précédent.

Smit et Wandel (2006) opposent quant à eux d'un côté exposition et sensibilité, deux propriétés inséparables d'un système qui sont dépendantes des interactions entre les caractéristiques du système et les attributs des aléas climatiques (et qui si elles augmentent font augmenter la vulnérabilité), et de l'autre côté les capacités d'adaptation, qui sont plus inhérentes aux systèmes (et qui si elles augmentent font diminuer la vulnérabilité). Néanmoins, pour ces deux auteurs, le fait qu'on ait un modèle général qui décrit la vulnérabilité comme résultante de ces trois éléments ne signifie en rien que ces différents éléments ne sont pas en interrelation. Au contraire pour ces auteurs on doit considérer qu'il existe a priori des facteurs, des processus, des relations fonctionnelles entre exposition, sensibilité et capacité d'adaptation. De nombreux déterminants qui joueront sur l'exposition ou la sensibilité joueront également sur les capacités d'adaptation. Par ailleurs pour Smit et Wandel (2006) on doit aussi considérer que ces déterminants ne joueront pas de la même manière suivant les systèmes, suivant les lieux ou les moments, et suivant le type de perturbations. Les relations entre exposition, sensibilité et capacités d'adaptation ne sont donc pas toujours les mêmes, et il n'est pas possible aujourd'hui d'établir un consensus sur un modèle générique robuste qui décrirait les éléments et processus permettant de caractériser l'exposition, la sensibilité et les capacités d'adaptation pour un système à un niveau local.

Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

#### **2.4.3.4 Approche retenue pour analyser la vulnérabilité des systèmes alpage-exploitations**

Dans cette thèse, nous retenons l'approche de Smit et Wandel (2006) qui placent les capacités d'adaptation au cœur de l'analyse de la vulnérabilité, et considèrent les adaptations (c'est-à-dire les ajustements) comme des manifestations des capacités d'adaptation.

Pour évaluer le modèle, nous mobilisons un échantillon diversifié de systèmes alpage-exploitations, et nous analysons leurs capacités d'adaptation. L'approche est qualitative, elle vise à comprendre les processus à l'œuvre et leurs déterminants (chapitre 6). Ces capacités d'adaptation n'étant pas indépendantes de l'exposition et de la sensibilité du système aux aléas climatiques, avant de les étudier nous analysons l'exposition du même échantillon de systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques (chapitre 5), ainsi que leur sensibilité (chapitre 6), en nous concentrant sur la sensibilité des éléments du système aux aléas climatiques, plutôt que sur la sensibilité globale du système, qui nous amènerait à des recouvrements avec l'analyse des capacités d'adaptation.

#### **2.4.4 Analyser la résilience des systèmes alpage-exploitations au changement climatique**

Plusieurs travaux sur des systèmes agricoles pointent l'intérêt de ce concept lorsqu'il est nécessaire, comme dans notre cas, (1) de passer d'une vision de systèmes à l'équilibre à une vision de systèmes en dynamique permanente, (2) d'articuler court-terme et long-terme dans la gestion, et notamment parvenir à estimer la façon dont la gestion actuelle est susceptible de faire évoluer la résilience dans le futur (Darnhofer et al. 2010b, Darnhofer 2014), et (3) pour étudier la co-évolution des systèmes agricoles avec leur environnement (Coquil et al. 2010, Halliday et Glaser 2011). De fait le concept de résilience socio-écologique a déjà été mobilisé dans différents travaux scientifiques pour l'étude d'agroécosystèmes ou de farming systems (voir la revue bibliographique de Darnhofer 2014), principalement pour caractériser des mécanismes d'adaptation des exploitations agricoles face à des perturbations (voir par exemple Dedieu et Ingrand 2010, Nettier et al. 2010). Très peu de travaux ont mobilisé le concept pour une analyse globale de la résilience de systèmes agricoles. Dans ces quelques cas soit les auteurs ont adopté une démarche inductive pour définir ce que peut signifier la résilience à partir de cas particuliers (Carlisle 2014), soit ils ont à l'inverse mobilisé des travaux génériques sur la résilience des socio-écosystèmes pour l'appliquer au cas de systèmes agricoles (Milestad et Darnhofer 2003, Darnhofer 2010, Darnhofer et al. 2010b, Tittone 2014).

Pour de nombreux auteurs, la théorie de la résilience offre un point de vue utile pour la gestion des ressources naturelles (Allen et al. 2005, Anderies et al. 2006, Soane et al. 2012, Carlisle 2014), et penser en termes de résilience serait un moyen pour mettre en œuvre la durabilité (*sustainability*) (Brand 2005, Perrings 2006, Domptail et al. 2013). La promesse de son caractère opérationnel, d'une possible transposition rapide de concepts scientifiques vers l'action, expliquent en grande partie le succès du concept de résilience.

Pourtant la plupart des travaux documentés restent à un stade d'analyse du fonctionnement d'un système à un moment donné ou d'analyse a posteriori de transformations de systèmes. De nombreuses études de cas, dans différentes disciplines et courants de recherche, ont permis de qualifier et décrire les caractéristiques des socio-écosystèmes et les mécanismes de leur résilience, et préciser les conditions de leur « adaptabilité » (capacité des acteurs dans le système à influencer la résilience du système) et leur « transformabilité » (capacité à créer un système nouveau quand les conditions écologiques, économiques ou sociales rendent le système existant intenable) (Folke et al. 2004, Walker et al. 2004, 2006). On peut ainsi citer des travaux sur des socio-écosystèmes aussi

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

différents que des périmètres de réseaux d'irrigation (Cifdaloz et al. 2010), des pêcheries (Camp et al. 2015), ou des parcours (Reid et al. 2014) et pour des perturbations aussi diverses que la pollution des eaux (Carpenter et al. 2001), des catastrophes côtières (Adger et al. 2005), le changement climatique (Smit et Wandel 2006) ou le changement global (Anderies et al. 2013). Mais à l'exception notable de quelques travaux déjà cités (Gunderson et Holling 2002, Olsson et al. 2004, Walker et Salt 2006, Berkes et al. 2008, Walker et al. 2009) on ne trouve pratiquement pas d'articles scientifiques qui vont jusqu'à des préconisations concrètes de gestion.

Les travaux qui ont cherché à évaluer le niveau de résilience des socio-écosystèmes (Allen et al. 2005, Cumming et al. 2005) ont ouvert les premières réflexions sur le transfert du concept de résilience vers l'action. Le constat a été fait que la résilience d'un système avait un caractère relatif, et qu'évaluer la résilience d'un système nécessitait d'abord de bien préciser quels étaient les contours du système, ses propriétés à préserver, et quelles étaient les perturbations auxquelles on s'intéressait, en d'autres termes de préciser « *resilience of what to what* » (Carpenter et al. 2001). Plusieurs de ces travaux concluent aussi qu'il est difficile de définir des indicateurs quantitatifs directs. Ils suggèrent alors plutôt d'identifier des « indices » (« *surrogates* ») de ce qui confère de la résilience à un système (Bennett et al., 2005; Carpenter et al., 2005; Darnhofer et al., 2010b; Carlisle, 2014). Identifier ce qui est susceptible de conférer de la résilience à un système paraît en effet plus opérationnel, et plus appropriable par des acteurs dont l'objectif n'est pas de mesurer la résilience mais de parvenir à être résilient.

Forts de ces enseignements, et pour réellement parvenir à opérationnaliser le concept, Walker et Salt (2006, 2012) proposent dans un double ouvrage de vulgarisation une présentation de ce qu'est la résilience et son intérêt (Walker et Salt 2006), et une méthode pour « mettre en pratique » la résilience (Walker et Salt 2012), qui reprend et complète les travaux de Walker et al. (2009). Nous nous appuyons sur cette méthode, en mobilisant notre modèle conceptuel, pour analyser la résilience de quelques cas de systèmes alpage-exploitations. Nous testons alors le caractère opérationnel de ce concept et sa capacité à fournir des clés pour penser l'adaptation au changement climatique à long-terme sur les alpages et pour analyser les pratiques actuelles vis-à-vis de cet enjeu.

### 2.5 Proposition de thèse

Le changement climatique se traduit par deux types d'impacts en alpage : une recrudescence des aléas climatiques et une coévolution progressive du climat, des végétations et des exploitations d'élevage. Les cadres d'analyse actuels du fonctionnement des alpages prennent peu en compte les ajustements de pratiques face aux aléas, le caractère dynamique des alpages et les interactions entre alpages et exploitations ; ils permettent difficilement d'analyser l'adaptation au changement climatique et d'accompagner cette adaptation.

Dans cette thèse, nous proposons une contribution pour faire évoluer les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages et donner des clés d'analyse de leur adaptation au changement climatique.

Pour parvenir à cela nous proposons de construire, en nous référant aux approches sur les systèmes d'élevage, un modèle conceptuel du « système alpage-exploitations », que nous définissons comme un système composé d'un alpage, élément central du système, et des différentes exploitations qui utilisent cet alpage. En articulant court-terme et long-terme, en articulant dimension biophysique et de gestion, et en mettant en avant les ajustements des pratiques à l'échelle du système alpage-

## Chapitre 2 : Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages

exploitations, ce modèle constitue une grille de lecture orientée, qui va nous permettre d'analyser le fonctionnement de ces systèmes au regard des enjeux de l'adaptation au changement climatique.

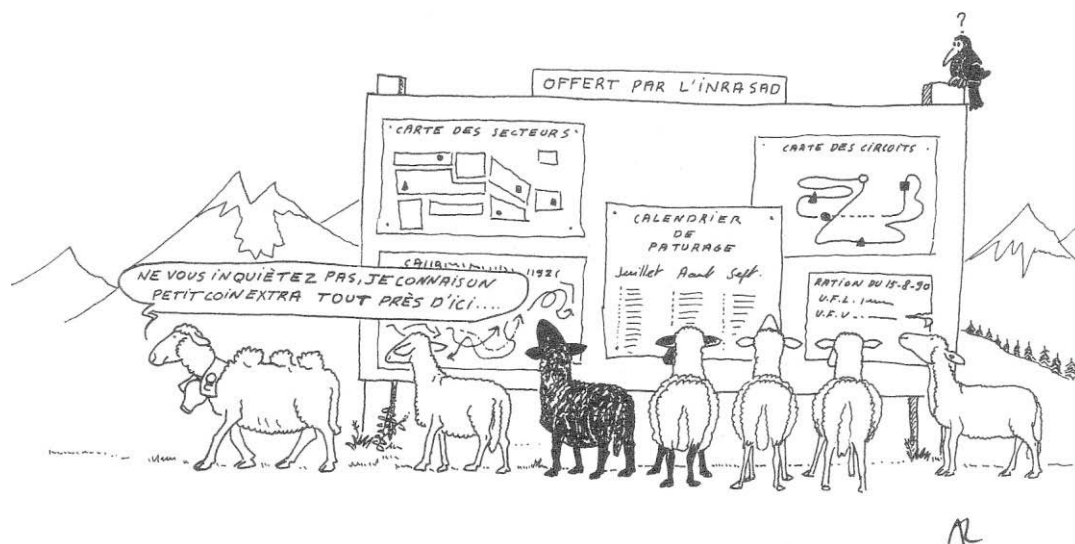
Pour évaluer ce modèle et analyser l'adaptation des alpages au changement climatique dans les Alpes françaises, nous analysons la vulnérabilité d'une diversité de systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques à l'échelle du massif alpin, en décomposant de manière analytique la vulnérabilité en exposition, sensibilité et capacités d'adaptation. Nous proposons enfin une démarche pour analyser leur résilience au changement climatique.





## Deuxième Partie : Construction d'un modèle conceptuel de système alpage-exploitation

---



Dessin d'André Leroy, extrait de : LANDAIS E (coord.), 1991, André L. : *Contrepoint (ouvrage collectif)*.  
Document de travail de l'URSAD Versailles-Dijon-Mirecourt, INRA, Versailles, 140 p.



### **3 Un travail de recherche qui s'articule avec le dispositif Alpages Sentinelles**



Ce travail de thèse s'est déroulé en interaction forte avec le dispositif Alpages Sentinelles<sup>11</sup>. Le travail de modélisation et les suivis de systèmes alpage-exploitations utilisés pour la phase d'évaluation du modèle ont été réalisés dans ce cadre. Dans ce chapitre nous présentons la façon dont le dispositif Alpages Sentinelles et la thèse se sont nourris, et nous donnons quelques précisions méthodologiques sur les conditions de réalisation des travaux de modélisation et des suivis d'alpages et d'exploitations, ainsi que sur la façon dont nous mobilisons ces suivis pour évaluer le modèle.

### 3.1 Les alpages sentinelles, un dispositif de recherche-action

#### 3.1.1 Emergence et essor du dispositif Alpages Sentinelles

Le dispositif Alpages sentinelles est né dans le Parc national des Ecrins. A l'origine de ce dispositif, on trouve la rencontre entre l'inquiétude des acteurs de l'agriculture et du pastoralisme et celle du Parc sur les conséquences de la série de fortes sécheresses estivales successives subies au cours des années 2003 et suivantes. Ces évènements ont constitué une prise de conscience brutale du changement climatique : difficultés à nourrir les troupeaux sur les exploitations et sur les alpages, constat de dégradations localisées, interrogations sur les conséquences du changement climatiques pour les alpages et sur les modes de conduites pastorales à adopter. Pour tenter d'apporter des réponses à ces interrogations et éviter l'émergence de conflits entre acteurs du pastoralisme et de l'environnement, la commission Agriculture du Parc a proposé la création d'un dispositif qui permette d'observer et comprendre les changements en cours, et qui soit un espace de dialogue entre les différents acteurs. Le dispositif Alpages Sentinelles vise ainsi à prendre en charge collectivement la problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages (Dobremez et al. 2014).

Un dispositif de suivi a été élaboré en partenariat avec des scientifiques de la Zone-Atelier-Alpes<sup>12</sup>, une plate-forme réunissant laboratoires de recherche et espaces protégés, et dédiée aux recherches sur le long-terme portant sur les dynamiques couplées des écosystèmes alpins, de leurs usages et du climat (Lavorel et al. 2013). Sur un échantillon diversifié d'alpages des protocoles d'observation annuels et pluriannuels ont été mis en place à partir de 2008 pour suivre la météorologie (y compris le déneigement) (Bigot et al. 2010), les végétations en termes de ressource et de biodiversité (Lavorel et al. 2008), les pratiques pastorales sur les alpages et leur impact sur la végétation (Garde et al. 2014a), et les pratiques sur les exploitations utilisatrices des alpages (Nettier et al. 2013).

En parallèle de ces suivis, plusieurs temps d'échange entre les différents partenaires du programme (scientifiques, agents du Parc, techniciens agricoles et pastoraux, éleveurs, bergers) ont été mis en place : au cours des suivis, qui permettent d'échanger et de confronter des points de vue sur le terrain, au cours de différentes réunions techniques regroupant scientifiques et techniciens, et au cours de journées annuelles de restitution et d'échanges. Ces temps d'échange sont l'occasion d'analyses partagées à partir des données collectées et de l'expertise de chacun, permettant ainsi une co-construction de connaissances à partir de savoirs scientifiques, techniques et empiriques.

---

<sup>11</sup> Depuis sa mise en place, le programme Alpages sentinelles a été conduit avec le soutien financier du ministère en charge de l'écologie (Direction de l'eau et de la biodiversité), du Commissariat général à l'égalité des territoires (Ex DATAR) (FNADT-CIMA), de l'Union européenne (FEADER puis FEDER dans le cadre du Programme interrégional du massif des Alpes), des Régions Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur.

<sup>12</sup> <http://www.za-alpes.org/>

C’est au cours de certains de ces temps d’échange qu’ont été effectuées les phases de modélisation participative.

Ce dispositif a ensuite progressivement été mis en place, suivant la même logique, dans d’autres espaces protégés du massif alpin : Parc national de la Vanoise en 2011, Parc naturel régional du Vercors en 2012, Parc naturel régional de Chartreuse en 2014. Fin 2014, à l’échelle des Alpes Françaises, des suivis avaient été réalisés sur 25 alpages et 34 exploitations (Figure 22 et Figure 23) ; ce sont ces différents alpages et exploitations suivis qui servent d’échantillon de systèmes alpage-exploitations dans cette thèse pour l’évaluation du modèle par une analyse de leur vulnérabilité aux aléas climatiques et de leur résilience au changement climatique.

En 2015, trois nouveaux territoires ont rejoint la démarche : Parc naturel Régional du Luberon, syndicat mixte de préfiguration du Parc naturel régional du Mont-Ventoux, et Parc national du Mercantour. Les suivis réalisés sur ces trois derniers territoires n’ont pas été intégrés dans la thèse.

L’animation reste fortement ancrée au niveau de chaque territoire ; l’analyse des données se fait à deux niveaux : au niveau local sur chaque territoire et à l’échelle du massif alpin.

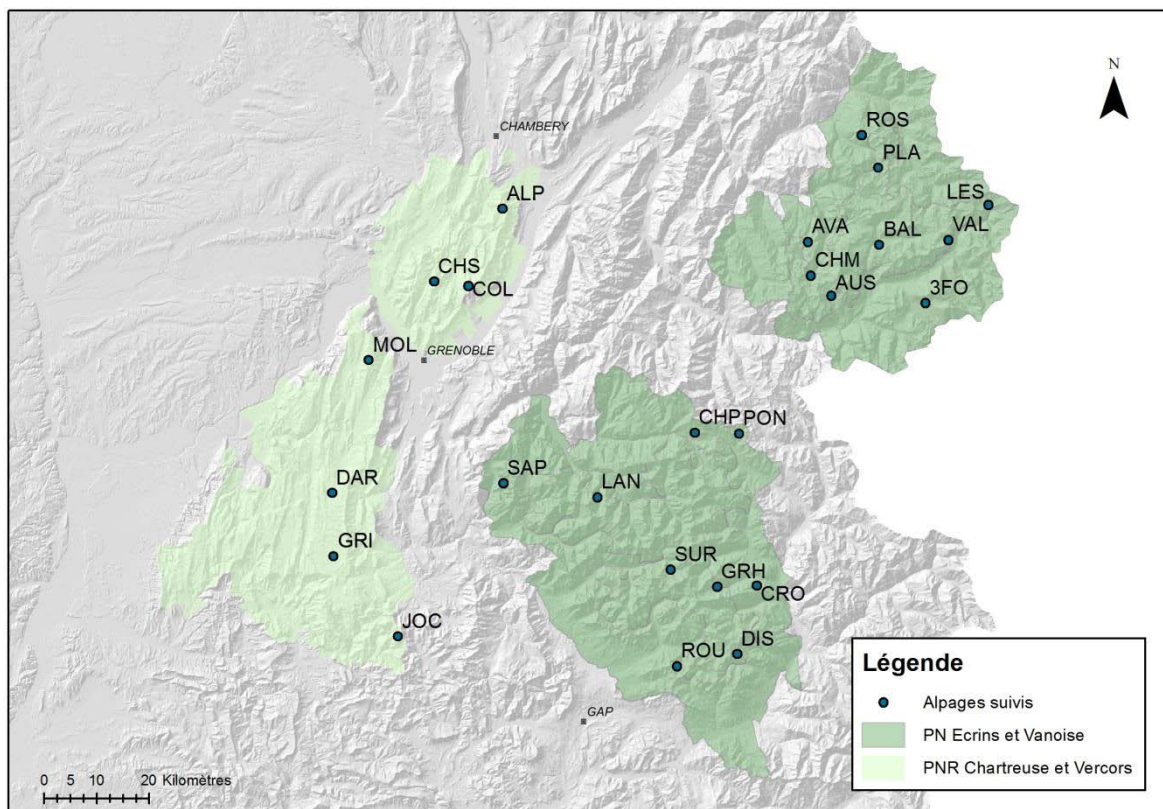


Figure 22 : Les 25 alpages des quatre territoires du dispositif Alpes Sentinelles suivis entre 2008 et 2014.

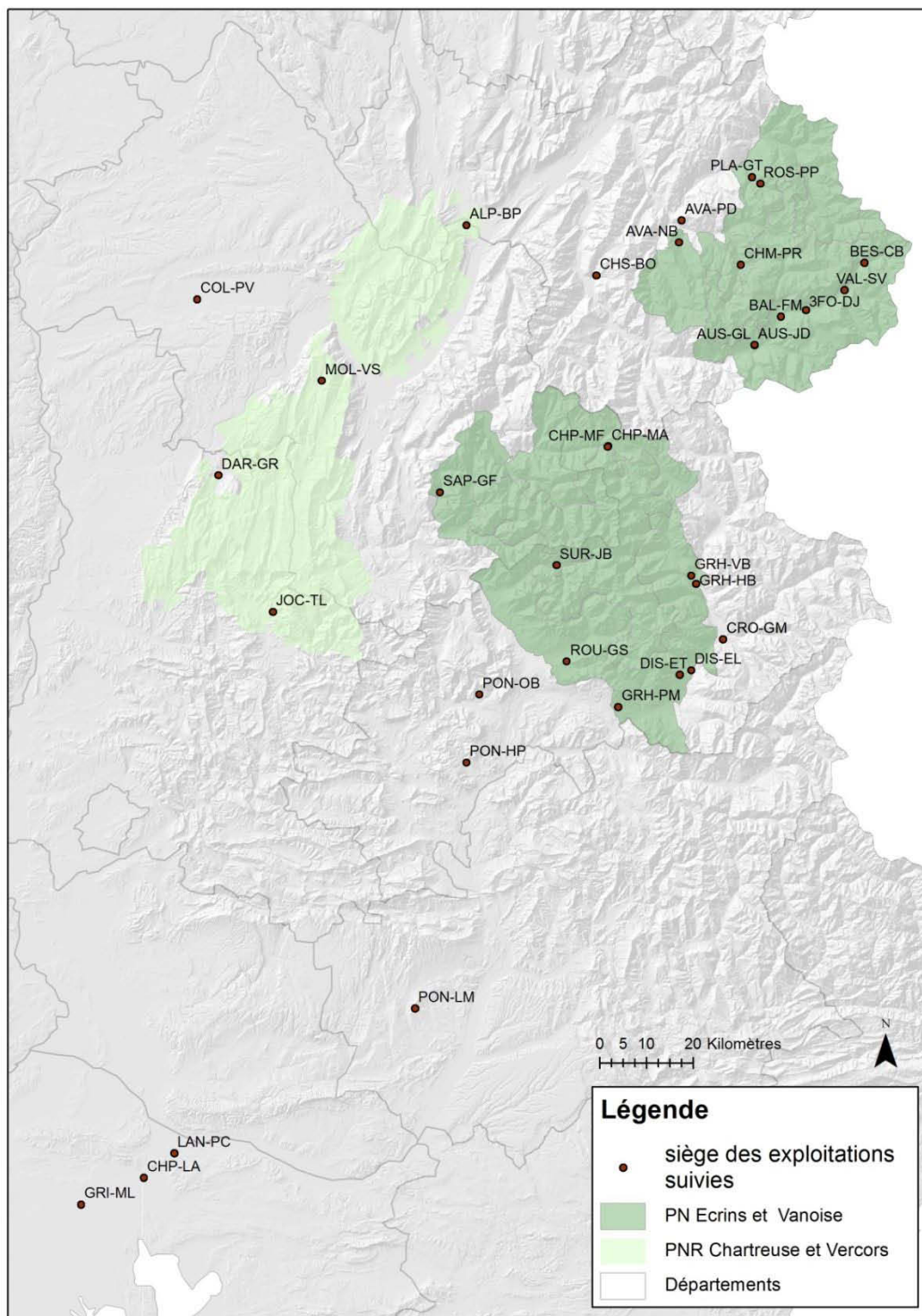


Figure 23 : Les 34 exploitations des quatre territoires du dispositif Alpes Sentinelles suivies entre 2008 et 2014. – les exploitations sont représentées par l'emplacement du bâtiment d'élevage principal.

Les trois premières lettres du nom des exploitations correspondent à l'alpage sentinelle utilisé, les deux lettres suivantes au code de l'exploitation. Exemple : AUS-GL : exploitation GL utilisatrice de l'alpage AUS.



### 3.1.2 Une posture de recherche-action

Parmi les différentes postures de recherche participative décrites par Probst et Hagmann (2003) et Gouttenoire (2010), on peut considérer à de nombreux égards que le dispositif Alpages Sentinelles correspond à une posture « d'apprentissage participatif et de recherche-action » (*participatory learning and action research*) : apprentissages collectifs, savoirs locaux et scientifiques mis sur un pied d'égalité, acteurs multiples aux points de vue éventuellement divergents, chercheurs acteurs du dispositif, méthodologie laissant une place aux expérimentations informelles, aux études de cas. La recherche-action peut être définie comme une co-construction de connaissances avec les acteurs, à qui elles seront utiles (Casabianca et Albaladejo 1997). Les démarches de recherche-action ont souvent une forte dimension constructiviste (Le Page et al. 2010) ; la qualité de la recherche ne passe pas par la preuve comme dans des démarches expérimentales classiques, mais par la qualité de l'argumentation et la rigueur de la démarche (Casabianca et Albaladejo 1997).

L'objet de la thèse ne porte pas sur des questions de posture de recherche, et ce manuscrit de thèse présente le travail de recherche d'une manière académique relativement classique. Néanmoins nous revendiquons au travers de cette thèse une réelle posture de recherche-action, avec une construction de la problématique très progressive et qui doit beaucoup aux échanges avec les acteurs et aux allers-retours sur le terrain. Les bénéfices sont conjoints entre la thèse stricto-sensu et le dispositif de recherche-action : les experts mobilisés dans le travail de modélisation ont été choisis parmi les scientifiques, les techniciens pastoraux et les gestionnaires d'espaces protégés du dispositif. Les alpages et les exploitations suivies dans les quatre premiers territoires engagés dans le dispositif ont été mobilisés dans la phase d'évaluation pour constituer un échantillon diversifié de systèmes alpage-exploitations. En retour les résultats de la thèse visent à permettre des avancées opérationnelles pour les acteurs de ce dispositif.

La posture de recherche-action consiste en un équilibre difficile à tenir dans un travail de recherche. Soulard et al. (2007) montrent ainsi que le fonctionnement des collectifs acteurs-chercheurs passe nécessairement par un certain nombre de « fictions » (non-dits, décalages entre les objectifs scientifiques et opérationnels), qui permettent généralement aux différentes parties prenantes d'y trouver leur compte, mais qui peuvent quand-même être sources de « frictions » entre les chercheurs et les acteurs, liées notamment au fait que les conditions de réalisation de la recherche peuvent être difficiles à maîtriser complètement sur le terrain (calendrier, échantillonnage, mise en œuvre des protocoles...). Ainsi dans ce travail de thèse, le choix des exploitations suivies a été fait en partenariat avec les différents acteurs ; la motivation et le volontariat des éleveurs à s'impliquer dans le dispositif a compté tout autant que les caractéristiques des exploitations et des alpages. Le déroulement des opérations de recherche a nécessité de saisir différentes opportunités de rencontres d'acteurs en salle et sur le terrain, et de s'adapter aux calendriers des différents acteurs, aux fluctuations dans leur motivation et leur disponibilité pour s'impliquer sur ce projet. Ces aspects, qui peuvent paraître contraignants pour la mise en œuvre des opérations de recherche, sont un atout pour que les résultats de recherche soient ensuite utilisés sur le terrain.

## 3.2 Un panel d'experts diversifié, mobilisé dans une démarche de modélisation participative

Le travail de modélisation participative a été principalement conduit avec un groupe d'experts dans le Parc national des Ecrins. L'antériorité du dispositif sur ce territoire avait en effet permis la mise en place de groupes de travail se réunissant régulièrement. Il a fallu accorder une attention particulière

à ne pas construire un modèle trop spécifique aux systèmes des Ecrins. Le risque était d'autant plus grand que le modèle antérieur de fonctionnement d'un alpage (Savini et al. 1995) avait été lui aussi construit à partir d'un alpage du Parc national des Ecrins. La participation de quelques experts ayant une vision à l'échelle du massif a cependant permis d'avoir une vision plus large.

Les phases de modélisation, mises en œuvre dans un processus itératif, ont été complétées par l'analyse de différentes sources de données :

- Nous avons analysé les outils qu'utilisent les techniciens sur les alpages, qui révèlent des représentations du fonctionnement de l'alpage. Ces outils découlent pour une bonne part du modèle de Savini et al. (1995), car il n'est bien entendu pas question de faire table rase de ce modèle mais plutôt de s'appuyer dessus pour en proposer des évolutions
- Nous avons également analysé la façon dont les outils sont utilisés, qui peut dériver de l'usage initial, et révéler ainsi des représentations spécifiques qui témoignent d'un manque dans les représentations initiales. Nous en avons déjà dit quelques mots (cf. section 1.5.2). Pour cela des observations sur le terrain nous ont permis de compléter l'analyse des pratiques décrites au travers de travaux présentés en salle.
- Enfin nous avons mobilisé la bibliographie scientifique en écologie et en agronomie, (1) pour expliciter les implications du changement climatique sur les alpages (ce qui a été développé en première partie de cette thèse), et (2) pour compléter les savoirs experts sur le fonctionnement du système.

Des entretiens individuels ont également été conduits auprès d'écologues et de techniciens pastoraux.

Dans le détail, 8 séquences successives de modélisation participative ont été organisées (Figure 24) ; il s'agissait de séquences d'une à deux heures, réalisés au cours de réunions techniques d'une journée pendant lesquelles d'autres thématiques étaient traitées. Parmi le panel d'experts mobilisés (voir Tableau 2) un cercle restreint de 4 personnes, dont moi-même comme doctorant (BN), a été présent à pratiquement toutes les séances, et a suivi la construction progressive du modèle. Un cercle plus large d'acteurs a participé plus ponctuellement à la démarche. La Figure 25 présente les différentes séquences de modélisation participative. Entre les différentes séquences, des phases de recherche bibliographique, des entretiens individuels avec des écologues et des techniciens pastoraux ont permis d'apporter des connaissances complémentaires retravaillées ensuite collectivement.

La construction du modèle biophysique s'est principalement appuyée sur les phases de modélisation participative. Entre chaque phase, des recherches bibliographiques et des entretiens avec des écologues ont permis d'affiner le modèle. A l'inverse, le modèle de gestion s'est d'abord appuyé sur un travail bibliographique en agronomie qui a permis de poser les bases du modèle. En complément, des entretiens individuels auprès de techniciens pastoraux ont été réalisés, en salle mais aussi sur le terrain au cours de tournées de fin d'estive qui sont une bonne opportunité pour échanger sur le modèle et le confronter à des situations réelles. Ces entretiens sur le terrain ont été réalisés dans le Parc national des Ecrins, mais aussi dans celui de la Vanoise et dans le Parc naturel régional du Vercors, ce qui a permis de confronter le modèle à une diversité de contextes. Enfin une session collective a été organisée, qui a permis de valider le modèle de gestion et de tester collectivement son opérationnalité sur un cas.

Code expert	Fonction
AS	Technicien pastoral (échelle départementale, Hautes-Alpes)
BC	Technicien pastoral (échelle départementale, Isère)
JV	Technicien pastoral (échelle départementale, Isère)
LG	Technicien pastoral (échelle régionale, PACA), docteur en écologie
RM	Technicien pastoral (échelle départementale, Savoie)
SG	Conseiller territorial Chambre d’Agriculture (échelle départementale, Hautes-Alpes)
SV	Technicien pastoral (échelle départementale, Hautes-Alpes)
TR	Technicien pastoral (échelle départementale, Drôme)
CD	Service scientifique du Parc national des Ecrins (botaniste)
CS	Service scientifique du Parc national des Ecrins (chargé de mission dispositif de suivis)
MD	Chargé de mission agriculture du Parc national des Ecrins
RB	Service scientifique Parc national des Ecrins (direction)
VA	Service scientifique Parc national de la Vanoise (chargé de mission milieux naturels)
BN	Scientifique (agronome)
LD	Scientifique (agronome)
MC	Scientifique (écologue)
PC	Scientifique (écologue, éco-climatologue)
SL	Scientifique (écologue)
OS	Phytoécologue indépendant (échelle massif)

Tableau 2 : Collectif d’experts mobilisés durant les phases de modélisation participative et les entretiens individuels

*En gras : cercle restreint d’experts fortement impliqués dans le processus*



Figure 24 : Séance de modélisation participative du 4 février 2015 (Crédit photo : R. Bonet)

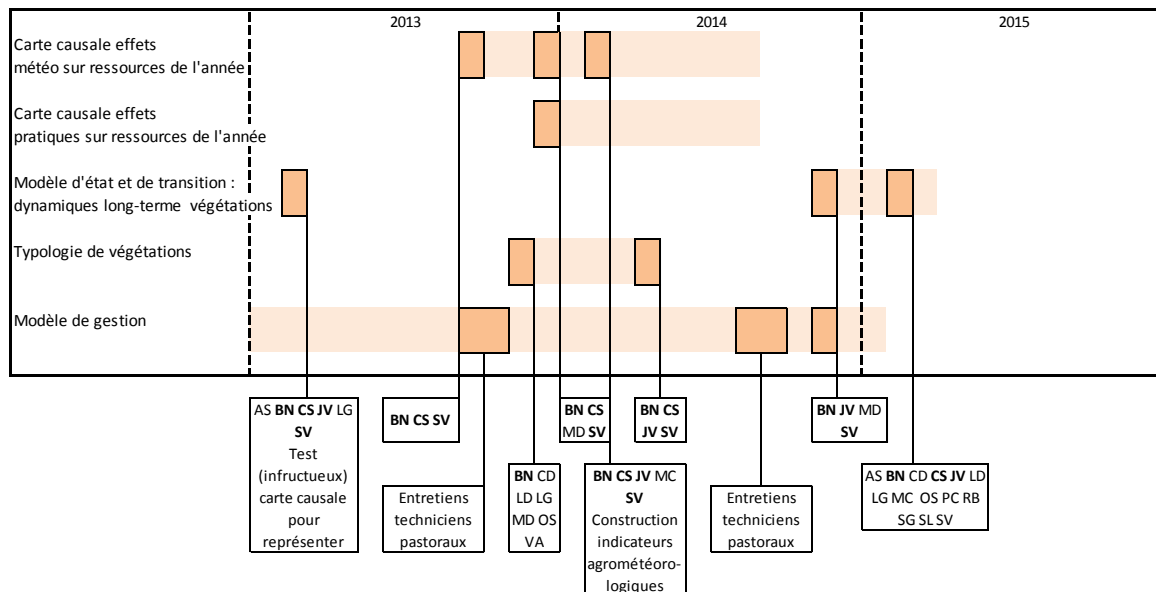


Figure 25 : Déroulement du processus de modélisation participative

*En gras : cercle restreint d’experts fortement impliqués dans le processus*

### 3.3 Une évaluation du modèle à partir de l’analyse d’un échantillon diversifié de cas suivis sur plusieurs années

Pour évaluer le modèle, on analyse la vulnérabilité aux aléas climatiques et la résilience au changement climatique de l’échantillon d’alpages et d’exploitations qui ont été suivis dans le dispositif Alpages Sentinelles depuis le démarrage du projet en 2008 jusqu’en 2014.

#### 3.3.1 Échantillonnage des alpages

L’échantillonnage des alpages a été effectué dans l’objectif d’avoir une diversité de climats locaux et de systèmes (Tableau 3). Pour le travail de thèse comme pour le dispositif Alpages Sentinelles, nous n’avons pas recherché de représentativité statistique, le but étant bien de comprendre les mécanismes à l’œuvre (impact du changement climatique et adaptation) dans toute leur diversité et pas d’évaluer quantitativement sur un territoire les impacts du changement climatique ou la vulnérabilité des systèmes.

Les alpages ont donc été échantillonnés d’abord suivant leur répartition géographique dans les différents territoires, pour couvrir une diversité de conditions pédoclimatique et géomorphologiques (Figure 23)<sup>13</sup>. Ainsi dans les Ecrins, massif rayonnant sur différentes vallées autour du cœur, avec des vallées exposées aux flux d’ouest, assez arrosées et des vallées internes plus sèches, au minimum un alpage a été sélectionné par vallée. En Vanoise, les alpages ont été répartis entre les deux versants du massif que sont la vallée de la Tarentaise (arrosée) et la vallée de la Maurienne (vallée interne, plus sèche). Dans le Vercors, l’échantillon d’alpages couvre un gradient nord-sud correspondant à un

<sup>13</sup> La dispersion géographique permet aussi d’utiliser les alpages comme support d’animation locale.

gradient d'influence du climat méditerranéen structurant pour ce territoire. En Chartreuse où la variabilité climatique est limitée à l'échelle du territoire, ce critère a peu été pris en compte.

L'échantillonnage a aussi visé à avoir une diversité de systèmes :

- en termes d'animaux estivés : ovins allaitant, bovins allaitants et/ou génisses, bovins lait (avec ou sans transformation fromagère),
- en termes de nombre d'éleveurs, depuis des alpages individuels jusqu'à un groupement pastoral de 26 éleveurs,
- en termes de caractéristiques des systèmes d'élevage utilisateurs, notamment leur provenance, avec des exploitations venant (1) de la commune, (2) d'un peu plus loin dans le département, (3) des transhumants originaires d'un autre département, ou (4) un mélange des différentes catégories

Le choix des alpages suivis sur les différents territoires a visé à la fois à représenter la diversité des systèmes et des contextes sur chaque territoire, et une certaine complémentarité entre les territoires. Ainsi, par exemple en Vanoise, six alpages bovins laitiers sont suivis (systèmes quasi absents sur les autres territoires), et uniquement deux alpages ovins et un alpage à génisses.

On peut aussi noter des différences importantes de tailles (en UGB) et de configurations (exposition, altitude et étagement altitudinal) des alpages, qui peuvent avoir une influence sur leur fonctionnement. Ces critères n'ont pas été des critères d'échantillonnage, mais sont des conséquences indirectes des critères de sélection retenus (Tableau 3).

Les alpages de notre échantillon ont été suivis de 1 à 7 années (2008-2014). Un alpage en Vanoise (3FO) a quitté le dispositif après trois années de suivi. Des éléments de l'année 2015 ont parfois pu être intégrés dans les analyses de manière qualitative et partielle, lorsqu'ils ont permis d'apporter un éclairage spécifique.

On peut se demander si la diversité échantillonnée permet de bien représenter la diversité des alpages à l'échelle des Alpes françaises. Pour cela nous comparons les caractéristiques des alpages à celles des unités pastorales recensées dans l'enquête pastorale réalisée entre 2012 et 2014 sur l'ensemble des Alpes françaises<sup>14</sup>.

En termes de répartition spatiale, il manque des alpages sentinelles en Haute-Savoie et dans les Alpes de Haute-Provence et les Alpes Maritimes, où il n'y avait pas de territoires ayant mis en œuvre le programme Alpages Sentinelles jusqu'en 2014. En termes de configuration, il y a en Haute-Savoie de nombreux petits alpages laitiers, fortement chargés et avec un faible étagement altitudinal, très caractéristiques de ce département (Figure 26 à Figure 28). Il nous manque ce type de configuration pour avoir une vision d'ensemble de la diversité des alpages dans les Alpes Françaises.

---

<sup>14</sup> Données issues de l'enquête pastorale du Massif Alpin et des territoires pastoraux des régions Rhône-Alpes et PACA, 2012-2014. Opération soutenue par l'Union Européenne (FEADER), l'Etat (DATAR), le Conseil Régional Rhône-Alpes, le Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, les Conseils Généraux des Alpes de Haute-Provence, des Alpes-Maritimes, des Bouches-du-Rhône, du Var, du Vaucluse, de l'Ain, de l'Ardèche et de la Drôme et par l'Assemblée des Pays de Savoie.

Code alpage	Type de système	Nombre exploit° utilisatrices*	Origine géogr. exploit°	Effectifs max approx. (UGB)*	Altitude min alpage (m)	Altitude max alpage (m)	Commandement (étagement altitudinal) (m)	Période de suivi
<b>Ecrins</b>								
GRH	Ov	5	C/TP	270	1500	2900	1400	Depuis 2009
CRO	Ov	1	TP	110	1500	2700	1200	Depuis 2008
ROU	Ov	3	C	170	1700	2500	800	Depuis 2009
SUR	Ov	3	C	150	1400	2600	1200	Depuis 2008
LAN	Ov	1	GT	85	1400	2900	1500	Depuis 2009
SAP	Ov/BA-G	5	C	140	1100	240	1300	Depuis 2009
CHP	Ov	6	C/GT	200	1700	2700	1000	Depuis 2008
PON	Ov	3	GT	130	1900	2800	900	Depuis 2009
DIS	BA-G	5	C	90	1900	2600	700	Depuis 2009
<b>Vanoise</b>								
3FO	BL	1	C	40	2000	2500	500	2011 à 2013
LES	Ov	1	C	30	2200	2900	700	Depuis 2011
VAL	BL	1	C	30	2100	2400	300	Depuis 2011
BAL	BL	1	C	20	2000	2400	400	Depuis 2011
AUS	Ov	7	C	190	1900	3000	1100	Depuis 2011
CHM	BL	1**	C/TP	130	1900	2500	600	Depuis 2011
AVA	BL	11	C/TP/GT	210	1800	2500	700	Depuis 2011
PLA	Ov/BA-G	1**	C/TP	180	1600	2700	1100	Depuis 2011
ROS	BL	1	C	220	1900	2600	700	Depuis 2011
<b>Vercors</b>								
MOL	BA-G	26	C/TP	160	1400	1700	300	Depuis 2012
DAR	Ov	1	TP	180	1300	2000	700	Depuis 2012
JOC	Ov	6	TP	150	1000	2100	1100	Depuis 2012
GRI	Ov	2	GT	330	1500	1900	400	Depuis 2012
<b>Chartreuse</b>								
COL	Ov	3	TP	170	1400	2000	600	Depuis 2014
CHS	BL	4	TP	80	1600	1900	300	Depuis 2013
ALP	BA-G	10	C	160	1500	1900	400	Depuis 2013

Tableau 3 : Caractéristiques des alpages de l'échantillon étudié

*Origine géographique des exploitations : C : commune ; TP : transhumant proche ; GT : grand transhumant*

*Type de système : Ov : ovins allaitants ; BA-G : bovins allaitants et/ou génisses ; BL : bovins laitiers*

*\*Nombre d'exploitations utilisatrices : les valeurs indiquées ont pu varier un peu au cours des années de suivi. Pour les effectifs, les valeurs sont approximatives : les différentes catégories d'animaux n'ont pas été comptabilisées de la même manière dans les différents territoires, et les effectifs varient parfois en cours de saison et d'une année à l'autre.*

*\*\* Alpagistes (prise en pension des animaux d'autres exploitations)*

Il manque aussi des alpages du Sud du massif et donc des situations d’alpage subissant une influence marquée du climat méditerranéen. Néanmoins on dispose déjà dans notre échantillon d’un gradient Nord-Sud important, et d’une répartition entre des vallées arrosées et sèches qui accentue ce gradient. Même si les alpages au sud du massif sont globalement assez étagés (Figure 28), les alpages de notre échantillon les plus au sud disposent d’un étagement altitudinal particulièrement important (tous les alpages sentinelles des Ecrins ont un étagement altitudinal supérieur à 1000 mètres dans l’enquête pastorale<sup>15</sup>), ce qui est sans doute un facteur clé pour l’adaptation aux sécheresses (étalement du déneigement et de la pousse de l’herbe).

En termes d’orientation et de types d’animaux estivés (Tableau 4), nous couvrons la quasi-totalité des situations. Nous n’avons toutefois pas échantillonné d’alpages caprins et équins, qui représentent respectivement seulement 1% et 2% des alpages recensés dans les Alpes françaises.

En termes de caractéristiques plus précises sur la gestion des alpages, enfin, le biais majeur que l’on peut identifier est l’absence d’alpages non gardés dans l’échantillon. A l’échelle du massif alpin, 88% des unités pastorales à fonction d’estive sont gardées. Mais si cette proportion monte à 98% pour les alpages bovins laitiers, elle n’est que de 86% pour les alpages ovins, et de 84% pour les alpages bovins non laitiers. Il a été fait le choix dans le dispositif Alpages Sentinelles de ne suivre que des alpages gardés, pour pouvoir disposer d’une présence permanente sur les alpages à même de réaliser des observations, et parce qu’il a été considéré qu’en l’absence de gardiennage, les marges de manoeuvre en alpage étaient extrêmement limitées, et que ce n’était pas sur ces alpages que l’on pourrait acquérir des références pour l’adaptation au changement climatique. En sélectionnant des alpages gardés, nous avons par ailleurs sélectionné des « gros » alpages : 95% des unités pastorales avec plus de 1000 ovins sont gardés, 66% de ceux ayant entre 300 et 1000 ovins ( $\approx$  150 UGB), et 31% de ceux ayant moins de 300 ovins (calcul effectué sur tous les alpages avec ovins présents au 15 juillet ; notion différente de l’orientation « Ovins »).

Intitulé	Définition par rapport aux animaux pâturant	Nombre d'alpages	%
Autres	%UGB autres espèces $\geq$ 80% des UGB totales	1	0%
Bovins non lait	%UGB bovins $\geq$ 80% des UGB totales ET VL pâturant = 0	1147	38%
Bovins VL	%UGB bovins $\geq$ 80% des UGB totales ET %UGB VL en production $\geq$ 80% des UGB Bovins	689	23%
Caprins	%UGB caprins $\geq$ 80% des UGB totales	45	1%
Équins – asins	%UGB équins-asins $\geq$ 80% des UGB totales	62	2%
Ovins	%UGB ovins $\geq$ 80% des UGB totales	892	30%
Troupeaux mixtes	Autres cas	176	6%

Tableau 4 : Orientation des alpages dans l’enquête pastorale (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d’estive)

<sup>15</sup> L’étagement altitudinal, ou commandement, des alpages établi au travers de l’enquête pastorale n’est pas le même que celui indiqué dans le Tableau 3, qui est établi de manière beaucoup plus précise au travers de diagnostics pastoraux précisant les limites de pâturage des animaux.

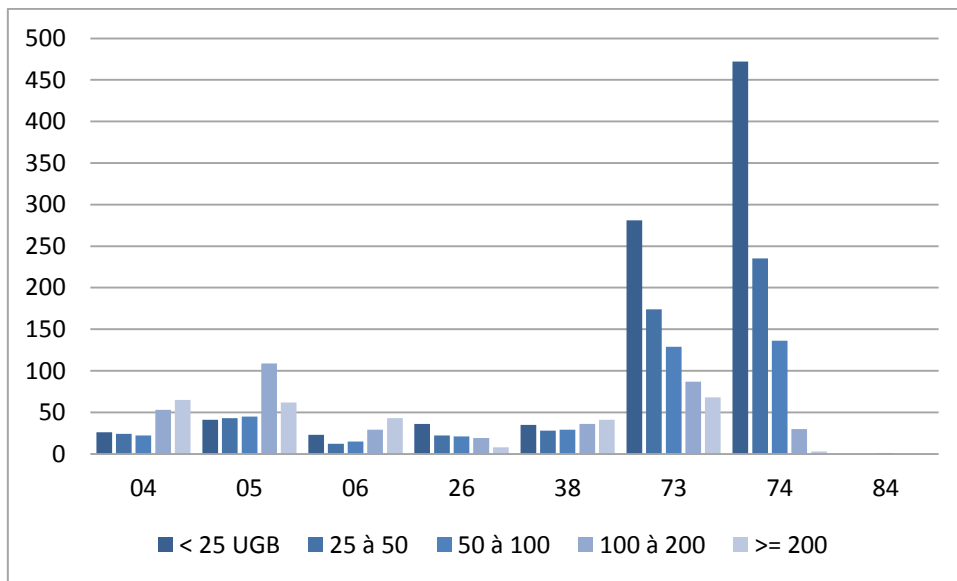


Figure 26 : Nombre d’alpages par classe de nombre d’UGB présentes au 15 juillet, par département dans le massif alpin (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d’estive)

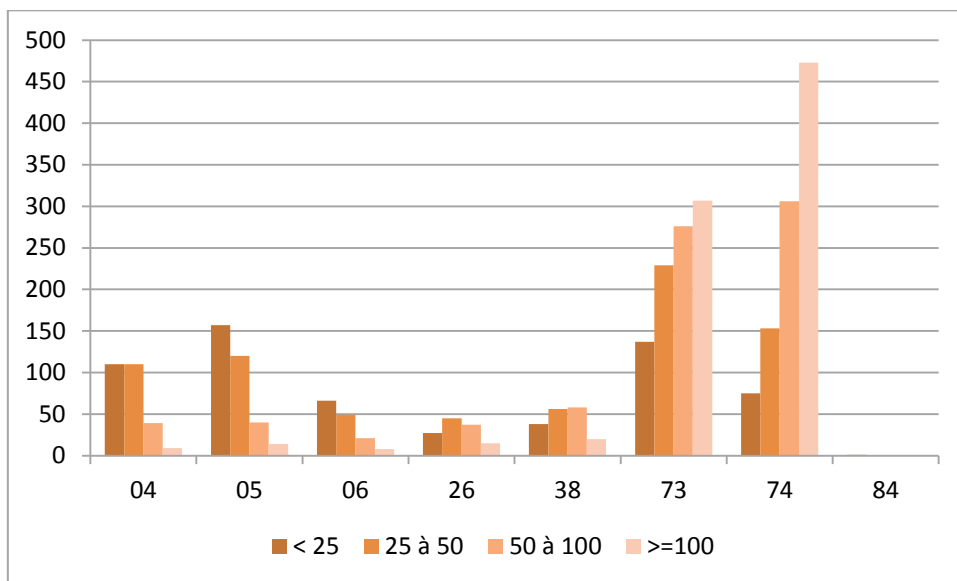


Figure 27 : Nombre d’alpages par classe de chargement (en journées UGB pâturant/ha), par département dans le massif alpin (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d’estive)

D’après l’Enquête Pastorale, les alpages sentinelles les plus chargés auraient entre 90 et 100 journées UGB/ha : il s’agit de CHA, ROS et COL ; 12 alpages sentinelles sont dans la classe < 25



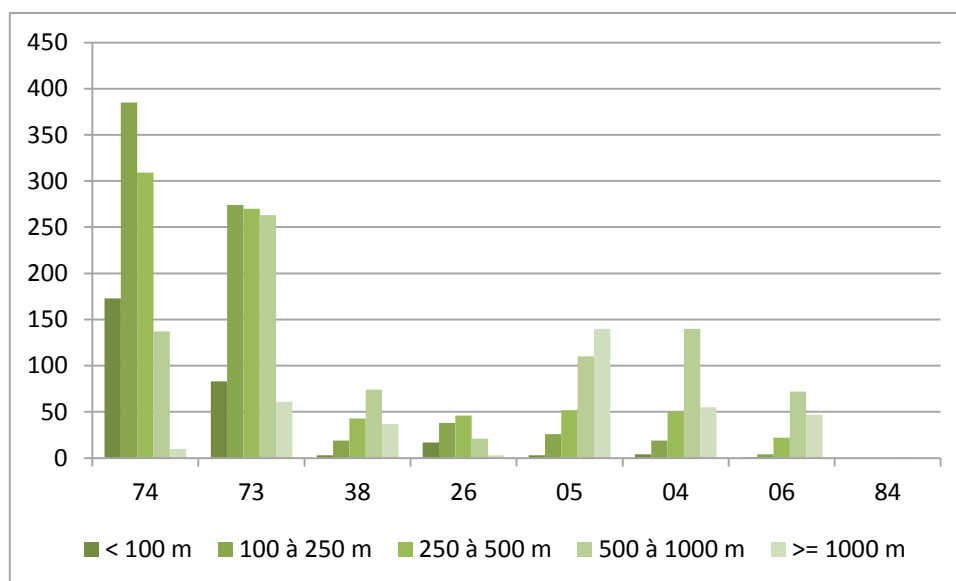


Figure 28 : Nombre d’alpages par classes d’étagement altitudinal, par département dans le massif alpin (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d’estive)

### 3.3.2 Echantillonnage des exploitations suivies

Des suivis ont également été réalisés sur les 34 exploitations (Tableau 5). Sur les alpages collectifs, toutes les exploitations n’ont pas pu être suivies (contraintes de temps et budgétaires). La sélection des exploitations suivies a visé à saisir la diversité des systèmes sur chaque alpage, en termes de taille de troupeau, d’origine géographique, et de caractéristiques des systèmes fourragers (fortement conditionnés par l’origine géographique). Des contraintes ont parfois pu limiter le choix des exploitations, comme le manque de motivation de certains éleveurs, ou l’instabilité du collectif d’éleveurs : sur l’alpage CHP accueillant des éleveurs locaux et grands transhumants, mais où les grands transhumants changeaient chaque année au début des suivis, nous avons d’abord suivi deux exploitations locales dont les fonctionnements étaient très proches. Puis nous avons pu suivre un grand transhumant qui a stabilisé sa présence sur l’alpage. Dans certains cas où les différentes exploitations semblaient avoir un fonctionnement proche, une seule exploitation a été suivie.

Hormis le cas de l’exploitation JD utilisatrice de l’alpage 3FO, qui a volontairement quitté le dispositif, nous avons également 2 cas d’exploitations qui ont changé d’alpage (OB sur l’alpage PON et MA sur l’alpage CHP). Dans ces deux cas nous avons suivi en remplacement une nouvelle exploitation sur l’alpage (respectivement HP et LA).

Code alpage	Nb expl. suivies/nb expl. utilisatrices	Code exploitation	Origine géogr. expl.	Système*	Alti. siège d'exploit.	Période de suivi
<b>Ecrins</b>						
DIS	2/4	ET	C	VL GE	1200	Depuis 2009
		EL	C	VA	900	Depuis 2009
GRH	3/5	HB	C	OV TA	950	Depuis 2009
		VB	C	OV MIX	1150	Depuis 2009
		PM	TP	OV AG	1100	Depuis 2009
CRO	1/1	GM	TP	OV MIX	950	Depuis 2008
PON	2/3	HP	TP	OV TA	850	Depuis 2013
		LM	GT	OV TA	650	Depuis 2009
		OB	TP	OV TA	1000	2009-2012
ROU	1/3	GS	C	OV MIX	1400	Depuis 2009
SUR	1/3	JB	C	OV MIX	1050	Depuis 2008
SAP	1/5	GF	C	OV MIX	1000	Depuis 2009
LAN	1/1	PC	GT	OV MIX	100	Depuis 2009
CHP	2/6	MF	C	OV MIX	1700	Depuis 2008
		LA	GT	OV AG	80	Depuis 2014
		MA	C	OV MIX	1700	2008-2012
<b>Vanoise</b>						
LES	1/1	CB	C	VL OV CH	1800	Depuis 2011
VAL	1/1	SV	C	VL ALP	1600	Depuis 2011
BAL	1/1	FM	C	VL ALP	1300	Depuis 2011
3FO	1/1	DJ	C	VL ALP	1400	2011-2013
AUS	2/7	GL	C	OV TA	1450	Depuis 2011
		JD	C	VL OV CH	1450	Depuis 2011
CHM	1/1	PR	C	VL ALP	1400	Depuis 2011
AVA	2/11	PD	C	VL ALP	1200	Depuis 2011
		NB	C	VLALP	1250	Depuis 2011
PLA	1/1	GT	C	OVTA	1300	Depuis 2011
ROS	1/1	PP	C	VLALP	1500	Depuis 2011
<b>Vercors</b>						
MOL	1/26	VS	C	VL	1100	Depuis 2012
DAR	1/1	GR	TP	OVMIX	250	Depuis 2012
JOC	1/6	TL	TP	OV AG	650	Depuis 2012
GRI	1/2	ML	GT	OV AG	50	Depuis 2012
<b>Chartreuse</b>						
COL	1/3	PV	TP	OV TA	350	Depuis 2014
CHS	1/4	BO	TP	VL ALP	750	Depuis 2013
ALP	1/10	BP	C	VA	800	Depuis 2013

Tableau 5 : Caractéristiques des exploitations suivies

Système : OVAG : ovins avec agneaux sur l'exploitation ; OVTA : ovins avec tardons (agneaux engraisés en alpage) ; OVMIX : ovins avec agneaux bergerie + tardons ; VL : Vaches laitières ; VLALP : Vaches laitières + Lait en alpage ; VLGE : Vaches laitières + génisses prêtes à vêler ; VA : Vaches allaitantes (broutards) ; OVVA : Ovins + Vaches allaitantes ; OVGE : Ovins + génisses prêtes à vêler ; VLOV : Vaches laitières + Ovins ; VLOVCH : Vaches laitières + Ovins + chèvres ; OVCH : Ovins + Chèvres  
 Origine géographique des exploitations : C : commune ; TP : transhumant proche ; GT : grand transhumant

L’échantillon ainsi sélectionné balaie une gamme assez large de systèmes fourragers en termes de calendrier et de type de végétations mobilisées, depuis des systèmes où les animaux ne sont pratiquement jamais en bâtiment jusqu’à des systèmes où l’hivernage dépasse les 6 mois et la moitié des besoins alimentaires du troupeau ; depuis des systèmes basés sur la prairie jusqu’à des systèmes très pastoraux, depuis des systèmes n’envoyant qu’une part réduite de leurs animaux en alpage jusqu’à des systèmes répartissant l’ensemble de leurs animaux sur plusieurs alpages (Figure 29).

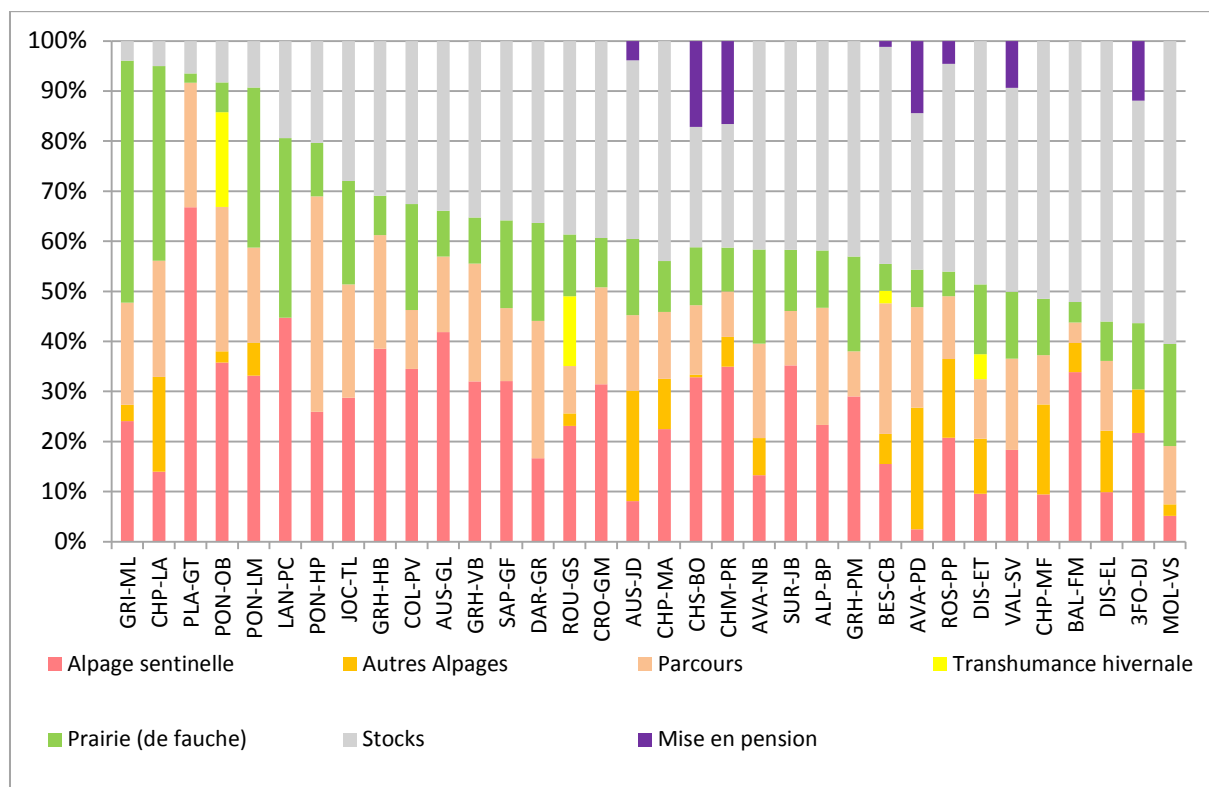


Figure 29 : Contribution de différents types de végétation à l'alimentation du troupeau des exploitations suivies dans le réseau Alpages Sentinelles, en % de journées UGB sur l'année civile.

Données 2014 sauf DJ, MA, OB : données 2011. Exploitations ordonnées par proportion croissante de l’hivernage (alimentation sur stock et mise en pension hivernale croissante).

L’exploitation GT est une petite exploitation ovine qui prend en pension un grand nombre de bovins sur l’alpage PLA. C’est ce qui explique la forte contribution de l’alpage.

### 3.3.3 Suivis réalisés

Parmi tous les suivis réalisés dans le cadre du dispositif Alpages Sentinelles, nous ne décrivons ici que ceux qui ont trait à la gestion des alpages et des exploitations et qui sont mobilisés dans cette thèse.

Chaque année des suivis sont faits sur les alpages et les exploitations. Ces suivis ont pour objectifs (1) de comprendre le fonctionnement des alpages et des exploitations et (2) de comprendre comment s’est déroulée la saison d’alpage/l’année (pour les exploitations), en particulier comment les bergers et les éleveurs ont perçu la météo et comment ils ont ajusté leurs pratiques face aux aléas subis.

Nous adoptons une logique d’approche globale (Bonneviale et al. 1989), c’est-à-dire que nous cherchons à comprendre quels sont les objectifs des éleveurs et des bergers, quelles sont les différentes contraintes internes et externes aux exploitations et aux alpages, et comment cela se traduit dans les pratiques (Landais et Balent 1995). Nous cherchons donc à comprendre la cohérence

globale du fonctionnement de ces systèmes et les raisons des pratiques. Une attention particulière est portée au système fourrager (Duru et al. 1988b) ; nous reconstituons en détail et de manière spatialisée (Soulard 2005b) le calendrier d'alimentation des différents lots d'animaux et renseignons le type de végétation consommée. Une approche sommaire de l'organisation du travail (Madelrieux et al. 2009) vise à cerner l'influence de ce facteur sur les modes de conduite du troupeau et de gestion de l'espace.

Les protocoles ont été mis en place avant que nous n'élaborions le concept de système alpage-exploitations. Les suivis sont donc réalisés de manière indépendante sur les alpages et sur les exploitations. Sur les suivis en alpage, il est peu porté d'intérêt aux interactions avec les exploitations, si ce n'est vis-à-vis de l'évolution des effectifs. Sur les exploitations on s'attache à essayer de comprendre la place des alpages dans le système fourrager : contribution quantitative, mais aussi fonction dans le système fourrager, articulation des différentes ressources, ressource centrale dans la construction du calendrier de pâturage ou ressource annexe d'appoint. Il n'a pas été possible d'organiser un suivi spécifique du fonctionnement des groupements pastoraux en tant que système décisionnel. Or on peut penser que ces instances ont leur logique propre qui n'est pas la somme des logiques individuelles des exploitations. Nous y reviendrons en discussion (section 8.2.1.1 notamment).

Les données sont collectées au cours d'un entretien semi-directif réalisé par un technicien pastoral chaque année avec le berger (en fin de saison d'alpage) et un entretien réalisé par un binôme conseiller agricole-chercheur avec un éleveur de chaque exploitation suivie (entretien conduit dans l'hiver, pour revenir sur l'année passée et s'intéresser à l'avant et à l'après estive). Le mode semi-directif facilite l'explicitation des raisons des pratiques et la compréhension de la logique globale du fonctionnement du système.

Sur les alpages, en complément, un cahier d'alpage est utilisé comme support au cours de l'entretien. Sur ce cahier le berger renseigne ses pratiques ainsi que différentes observations quantitatives ou qualitatives ; en général le cahier est complété avant l'entretien ; parfois il est complété pendant l'entretien.

Sur les alpages, une tournée de fin d'estive est également effectuée par un technicien pastoral, le plus souvent avec un agent du Parc, parfois également avec le berger et des éleveurs, et parfois aussi avec un chercheur. Au cours de cette tournée de fin d'estive le niveau de consommation de la ressource est quantifié au moyen d'une grille de notation (Garde et al. 2014a) (Figure 11) et des éléments qualitatifs sont notés (par exemple dégradation de la végétation, consommation hétérogène des différents faciès...). Lorsque le berger est présent, c'est l'occasion de faire expliciter de manière détaillée les raisons des pratiques.

Sur tous les alpages, un diagnostic pastoral a également été réalisé il y a quelques années (CERPAM et Parc national des Ecrins 2006), qui permet de faire un état des lieux précis à un instant t, et d'avoir une bonne idée globale de la gestion des alpages, des types de milieux présents, des principales contraintes de gestion, qui peuvent être liées aux végétations, aux équipements, à des problématiques agri-environnementales, touristiques (chemins de randonnée)... Ce diagnostic constitue donc une bonne base pour comprendre le fonctionnement des alpages.

Sur les exploitations il n'y a pas de visite de terrain ; des photos aériennes avec le parcellaire des exploitations servent de support durant l'entretien. Elles permettent de situer dans l'espace les pratiques. Elles sont également utiles pour faire expliciter les propos de l'éleveur : souvent des contraintes d'organisation spatiale expliquent les pratiques ; elles peuvent facilement être décrites sur ce support (morcellement du parcellaire, obstacle à la circulation des troupeaux...). Parfois un calendrier de pâturage est tenu par l'éleveur, qui sert alors de support durant l'entretien comme le cahier d'alpage sur les alpages. Enfin lorsque les données sont disponibles, une analyse économique est effectuée à partir des données comptables de l'exploitation. Cette analyse est orientée en fonction des problématiques identifiées sur chaque exploitation ; elle permet de confirmer et quantifier les contraintes économiques décrites par les éleveurs.

Les calendriers d'alimentation des animaux sont renseignés dans une base de données spatialisée développée sous Postgresql/Postgis. Cela permet de pouvoir facilement réaliser différents traitements au moyen de requêtes ad hoc (Monteix et al. 2015, Trommenschlager et al. 2015), par exemple calculer des indicateurs ou réaliser des graphiques pour suivre l'évolution des systèmes fourragers et les comparer : part de différents types de végétation dans l'alimentation du troupeau (Figure 29), ampleur des variations de pratiques d'une année sur l'autre, calendriers de pâturage... Une interface web a été construite, ce qui permet de réaliser quelques sorties de graphiques et d'indicateurs en routine.

Le fait de privilégier des suivis annuels plutôt que des enquêtes en un ou deux passages présente différents intérêts. Il permet d'abord d'affiner progressivement la compréhension du fonctionnement du système. Il permet également de suivre au cours du temps l'évolution des systèmes et de s'affranchir des biais de reconstruction a posteriori qu'on peut avoir avec les approches de reconstitution des trajectoires des systèmes (Cialdella et al. 2009). Les suivis pluriannuels ont également montré leur pertinence pour étudier les impacts de la variabilité climatique sur les exploitations (Devun et al. 2013, Mosnier et al. 2013). Ils permettent enfin de suivre année après année les ajustements réalisés face à différents aléas (une enquête ne permet pas de reconstituer de manière très précise des pratiques datant de plus d'un an), et de suivre progressivement les transformations des systèmes.

Ce type de suivis, réalisé chez des éleveurs motivés « partenaires » du Parc et de l'accompagnement technique agricole a sans doute conduit à sélectionner des systèmes plutôt performants sur lesquelles il est intéressant de s'appuyer pour acquérir des références, un peu selon la logique des « Réseaux d'Élevage pour le Conseil et la Prospective » (Charroin et al. 2005).

### **3.3.4 Aléas subis durant les années de suivi**

Au cours de ces différentes années de suivi, il n'y a pas eu d'aléa climatique de l'ampleur des sécheresses de 2003, 2004 (Alpes du Sud) ou 2005 (voir Figure 8, page 25). Par contre il y a eu une diversité d'aléas assez marqués, qui nous permettent d'analyser les capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations à une grande variabilité climatique. Dans l'ensemble les aléas climatiques marquants durant les années de suivi ont été observés autant dans les Alpes du Nord que dans les Alpes du Sud, sauf en 2009 et 2010 (Figure 30) ; ces aléas n'ont pas été perçus de manière identique sur tous les systèmes alpage-exploitations, révélant sans doute des différences de sensibilité aux aléas. Les aléas subis et perçus durant les années de suivi, et qui caractérisent ces années, peuvent être résumés de la manière suivante :

- 2008 : année caractérisée par des précipitations assez abondantes au printemps et en été, qui ont compliqué la récolte des fourrages. Les rendements sont bons. L'échantillon d'exploitations suivies en 2008 étant néanmoins très réduit, il est difficile de donner des tendances quant à la perception et aux impacts de la météorologie cette année-là.
- 2009 : année marquée par un déficit hydrique cumulé sur le printemps et l'été assez marqué à la station de Bourg St Maurice, mais peu marqué à Embrun. Localement l'été a donc été perçu comme assez sec, avec des difficultés sur les alpages et des stocks fourragers réduits.
- 2010 : année sans gros aléa. L'été a été assez sec sur Embrun, mais cela n'a pas été ressenti comme un aléa majeur.
- 2011 : printemps très sec, suivi d'un été très arrosé. Les exploitations de plaine et de moyenne montagne ont fortement ressenti la sécheresse de printemps, qui s'est traduite par des rendements très faibles sur les premières coupes. Avec l'été pluvieux les secondes et troisièmes coupes ont été meilleures que d'habitude et ont permis de rattraper partiellement la sécheresse. Les exploitations de haute-montagne, plus tardives, n'ont pas perçu la sécheresse, qui s'est terminée avant que les déficits hydriques soient marqués. Sur les alpages, malgré quelques inquiétudes en début d'estive, la saison s'est bien passée.
- 2012 : année marquée par une sécheresse forte en été. Cette sécheresse a affecté les regains sur les exploitations ; elle a également été ressentie sur certains alpages (Vercors en particulier).
- 2013 : le printemps 2013 a été très tardif (températures froides, et enneigement important). L'été est resté froid aussi (Embrun). Cela s'est traduit par un décalage important des végétations, fortement ressenti à toutes les altitudes. Pas de manque d'herbe en alpage en général, sauf dans quelques cas où la montée n'a pas pu être retardée, et où les bergers ont en permanence dû faire pâturer une herbe trop jeune.
- 2014 : l'année a été marquée par un été extrêmement pluvieux, avec des conséquences en termes de qualité des fourrages récoltés, et en alpage de nombreux problèmes sanitaires et de pénibilité du travail. Le niveau des précipitations, tout comme celui des déficits hydriques, est proche de celui de 2011 ; pourtant l'été 2014 a marqué les esprits comme un été d'exceptionnel mauvais temps. Sans doute la répartition des précipitations (presque tous les jours en juillet) explique-t-elle cette perception.
- 2015 : si aucune des saisons ne montre un niveau de sécheresse exceptionnel, 2015 cumule un printemps et un été assez secs, et des températures record en été. Le caractère exceptionnel du phénomène a été plus perçu dans les Alpes du Nord que dans les Alpes du Sud. Sur les alpages les végétations étaient en avance, et les bergers ont redouté un manque de ressources. Les pluies sont arrivées en cours d'été (ce qui explique que le déficit hydrique ne soit pas exceptionnel malgré la chaleur) qui ont permis partout de sauver la situation. En termes de rendement fourragers l'année n'est pas mauvaise en général, les premières coupes ayant été faites au début de la période sèche, et dans certains cas des regains ayant également pu être faits. La qualité fourragère est bonne.

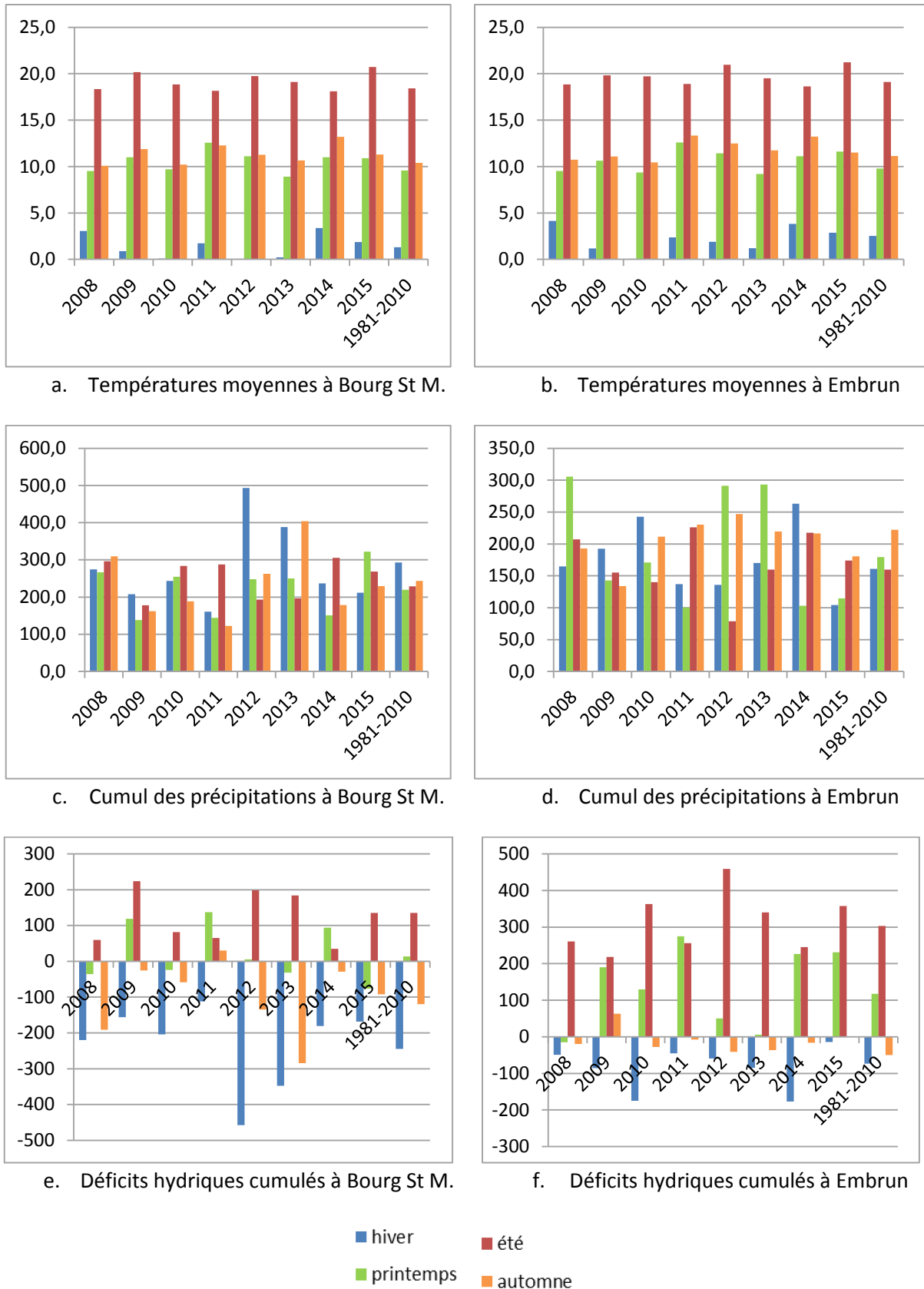


Figure 30 : Températures moyennes, cumul de précipitations et déficit hydrique (ETP -P) par saison météorologique relevés à la station Météo France sur les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m) de 2008 à 2015, et normales 1981-2010

Saisons météorologiques : Hiver : décembre (année n-1), janvier, février ; Printemps : mars, avril, mai ; été : juin, juillet, août ; automne : septembre, octobre, novembre

### 3.3.5 Comment les suivis sont mobilisés pour l'analyse de la vulnérabilité et la résilience au changement climatique des systèmes alpage-exploitations

Nous avons vu dans le chapitre 2:

- que nous souhaitons analyser la vulnérabilité aux aléas climatiques de l'échantillon de systèmes alpage-exploitations, en découpant de manière analytique la vulnérabilité en exposition, sensibilité des éléments du système, et capacités d'adaptation ;
- que nous plaçons les capacités d'adaptation au cœur de l'analyse (Smit et Wandel 2006), et que nous analysons ces capacités d'adaptation en analysant les pratiques mises en œuvre, et en accordant une attention particulière aux ajustements ;
- et qu'avant d'étudier ces capacités d'adaptation, nous nous intéressons à l'exposition et à la sensibilité des systèmes alpage-exploitations au changement climatique, qui peuvent être des facteurs explicatifs des capacités d'adaptation.

L'analyse détaillée de six cas très contrastés, choisis à dessein dans l'ensemble de l'échantillon de systèmes étudiés, est présentée dans le chapitre 6, section 6.2. Elle permet de montrer la capacité du modèle à analyser la vulnérabilité aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations. Cette analyse est complétée par une analyse de l'ensemble de l'échantillon réparti dans les Alpes françaises (chapitre 6, section 6.3), qui permet de tirer des conclusions génériques quant aux déterminants des capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations. Au cours de cette seconde analyse nous entrons moins en détail dans la description des différents cas. Pour réaliser l'analyse des capacités d'adaptation, nous mobilisons le modèle de gestion comme grille de lecture des pratiques et des ajustements de ces pratiques.

En amont, dans le chapitre 5, pour caractériser l'exposition des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques, nous analysons les contraintes climatiques subies par notre échantillon de systèmes alpage-exploitations, en nous focalisant sur les paramètres climatiques qui ont un impact sur le système. Le modèle biophysique nous permet d'identifier ces paramètres. Nous adoptons une approche comparative, pour positionner les systèmes les uns par rapport aux autres selon les aléas climatiques subis. Un développement méthodologique conséquent est présenté dans ce chapitre qui explique le type de données mobilisées et la méthodologie construite pour analyser ces données.

Concernant l'analyse de la sensibilité des éléments du système aux aléas climatiques, nous mobilisons là encore le système biophysique, et nous appuyons sur les caractéristiques physiques des systèmes. Nous ne présentons que l'analyse des six cas détaillés, qui est nécessaire pour donner des clés de compréhension précises de leurs capacités d'adaptation (chapitre 6, section 6.2).

Dans l'analyse de la résilience des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques (chapitre 7), nous mobilisons l'ensemble du modèle pour construire une grille d'analyse. Nous analysons quatre cas de manière partielle, en les comparant deux à deux pour mettre en lumière quelques apports de ce nouveau cadre d'analyse.

## 3.4 Synthèse de la démarche mise en œuvre

La Figure 31 résume la démarche mise en œuvre dans la thèse, pour construire un modèle conceptuel du système alpage-exploitations et évaluer la capacité de ce modèle à analyser



l’adaptation au changement climatique d’une diversité de cas. Cette figure précise les figures précédentes (Figure 13, page 44 et Figure 21, page 64). Les différents éléments du modèle sont articulés autour d’une typologie de végétations d’alpage. La construction des différents éléments du modèle s’appuie sur des phases de modélisation participative, des entretiens et de la bibliographie.

Les différents éléments du modèle sont ensuite mobilisés pour analyser la vulnérabilité aux aléas climatiques et la résilience au changement climatique d’un échantillon de cas sur lesquels on dispose de données de suivi sur plusieurs années.

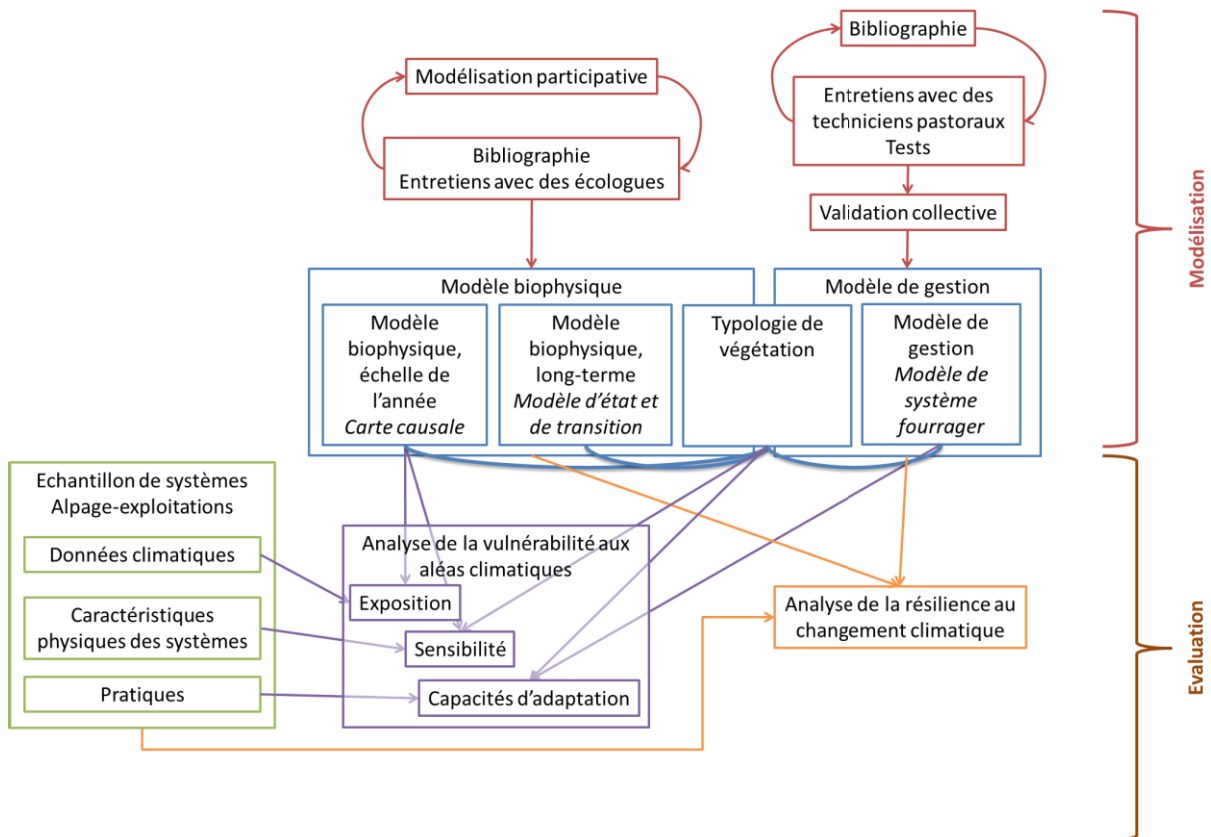


Figure 31 : Démarche générale mise en œuvre dans la thèse

Nous présentons dans les pages suivantes les résultats de ce travail de thèse. Tout d’abord le chapitre 4 présente le modèle conceptuel du fonctionnement de l’alpage construit dans le cadre du dispositif Alpages Sentinelles, puis les chapitres 5 et 6 présentent l’évaluation du modèle par une analyse de la vulnérabilité des systèmes alpage-exploitations suivis dans le dispositif Alpages Sentinelles aux aléas climatiques (exposition, chapitre 5, sensibilité et capacités d’adaptation, chapitre 6), et par une analyse de leur résilience au changement climatique (chapitre 7).

## **4 Le modèle de système alpage- exploitations**



### 4.1 Architecture d'ensemble du modèle

Le modèle de fonctionnement du système alpage-exploitations combine un modèle de gestion et un modèle biotechnique, articulés par une typologie de végétations (Figure 32). Le modèle biotechnique est lui-même composé de plusieurs sous-modèles. A l'échelle de la campagne annuelle, nous avons fait le choix de construire deux cartes causales différentes : une première pour représenter les effets des paramètres météorologiques sur la croissance et le développement de la ressource, une seconde pour représenter les effets des pratiques. Pour représenter les effets à long-terme du climat et des pratiques sur les végétations nous avons construit un modèle d'état et de transition.

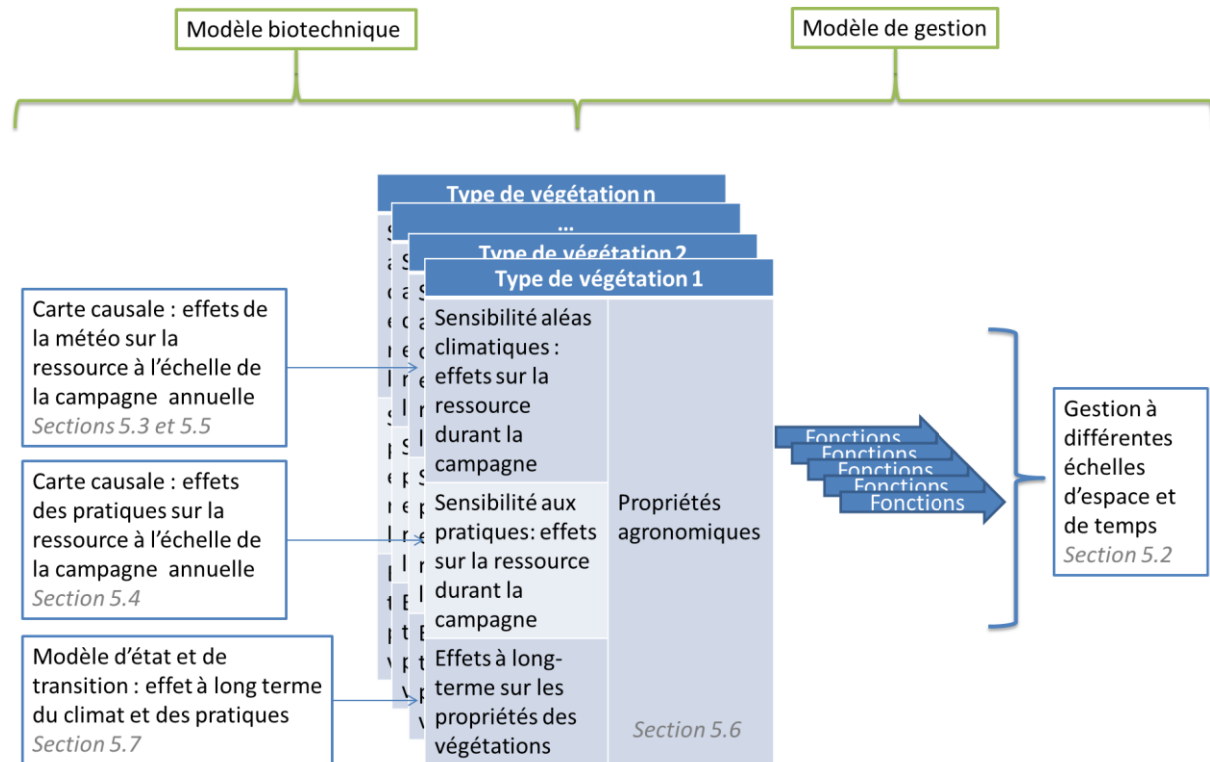


Figure 32 : Structuration d'ensemble du modèle

Le travail de modélisation a été d'abord effectué sur l'alpage. Il a ensuite été élargi aux exploitations uniquement pour le modèle de gestion et pour la carte causale des effets de la météo sur la ressource. On a donc un compartiment « alpage » et un compartiment « exploitations ». Le modèle sur les exploitations est conçu selon une déclinaison des principes qui ont guidé la construction du modèle sur l'alpage, conformément à la logique du système alpage-exploitations, où l'alpage occupe une position centrale.

Dans la suite de ce chapitre, nous présentons d'abord le modèle de gestion, en argumentant les choix que nous avons faits (section 4.2) ; puis nous présentons les cartes causales (sections 4.3 à 4.5), la typologie de végétation (section 4.6), et enfin le modèle d'état et de transition, en expliquant les principes qui nous ont guidé dans leurs constructions (section 4.7).

## 4.2 Modèle de gestion

### 4.2.1 Cinq échelles spatiotemporelles de gestion emboîtées

On souhaite construire un modèle de système fourrager qui s'appuie sur le modèle précédent de gestion de l'alpage (Savini et al. 1995). Nous avons vu que notre modèle doit en plus (1) intégrer l'articulation de l'alpage avec les exploitations utilisatrices, (2) intégrer la dynamique du temps long, et (3) permettre de considérer les ajustements des pratiques face aux aléas. Les travaux déjà cités (chapitre 1) sur les ajustements réalisés sur les alpages (Nettier et al. 2011b, Rigolot et al. 2014) et sur les exploitations (Moulin et al. 2009, Aubron et al. 2010, Nettier et al. 2010, 2012a, Sérès 2010a, 2010b, Noury et al. 2013), ainsi que l'ouvrage initial de Landais et Deffontaines (1988) qui décrit de manière détaillée la gestion d'un alpage « tendu » en termes d'adéquation entre ressources et besoins alimentaires, permettent d'identifier ce qui constitue des ajustements dans le modèle de gestion.

Fort de ces enseignements, nous proposons de considérer la gestion du système fourrager en cinq échelles de gestion emboîtées (Tableau 6 et Figure 33). Parmi ces cinq échelles de gestion, les trois premières échelles (journée, saison pastorale<sup>16</sup>, saison d'alpage) correspondent aux échelles déjà proposées par Savini et al. (1995) qui avaient identifié et décrit les notions de « secteur », « circuit de pâturage » et « quartier ». Elles sont revues ici avec une optique de gestion d'aléas spécifiques à chacune de ces échelles. Deux échelles de niveaux supérieurs sont ajoutées : la première englobe l'ensemble de l'année pour considérer les interactions entre l'alpage et les exploitations utilisatrices ; la seconde est l'échelle du long-terme, qui permet de considérer la dynamique de temps long du système aux différentes échelles spatiales (évolution du climat, des végétations, des pilotes du système, transformation des exploitations utilisatrices et des objectifs qu'elles assignent à l'alpage, changements dans le collectif d'exploitations...). La question de l'apprentissage des animaux (connaissance des ressources, connaissance des lieux), fréquemment évoquée dans la conduite du troupeau gardé au pâturage (Landais et Deffontaines 1988, Meuret et al. 1995, Meuret 2010a), concerne ce niveau de gestion.

Une échelle de gestion inférieure à la journée a également été évoquée : le « repas » ; le repas consiste en un enchaînement construit par le berger de plusieurs séquences de pâturage sur différents faciès et avec différentes techniques de gardiennage, au cours d'une demi-journée ou moins. Tout l'art du berger est de motiver l'appétit des animaux pour maximiser l'ingestion et équilibrer la ration, par un enchaînement judicieux de séquences. Le repas est un niveau de gestion essentiel des systèmes pastoraux méditerranéens, où se combinent souvent une grande diversité de ressources dans un même quartier (Guérin et Gautier 2004, Martinand et Millo 2010). Cela concerne en particulier les systèmes caprins, où les niveaux de production élevés nécessitent de maximiser l'ingestion : pour les chèvres la diversité des ressources est un facteur important pour stimuler l'appétit (Meuret 2010b). Cette échelle de gestion est également évoquée en alpage dans l'ouvrage de Landais et Deffontaines (1988), et on peut trouver des analogies entre les repas de troupeaux caprins ou ovins en colline et les repas de troupeaux ovins en alpage avec des mises en œuvre un peu différentes (Meuret et al. 1995, Meuret 2010a) : diversité des ressources sans doute moindre dans

---

<sup>16</sup> Le terme de « saison pastorale » pour le niveau de gestion à l'échelle du quartier a été proposé par un technicien pastoral (Garde L., comm. pers.), qui l'utilise pour des systèmes pastoraux de piémont en zone méditerranéenne.

l'espace en alpage, (souvent peu de ligneux et des grandes pelouses homogènes), espace plus vaste, importance des facteurs météorologiques dans l'organisation du repas (éviter la rosée, jouer avec l'ombre et le soleil aux différentes heures de la journée pour favoriser le bien-être des animaux) ; le temps de chôme est considéré comme une séquence importante dans la construction des repas. Par analogie, on peut parfois retrouver l'échelle du repas dans la conduite des alpages laitiers. Le plus souvent sur ces alpages, le troupeau est conduit au fil en parcs quotidiens ou biquotidiens, avec parfois spécifiquement le parc du matin et le parc de l'après-midi, ou le parc de journée et le parc de nuit dans des secteurs différents, ou encore une alternance entre un temps en parc et un temps de pâturage libre sur des types de végétation différents.. Au lieu du temps de chôme, c'est le moment de la traite qui structure le découpage de la journée en différents repas.

Nous n'avons cependant pas retenu l'échelle du repas pour ne pas complexifier notre modèle et nous avons intégré la logique et les ajustements de cette échelle dans la logique et les ajustements décrits à l'échelle de la journée : sur un alpage, la journée reste plus structurante que le repas. Ainsi pour les ovins le passage par la chôme pour le repos de milieu de journée, qui est en général un lieu différent de la couchade nocturne, conduit à construire un circuit de pâturage sur l'ensemble de la journée.

Le Tableau 6 présente donc des niveaux de gestion emboîtés centrés sur l'alpage et s'élargissant progressivement. Sur les exploitations, s'ajuster à l'échelle de la journée n'aura pas forcément toujours du sens, par exemple quand les animaux sont en bâtiment, les jours qui se succèdent sont identiques et il n'y a pas à faire d'ajustements selon la météo. On pourra par contre trouver des séquences de gestion équivalentes au niveau de la saison pastorale. L'isolement géographique de l'alpage du reste des espaces exploités étant ce qui justifie l'existence d'une saison d'alpage, l'équivalent de la saison d'alpage sur les exploitations sera le plus souvent une séquence qui couvre toute la période sur l'exploitation, une « saison d'exploitation », avec autant de saisons d'exploitations que d'exploitations. Dans quelques cas on pourra avoir sur les exploitations plusieurs séquences équivalentes à la saison d'alpage, si plusieurs séquences « saisons pastorales » sont liées entre elles et indépendantes d'autres séquences, par exemple du fait d'un isolement géographique (cas de la transhumance hivernale notamment).

Chapitre 4 : Le modèle de système alpage-exploitations

Echelle de temps	Echelle spatiale	Pilotes du système	Objectifs généraux de la gestion
Journée	Circuit de pâturage (itinéraire suivi par le troupeau au pâturage au cours de la journée). Il est constitué d'un enchaînement de secteurs (unité physique dont les caractéristiques déterminent un comportement spatial et alimentaire particulier du troupeau). Par analogie parcs quotidiens pour les alpages laitiers (sans logique de succession de secteurs)	Le ou les bergers sur l'alpage, en autonomie (pour les alpages non gardés, cette échelle de gestion ne fait pas sens).	Selon les aléas quotidiens (météo, disponibilité des bergers), constituer la ration quotidienne du troupeau au travers d'une succession de type de végétation parcourues, en s'adaptant au comportement du troupeau (connaissance de l'alpage et des végétations) et en influençant son comportement alimentaire (plus ou moins de tri dans les végétations pâturées) à travers différentes modalités de gardiennage (plus ou moins serré).
« Saison pastorale » (durée : environ un mois)	Quartier d'alpage (ensemble de secteurs pâturés à une même époque de l'été, souvent caractérisée par un lieu de repos unique du troupeau, et défini par l'altitude et/ou des contraintes topographiques qui limitent les possibilités de passage d'un quartier à l'autre). Parfois le quartier correspond à un grand parc clôturé (fréquent sur les alpages bovins allaitants).	Le ou les bergers sur l'alpage, le ou les éleveurs qui peuvent intervenir ponctuellement sur des tâches collectives ou pour faire varier les effectifs et besoins animaux (tri, montée ou descente d'animaux).	Gérer l'enchaînement des circuits de pâturage quotidiens pour pouvoir disposer sur tout le pas de temps de la ressource nécessaire en quantité et en qualité, et répondre aux objectifs zootechniques.
Saison d'alpage (durée : trois à quatre mois en général)	Ensemble de l'alpage. La saison d'alpage est liée à l'autonomie relative de l'alpage par rapport aux autres parcelles exploitées (retour quotidien sur les exploitations impossible)		Articuler l'utilisation des différents quartiers en fonction de la phénologie, l'aptitude au report sur pied et la quantité d'herbe sur ces quartiers, les possibilités de repousse d'herbe sur les différents quartiers et les aléas climatiques subis aux différentes saisons pastorales.
Année	Système alpage-exploitations : l'alpage et la ou les exploitation(s) qui l'utilise(nt).	Eleveur(s).	Choix des effectifs, des types d'animaux estivés (besoins alimentaires, capacités à subir un déficit alimentaire), des dates d'estive, et de la conduite zootechnique (présence ou non de mâles reproducteurs en alpage, par exemple).

Chapitre 4 : Le modèle de système alpage-exploitations

Long-terme	Ensemble des échelles spatiales citées précédemment.	Eleveurs et bergers (les bergers et le collectif d'éleveurs pouvant changer au cours des années).	Gérer l'évolution des végétations par les pratiques, et de la configuration (équipements, parcellaire) des alpages et des exploitations. Décider les grandes orientations zootechniques sur les exploitations (type de production, effectifs, mode de valorisation, critères de sélection, périodes de reproduction, de commercialisation, apprentissage des animaux...), les éléments de conduite technique associés, et en particulier les fonctions attribuées à l'alpage dans cette conduite.
------------	--	---	---

Tableau 6 : les cinq échelles spatiales et temporelles de gestion du système alpage-exploitations



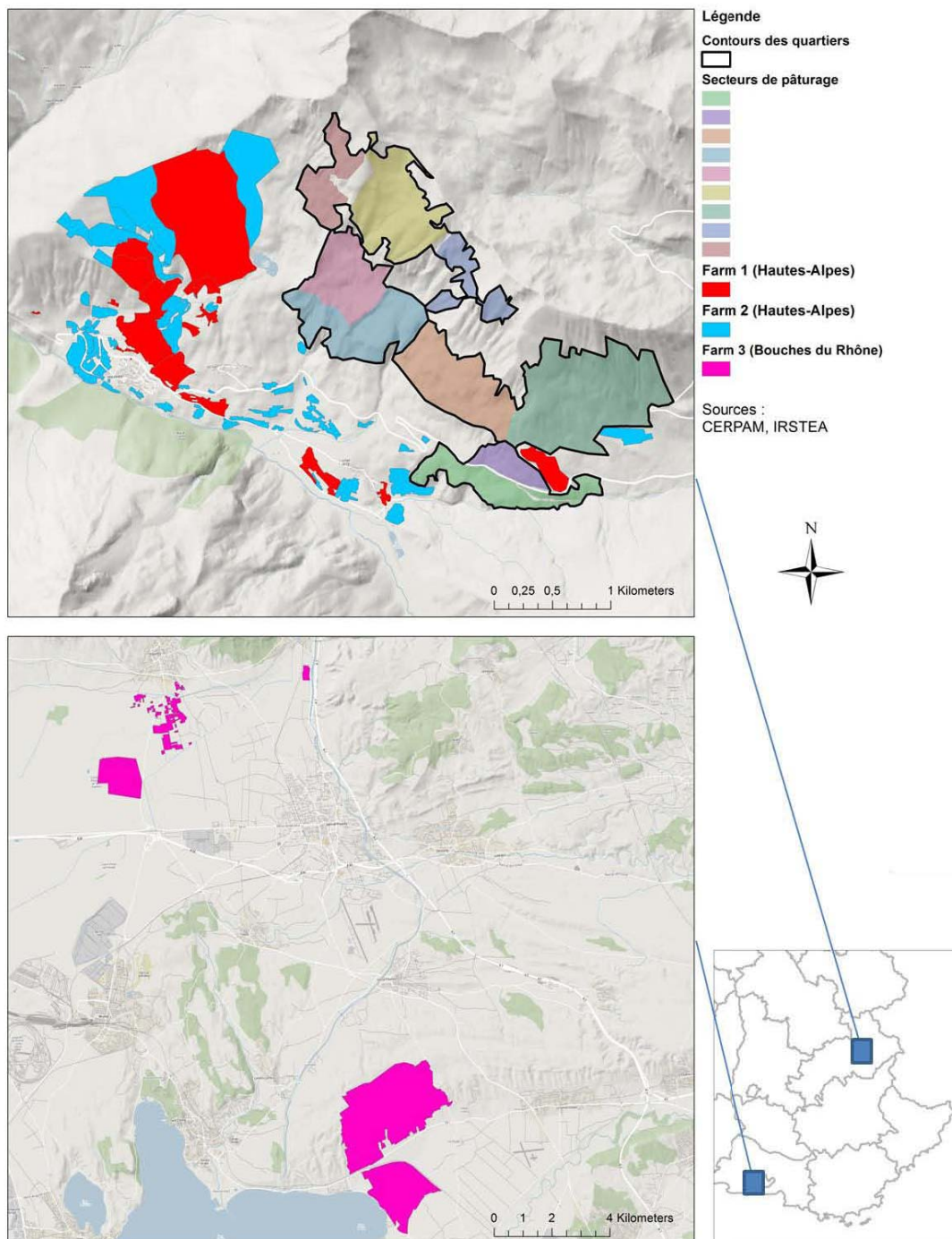


Figure 33 Découpage fonctionnel d'un alpage du Parc national des Ecrins en secteurs et quartiers (d'après Savini et al. 1995), et niveau du système alpage-exploitations, illustré avec le parcellaire de trois exploitations utilisatrices de l'alpage.

*Il s'agit de l'alpage déjà présenté en Figure 10, page35.*

#### 4.2.2 Approche fonctionnelle des systèmes d'alimentation

Cette description en cinq niveaux de gestion permet de comprendre la logique propre à chaque niveau, le type d'aléas subis, et le type d'ajustements. Mais elle n'est pas suffisante en soi pour décrire ou comprendre la gestion mise en œuvre sur un système alpage-exploitations. Nous

recherchons donc parmi les outils d'analyse des systèmes fourragers et de conseil une grille de lecture qui nous permette de comprendre l'articulation des différentes échelles de gestion et la façon dont la gestion est affectée par les aléas climatiques. Les travaux sur les systèmes pastoraux méditerranéens sont une source intéressante, d'une part parce qu'ils traitent de pastoralisme et d'autre part parce que la gestion des aléas climatiques a toujours été au cœur des problématiques dans la gestion des systèmes fourragers, en lien avec une forte variabilité interannuelle du climat, avec surtout des sécheresses marquées. Les travaux sur les approches fonctionnelles des systèmes fourragers ou des systèmes d'alimentation, en particulier, paraissent intéressants à mobiliser (Guérin et Bellon 1990, Moulin et al. 2001). Ces travaux visent à décrire et comprendre la stratégie d'alimentation du troupeau, vue comme un enchaînement de séquences finalisées, incluant des pratiques de sécurité face aux aléas. Les séquences d'alimentation sont construites (1) en fonction des besoins du troupeau (éventuellement constitué de différents lots d'animaux aux besoins différents), pour l'atteinte d'objectifs de production à l'échelle d'une campagne annuelle, et (2) en fonction des ressources mobilisées à partir de la diversité des types de végétation présents dans le système et de leur dynamique temporelle (notamment leur aptitude au report sur pied), et selon la configuration du territoire de l'exploitation, qui conditionne l'accès aux végétations. Dans chaque séquence, des « fonctions » alimentaires sont attribuées aux végétations mobilisées, y compris des fonctions dites de « sécurité » face aux aléas.

Ce type d'approche est bien couramment utilisé par les techniciens pastoraux dans les régions méditerranéennes (voir par exemple Delisse 2013, Favier 2014). Avec l'augmentation de la variabilité climatique et le contexte plus général d'augmentation des incertitudes, il peut présenter un intérêt pour d'autres types de systèmes que les systèmes méditerranéens (Guérin et al. 2009).

L'approche par les saisons-pratiques (Bellon et al. 1999) est une déclinaison de l'approche fonctionnelle des systèmes d'alimentation. Une saison-pratique est une séquence d'alimentation caractérisée par la dynamique de la végétation, fonction du climat (démarrage, pleine pousse, pause estivale...), donc des « saisons », et par des « pratiques », notamment le mode de prélèvement de cette végétation (tri, consommation complète...), qui pourra être lié au mode de gardiennage, au nombre de jours passés dans un parc, au stade de consommation de la végétation... Une saison-pratique correspond donc à une période de l'année durant laquelle l'éleveur mobilise une combinaison de ressources comparables (c'est-à-dire des végétations et la façon dont elles sont mobilisées) pour répondre au besoin alimentaire d'un lot d'animaux.

En région méditerranéenne de plaine et de moyenne montagne, Bellon et al. (1999) distinguent 4 à 8 types de saisons-pratiques sur l'année, qui correspondent aux dynamiques de végétations sur l'année (Figure 34). Mais dans d'autres contextes climatiques on peut imaginer que les saisons soient définies différemment ; par exemple dans certaines régions il n'y a pas réellement, ou très rarement, d'été (sécheresses estivale) avec un arrêt complet de la pousse de l'herbe ; dans d'autres régions il n'y a pas systématiquement d'hiver.

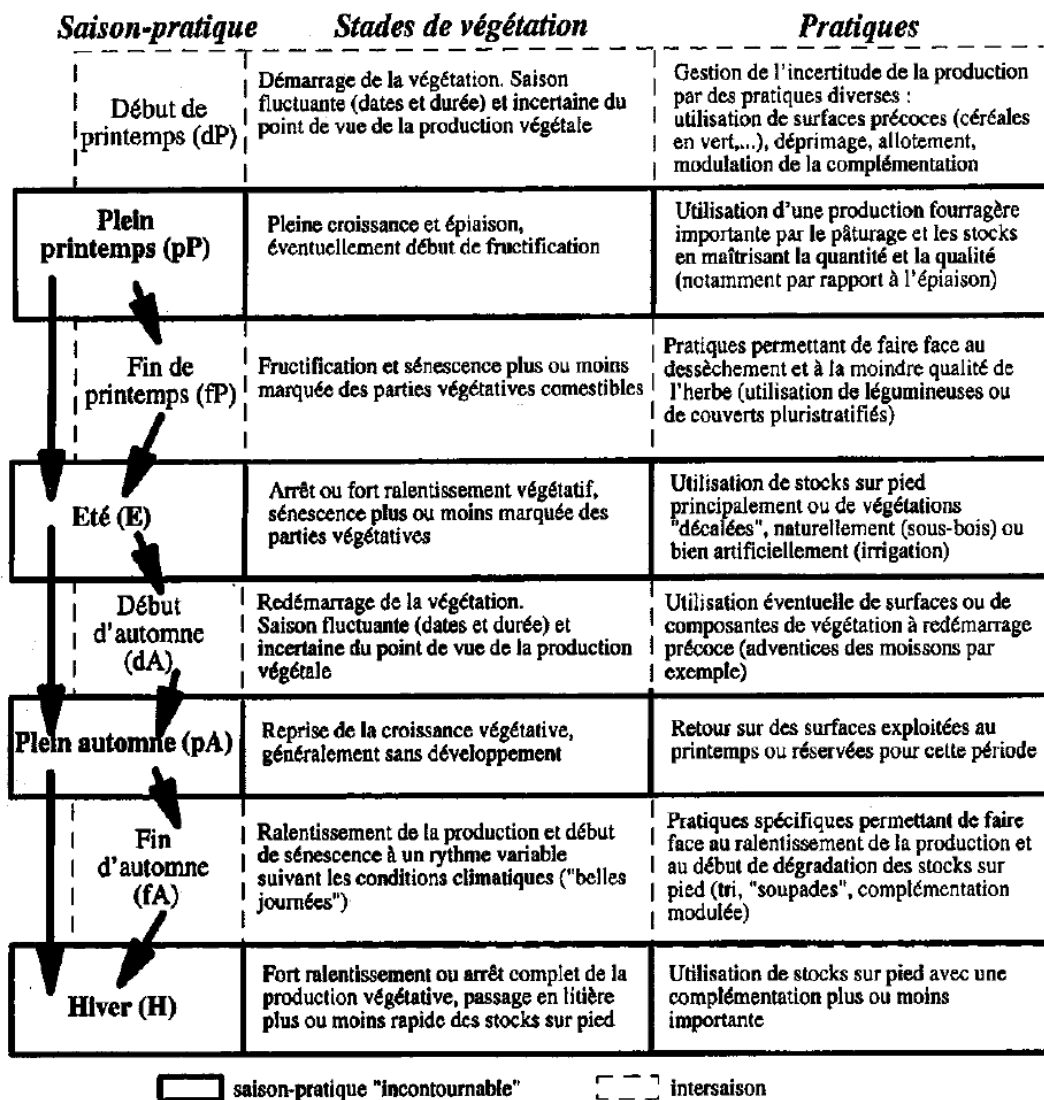


Figure 34 : Les huit types de saisons-pratiques dans les zones d'altitude moyenne et basse du Sud de la France (Bellon et al. 1999).

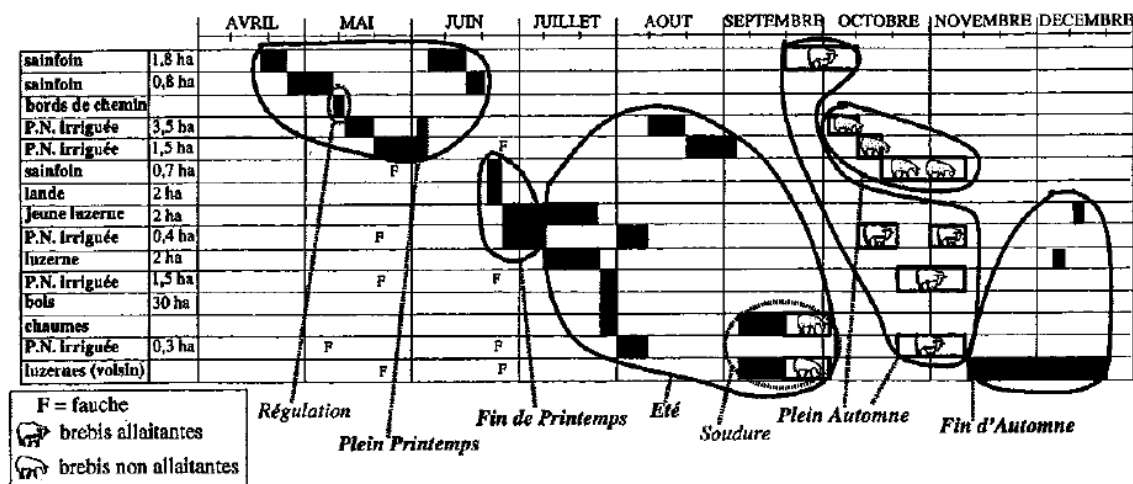
Une saison-pratique est liée à un lot d'animaux et à son niveau de besoin. A un même moment dans un même élevage, deux lots peuvent être affectés à deux saisons-pratiques différentes : par exemple un lot de brebis allaitantes (forts besoins) est conduit sur de l'herbe en pleine croissance (Plein printemps) et dans le même temps le lot des brebis non allaitantes (faibles besoins) peut déjà être mené sur des stocks sur pied (Été).

Les différentes saisons-pratiques ne sont pas autonomes. Chaque consommation de la végétation influe sur la consommation ultérieure : une végétation consommée totalement en plein printemps ne sera plus disponible pour être consommée en report sur pied ; une végétation consommée en tri (prélèvement des meilleures espèces) par des animaux à forts besoins pourra encore être mobilisée par des animaux à faibles besoins.

Les saisons-pratiques permettent de mettre l'accent sur les ajustements réalisés. Bellon et al. (1999) et Moulin et al. (2001) décrivent deux types de « sécurités » :

- les « régulations » : des pratiques qui pallient les fluctuations de production au cours d'une séquence (par exemple utiliser une surface non prévue dans un pâturage tournant sur prairie, et qui aurait sinon été fauchée, pour attendre la repousse des parcelles déjà utilisées)
- les soudures, c'est-à-dire des pratiques mises en place pour résoudre les manques de disponibilité alimentaire entre deux séquences, par exemple à la fin d'une saison, à cause du retard de la pousse de la végétation habituellement prévue à la saison suivante ; un exemple classique et très fréquent est la soudure été-automne, par exemple réalisée par un pâturage des chaumes après moisson, ou bien par distribution de fourrage.

En résumé, une régulation consiste en un ajustement au sein d'une séquence de pâturage, sans changement dans la logique de gestion. Avec une régulation, on reste dans la même saison-pratique : même type de ressources (type de végétation, stade de développement, mode de prélèvement) pour satisfaire les mêmes besoins. Une soudure consiste en l'ajout d'une séquence différente (ressource différente, éventuellement ajustement des objectifs zootechniques) entre deux séquences. On crée donc une saison-pratique supplémentaire entre deux saisons-pratiques « de base ». La Figure 35 illustre un cas concret.



Cet éleveur a fait le choix, cette année-là, de sortir son troupeau sur des ressources "sûres", c'est-à-dire de l'herbe en pleine croissance (sainfoins et prairies naturelles), caractéristique de son **plein printemps**. Sa surface de base au printemps est ainsi constituée de 7,6 ha de prairies, utilisées pendant deux mois et régulées par le pâturage de bords de chemin. Il ne pratique donc pas de "début de printemps" (saison-pratique "optionnelle").

En revanche, il a choisi de gérer la transition avec l'été, en pratiquant une **fin de printemps** : une rupture apparaît en effet dans son calendrier de pâturage lorsqu'après avoir utilisé successivement différentes surfaces fourragères en croissance pendant son plein printemps, il associe, dans le pâturage quotidien, landes puis prairies naturelles (graminées en cours d'épiaison) à des légumineuses (sainfoin et luzerne) plus résistantes au dessèchement. Cette fin de printemps se termine au 10 juillet lorsque les surfaces épiées sont abandonnées et laissent la place à des **ressources estivales** (circuits associant éteules et bois, dans lesquels le tapis herbacé est encore vert, et prairies naturelles irriguées).

Ensuite, l'éleveur affecte des lots à des **saisons-pratiques différentes au même moment** (fin septembre) : **les brebis non allaitantes "restent en été"** (sur des chaumes et des luzernes), alors que **les allaitantes** sont affectées à des regains de surfaces fauchées au printemps, **ressources caractéristiques du plein automne**. Puis les brebis non allaitantes reviennent pendant un mois environ sur une partie de la surface de base du printemps, avant le regroupement du troupeau. Dès les premières gelées, l'éleveur fait pâturer par le troupeau toutes les luzernes à sa disposition (avant leur passage en litière), pratique caractéristique d'une **fin d'automne**. L'automne est globalement une période où l'éleveur cherche à "finir" l'ensemble des parcelles de son territoire, de façon à assurer la pousse du printemps suivant. La rentrée en bergerie a lieu à Noël, comme généralement dans cet élevage.

Figure 35 : Un exemple d'analyse des saisons-pratiques sur un cas d'élevage ovin viande des Préalpes du Sud (Bellon et al. 1999).

### 4.2.3 Adaptation du modèle de saisons-pratique au système alpage-exploitations

Afin de mettre l'accent sur les ajustements réalisés face aux aléas climatiques et aux conséquences de ces aléas sur la dynamique des végétations, nous proposons de transposer la lecture en termes de saisons-pratiques au système alpage-exploitations. Une telle lecture de la conduite du pâturage sur l'alpage en termes de saisons-pratiques a déjà été ébauchée par Guérin et Gautier (2005). En termes de saison-pratique, estiver, et sur l'estive enchaîner des quartiers en montant progressivement en altitude, vise à rester en saison-pratique de printemps (plein printemps le plus souvent), puis à viser une saison-pratique d'automne à la redescente des quartiers. Estiver, pour les systèmes méditerranéens tout particulièrement, est donc un moyen de supprimer (ou du moins réduire) la nécessité de mettre en œuvre des saisons-pratiques « été ». La lecture en termes de saison-pratique s'adapte bien à l'alpage, et peut aussi s'adapter aux systèmes alpage-exploitations, et pas uniquement pour les surfaces pastorales, puisque nous avons vu qu'elle est intéressante aussi pour les exploitations non méditerranéennes (Guérin et al. 2009).

Par rapport aux cinq échelles de gestion que nous avons définies, la saison-pratique correspond à l'échelle de la saison pastorale : utilisation de la végétation d'un quartier dans une dynamique donnée. Il est probable que parfois, sur un même quartier, plusieurs saisons-pratiques se succèdent (plein printemps puis fin printemps, voire été par exemple) ; on peut alors considérer que l'on a deux saisons pastorales. Nous considérons donc saison-pratique et saison pastorale comme deux synonymes permettant de décrire une séquence de pâturage homogène en termes de ressources mobilisées et de besoin alimentaire à couvrir, et nous proposons d'utiliser plutôt le terme de saison-pratique, parce qu'il est délicat sur les exploitations de qualifier de « pastorale » une séquence de pâturage sur prairie ou à plus forte raison une séquence d'alimentation en bâtiment. La lecture en termes de saison-pratique ne permet pas de descendre à l'échelle de la journée ou du repas (elle a initialement été pensée plutôt pour des systèmes en parc, où la question des ajustements quotidiens ne se pose pas).

De manière figurée, on peut donc représenter les différentes séquences d'alimentation conduites à l'échelle d'un système alpage-exploitations comme une combinaison de saisons-pratiques mises en œuvre sur l'alpage et sur les exploitations, avec présence ou non de régulations au sein de chaque séquence et de soudures entre les séquences. La Figure 36 présente un exemple type théorique de système alpage-exploitations où estivent sur l'alpage (en rouge) un éleveur de montagne (en bleu, avec deux périodes de mise-bas) et un éleveur de plaine méditerranéenne (en violet avec mise-bas d'automne). L'étagement altitudinal est représenté par l'étalement vertical du schéma. L'axe horizontal représente le temps. L'exploitation de montagne n'a qu'un court printemps et un court automne, quand l'exploitation méditerranéenne enchaîne différentes séquences de pâturage.

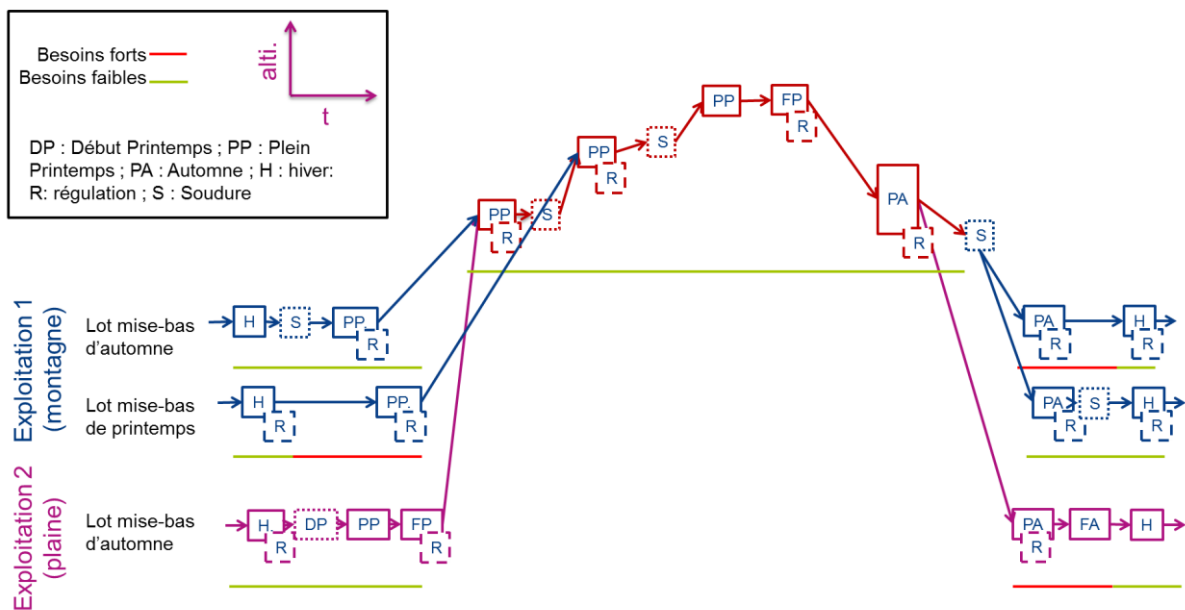


Figure 36 : représentation schématique des saisons-pratiques sur un système alpage-exploitations type comprenant une exploitation de montagne et une exploitation de plaine

Initialement, les régulations et les soudures, telles qu'elles ont été définies par Bellon et al. (1999), faisaient explicitement référence à des « surfaces de sécurité », donc des parcelles bien délimitées prévues pour cet usage. Dans notre modèle nous accordons une définition très large aux régulations et soudures, qui pourront effectivement être des parcelles ou des secteurs de pâturage spécifiques bien délimités, mais également un surdimensionnement général d'un quartier ou un niveau de raclage plus fort que prévu, une moindre satisfaction des besoins alimentaires, une conduite spécifique du troupeau au pâturage... Régulations et soudures pourront aussi être à l'interaction entre alpage et exploitations et être différenciées entre exploitations (par exemple sur la Figure 36, une soudure est effectuée en fin d'estive par l'exploitation de montagne, qui peut récupérer ses animaux plus précocement si nécessaire ; elle permet ainsi à l'exploitation de plaine, qui n'a pas la possibilité de réaliser une telle soudure, de rester plus longtemps sur l'alpage.

Pour Bellon et al. (1999), les surfaces qui servent de régulation ou soudure doivent aussi être intégrées dans une saison-pratique à un autre moment de la campagne, afin de veiller à ce que la ressource soit consommée chaque année et assurer son renouvellement (éviter l'enfrichement et la dégradation de la qualité des couverts) (Figure 37). Cette exigence s'explique par le fait que l'outil saisons-pratiques a été conçu à partir de l'analyse de systèmes d'alimentation assez tendus en termes d'adéquation entre besoins et offres fourragères, où ce type de pratique est essentiel pour assurer le renouvellement de la ressource et éviter une baisse rapide de sa qualité à cause du sous-pâturage. Pour des systèmes moins tendus ou pour des milieux où la dynamique de végétation est plus lente, comme en alpage, cette exigence est moins fondamentale, et de fait on n'observe pas toujours ce type de construction. Parfois le renouvellement de la ressource est pensé sur un pas de temps pluriannuel, et peut se faire par des « pratiques de rattrapage » autres que le pâturage (Camacho et al. 2008) : entretien mécanique, brûlage... Comme nous considérons justement le système dans sa dynamique, il est intéressant de s'interroger sur la gestion à long-terme de ces espaces qui peuvent ne pas être pâturés complètement tous les ans (soit des secteurs tampons



spécifiques qui ne sont pâturés qu'en cas d'aléa, soit des quartiers entiers où la ressource n'est que faiblement consommée). Nous le ferons en particulier dans le chapitre 7.

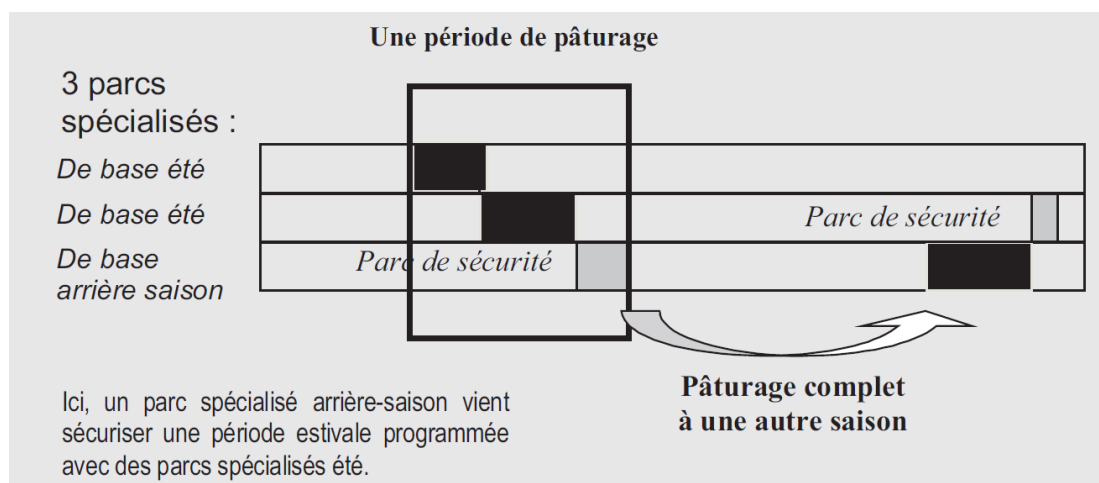


Figure 37 : La combinaison des modes d'exploitation parcellaire pour sécuriser le pâturage (Bellon et al. 1999, Guérin et al. 2009).

### 4.3 Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : carte causales des effets de la météo sur les ressources en alpage

#### 4.3.1 Structuration de la carte causale

L'objectif de cette carte causale, représentée en Figure 38, est de représenter les différents effets qu'ont les aléas climatiques au cours d'une année sur les végétations du point de vue de leur utilisation en tant que ressource pastorale.

Différents paramètres des végétations qui dépendent de la météo et qui sont importants pour la construction des ressources pastorales ont été identifiés par les experts. Il s'agit (1) de la phénologie, c'est-à-dire la temporalité (date et vitesse) avec laquelle les stades de développement vont se succéder ; (2) la productivité des végétations ; (3) d'autres aspects liés à la « qualité » des végétations. En dehors des aspects qualitatifs liés à la phénologie, d'autres aspects ayant trait à la qualité ont en effet été évoqués, qui ont été plus difficiles à bien expliciter pour les experts. Ces aspects qualitatifs sont associés d'une part à l'abondance relative des différentes espèces dans le couvert ; par exemple selon les années il peut y avoir plus ou moins de légumineuses. Ils dépendent aussi de l'état physiologique des plantes, qui peut être affecté par les accidents de gel qui diminuent la valeur nutritive de la végétation.

Il a été considéré que les mécanismes d'action du climat étaient les mêmes quels que soient les types de végétation. En conséquence il n'a pas été fait de distinctions entre différents types de végétation dans la carte causale. Si les mécanismes d'action sont les mêmes il y a en revanche des différences de niveau de sensibilité aux aléas climatiques selon le type de végétations. Ces différences sont précisées dans la construction de la typologie de végétations (section 4.6).

La distinction a été faite entre les végétations des quartiers « bas » et celles des quartiers « hauts » des alpages, ou « vrais quartiers d'août » pour reprendre les termes des techniciens, c'est-à-dire ceux qui ne peuvent être utilisés à une autre période (sur les alpages peu étagés, il y a souvent des quartiers dont l'utilisation est réservée au mois d'août, mais où la ressource pourrait être

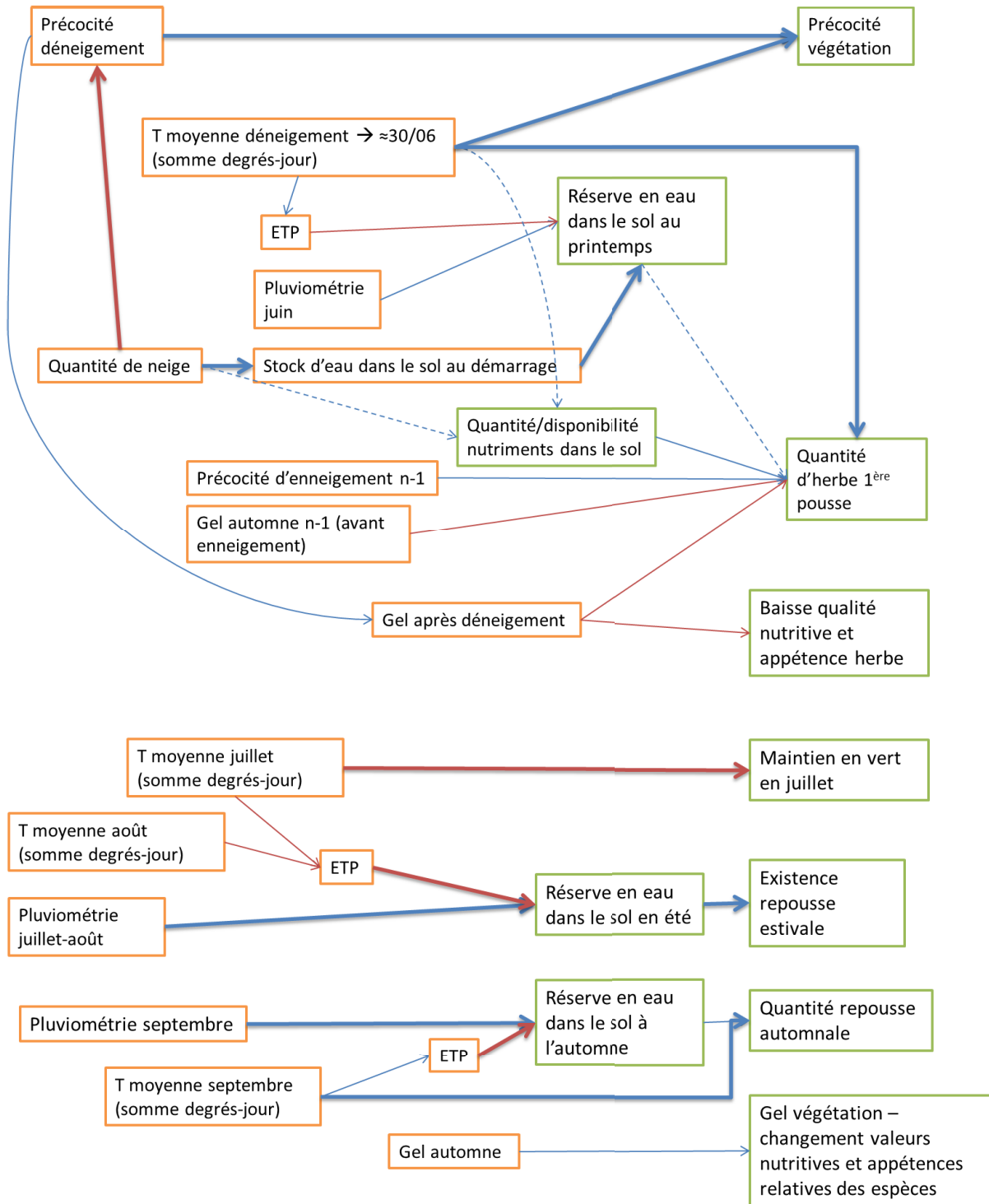
consommée plus tôt). Quartiers bas et quartiers hauts correspondent grosso modo respectivement aux étages subalpins et alpins. Les effets de la météo sur la ressource y sont les mêmes décalés dans le temps pour la première pousse, mais les quartiers hauts n'ont pas de repousses. La distinction a également été faite en termes de paramètres intéressants selon les différentes pousses de la végétation (qui correspondent dans le modèle de gestion aux différentes ressources des différentes saisons-pratiques. Pour la première pousse (saison-pratique du début ou du plein printemps), les aspects de phénologie et de productivité sont importants. Pour les ressources estivales des quartiers bas (qui ne sont intéressantes qu'en l'absence de quartier haut, et éventuellement pour faire la soudure entre quartiers bas et hauts), et pour les ressources utilisées fin août sur les quartiers hauts, c'est le maintien en vert (saison-pratique de fin de printemps, voire d'été) et l'existence ou non de repousse qui comptent pour leur gestion, plus que la quantité, jugée secondaire. A l'automne, la quantité est importante, mais pas la phénologie (c'est le gel qui va dégrader la valeur nutritive de la végétation, pas sa sénescence). Enfin un paramètre météorologique a été identifié qui ne joue pas directement sur la végétation, mais sur son accessibilité : c'est le risque d'être coincé par du mauvais temps qui dure sur les quartiers d'août, qui conduit à descendre même si la ressource est encore présente. Il s'agit bien d'un risque, d'une probabilité que l'événement survienne. Les bergers quittent le quartier d'août parce que le risque existe, non pas lorsque l'événement survient (et pour éviter que l'événement ne survienne).

Pour chaque paramètres de végétation, des paramètres météorologiques ont été identifiés, et le sens de leur effet a été qualifié (couleurs des flèches). La structuration de la carte causale a fortement été influencée par le travail de Jonas et al. (2008) qui ont établi des relations statistiques entre paramètres météorologiques et pousse de l'herbe à partir de suivis climatiques et de biomasse effectués sur 17 stations des Alpes Suisses pendant 10 ans, et ont retranscrit leurs résultats sous forme schématique (Figure 39).

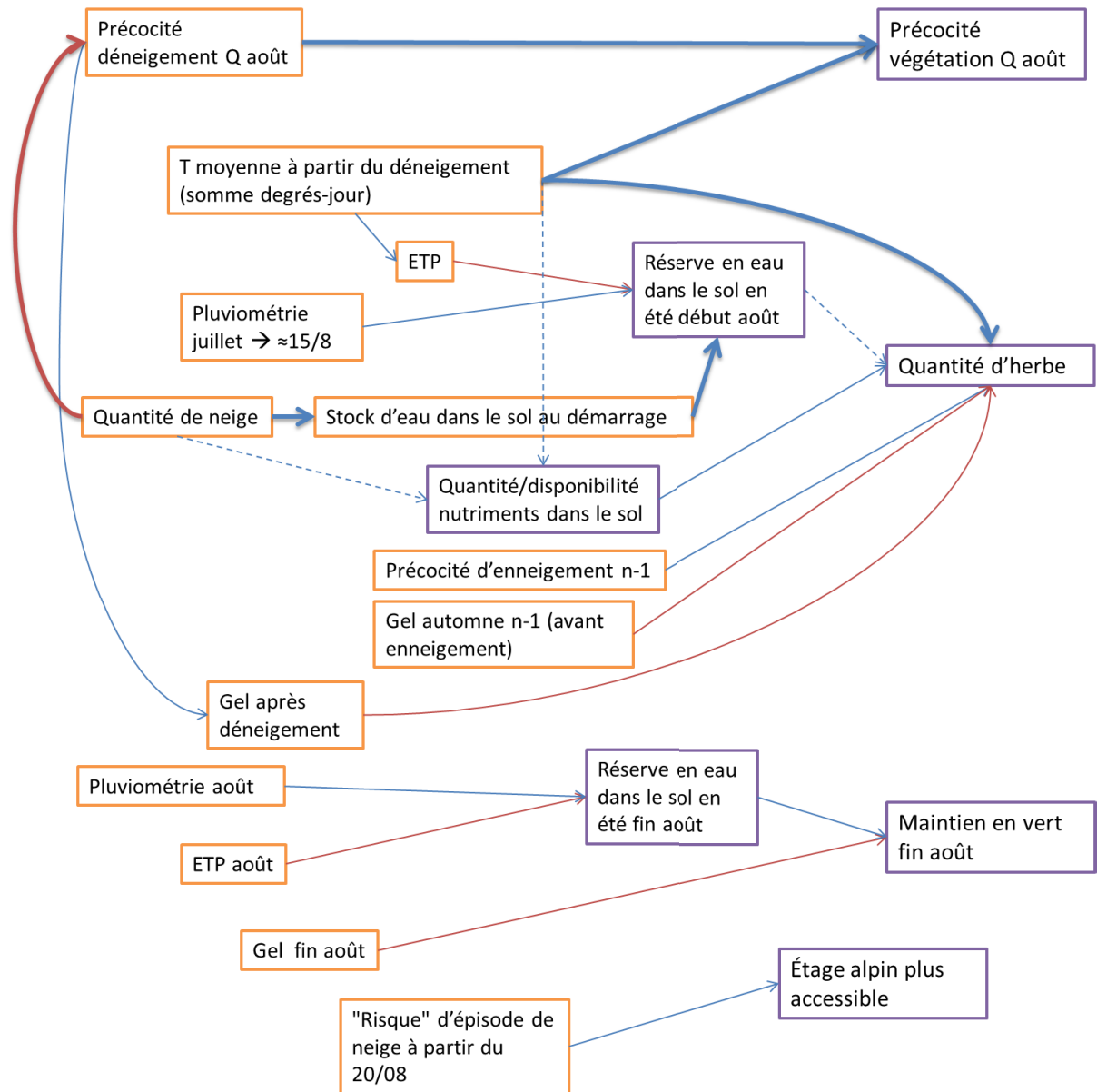
Pour marquer des différences nettes dans l'effet relatif des différents paramètres météorologiques, des flèches grasses et fines ont été dessinées sur notre carte causale (Figure 38). Les flèches en pointillé signalent soit un effet très faible, soit une incertitude sur l'effet (le deux allant souvent de pair). Dès la première session de modélisation l'essentiel de la carte avait été construit. C'est surtout sur l'importance relative des différents paramètres qu'ont porté les séances suivantes, les entretiens et la bibliographie complémentaires.

Nous n'avons au final pas retenu de paramètres qui expliquent la variabilité interannuelle dans la composition floristique des végétations, ne parvenant pas à identifier clairement les paramètres météorologiques explicatifs. Des recherches bibliographiques supplémentaires et la mobilisation d'autres experts, peut-être sur d'autres milieux, pourraient permettre de compléter la carte causale sur cet aspect.





Étage subalpin – Quartiers bas



## Étage alpin – Quartiers hauts

### Légende

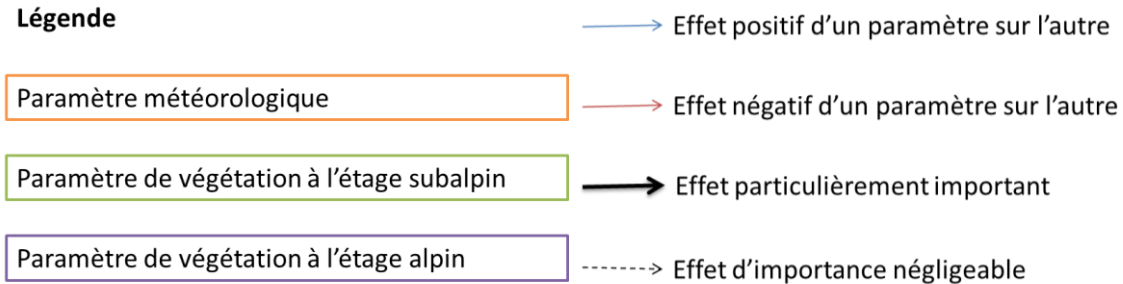


Figure 38 : Carte causale de l'effet des paramètres climatiques sur les ressources d'alpage à l'échelle d'une saison d'alpage

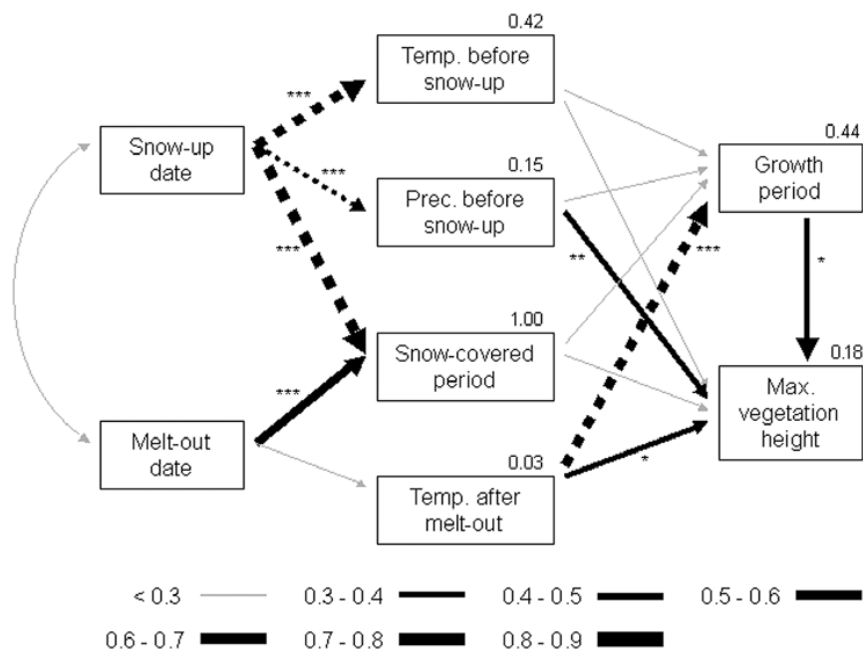


Figure 39 : Diagramme de présentation des résultats de l'effet année, issu des travaux de Jonas et al., (2008)

L'épaisseur des lignes reflète l'importance du lien entre les variables (valeur du  $R^2$  de la régression effectuée). Les valeurs de la régression standardisée coefficients sont donnés au moyen de poids de ligne (voir légende encadré), les corrélations négatives sont indiquées par des lignes en pointillés et les corrélations positives par des lignes pleines. Les astérisques renseignent le niveau de significativité : \*\*\* ( $p < 0.001$ ), \*\* ( $p < 0.01$ ), \* ( $p < 0.05$ ).

### 4.3.2 Principaux enseignements de la carte causale

Comme pour les prairies de moyenne montagne ou de plaine (Duru et al. 2010a), la vitesse de développement des végétations a été attribuée à l'effet de la température (accumulation des degrés-jours) à partir du déneigement, qui marque le démarrage de la végétation. Cela concerne la précocité de la première pousse et son maintien en vert (vitesse de sénescence). Pour le maintien en vert, s'ajoute à cet aspect phénologique l'effet des fortes chaleurs qui peut dessécher les plantes. Cet effet reste limité, mais il est quand-même décrit par quelques bergers.

Toujours par analogie avec les modèles de développement des prairies, la productivité pour la première pousse et la repousse d'automne ont été associées principalement aux températures. Au cœur de l'été ( $\approx$  juillet-août au subalpin) la température a un double effet : conditions poussantes tant qu'il y a de l'eau dans le sol (Roumet et al. 1996 pour les prairies des Alpes, Duru et al. 2010a), et sénescence de la première pousse.

La productivité (pour la première pousse et la repousse d'automne) et l'existence d'une repousse estivale ont en effet aussi été associées à la présence d'eau dans le sol, et donc à la balance entre précipitations et évapotranspiration (celle-ci dépendant des températures, ainsi que d'autres paramètres qui n'ont pas été représentés sur la carte). Le bilan hydrique dépend aussi de l'enneigement : au déneigement, le sol est considéré comme saturé en eau (non représenté sur le schéma). Selon Choler (2015) en haute-montagne la première pousse n'est pas exposée au manque d'eau ; le pic de végétation est atteint avant que les déficits hydriques n'apparaissent. Cela signifierait que les effets de sécheresses perçus en début de saison sont surtout des effets phénologiques d'herbe déjà passée à l'arrivée des troupeaux. Ces résultats ont surpris les experts qui

ont tenu à laisser cet effet dans la carte causale. Il est probable que ces résultats soient à nuancer pour les bas d'alpages (analyses de Choler (2015) faites principalement à l'étage alpin), et pour les sols très superficiels.

A haute altitude selon les experts, la productivité dépendrait aussi de l'existence d'accidents climatiques de gel après le déneigement, phénomène qui est peu documenté. La probabilité d'occurrence d'un tel accident est d'autant plus forte que le déneigement est précoce, et on redoute une augmentation de la fréquence de cet accident avec le réchauffement climatique. Enfin la productivité dépend aussi de la fertilité du sol ; la richesse en éléments minéraux pourrait être liée à la quantité de neige, sans doute de manière marginale pour les experts, qui rapportent des constats empiriques. Les travaux sur les effets fertilisants de la neige en altitude auraient plutôt tendance à conclure à un effet négligeable ; par contre la dynamique d'enneigement et de déneigement pourrait influencer la minéralisation des éléments du sol (Clement et al. 2011). Il est possible que les variations de fertilité du sol soient un facteur explicatif de la variabilité de l'expression de la diversité floristique, mais par manque de connaissances solides nous n'avons pas intégré d'hypothèses sur ce facteur.

Le gel a lui aussi un effet sur la qualité des végétations : il abîme les tissus végétaux et diminue leur valeur nutritive et leur appétence. Il faut pour cela qu'il gèle assez fort (sans doute de l'ordre de -5°C), et/ou que les coups de gel soient répétés. Le gel, lorsqu'il est peu marqué, a aussi un autre effet sur la végétation à l'automne, rapporté par les experts et observé lors des tournées de fin d'estive : il touche différemment les différentes espèces, changeant l'appétence relative de ces espèces au sein d'un même faciès. C'est donc un phénomène important pour la gestion, qui permet d'organiser le report sur pied sur des secteurs qui sont pâturés.

La dynamique de gel et d'enneigement à l'automne a un effet marqué sur la productivité de la saison suivante selon Jonas et al. (2008). L'enneigement précoce protège les végétations du gel, évite la croissance automnale des plantes et leur permet de conserver les réserves racinaires accumulées durant l'été. Certains experts s'interrogeaient sur un effet possible des conditions de l'automne précédent, sans avoir de certitude sur le sujet ; ils ont toutefois été unanimes à considérer que cet effet devait être moins important que ce qui se passe au printemps.

Sur les végétations alpines, le maintien en vert, qui peut avoir une importance sur la deuxième quinzaine d'août, regroupe l'effet de la sécheresse (bilan hydrique) et du gel. Si le mécanisme est très différent, les conséquences en termes de gestion sont proches. Il a par ailleurs été considéré que l'effet des températures sur la phénologie ne permettait pas d'atteindre un stade où la qualité de la végétation diminuerait. Les conditions climatiques se dégradent bien avant que ce stade ne soit atteint.

### **4.4 Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : carte causale des effets des pratiques sur les ressources en alpage**

Comme pour les paramètres météorologiques, une carte causale a été construite qui précise les effets des pratiques sur la dynamique de la ressource à l'échelle d'une campagne annuelle (Figure 40). Cette carte causale a été moins travaillée que la précédente ; elle n'a pas fait l'objet d'échanges avec un large cercle d'experts. Elle s'appuie exclusivement sur les dires d'expert ; les travaux en

agronomie qui analysent l'effet du pâturage sur la dynamique des végétations d'altitude à cette échelle de temps courte semblent peu abondants.

Trois types de pratiques ont été identifiés : la précocité du pâturage, le niveau de contrainte du gardiennage, et la circulation des animaux et le piétinement associé. Ces pratiques jouent sur la production de la première pousse (en termes de nombre de journées de pâturage permises, sur l'aptitude des végétations à la repousse (donc la production des repousses), sur le niveau final de consommation (raclage) de la végétation, et sur l'accumulation de litière. Ces différents paramètres ne sont pas indépendants les uns des autres.

L'effet de la précocité du pâturage n'est pas régulier ; il s'inverse à un moment donné (qui est différent selon les types de végétation). Un pâturage trop précoce joue négativement sur la production des végétations (plus le pâturage est précoce et moins la production est importante), parce que les animaux doivent consommer énormément de volume d'herbe pour couvrir leurs besoins. Mais un pâturage trop tardif joue aussi négativement (moins le pâturage est précoce, et moins la production est importante), parce que la valeur nutritive de la végétation est faible (beaucoup de biomasse, mais peu nutritive et beaucoup de gaspillage). De même, avec un pâturage trop précoce tout comme avec un pâturage trop tardif, on risque de compromettre la repousse (épuiement de la végétation avec un pâturage précoce, accumulation de litière qui gêne la repousse avec un pâturage trop tardif).

Pour le reste, la précocité du pâturage, le niveau de contraintes du gardiennage, et la limitation de la circulation des animaux favorisent le niveau de consommation (« raclage ») de la végétation, et limitent le tri et l'accumulation de litière.

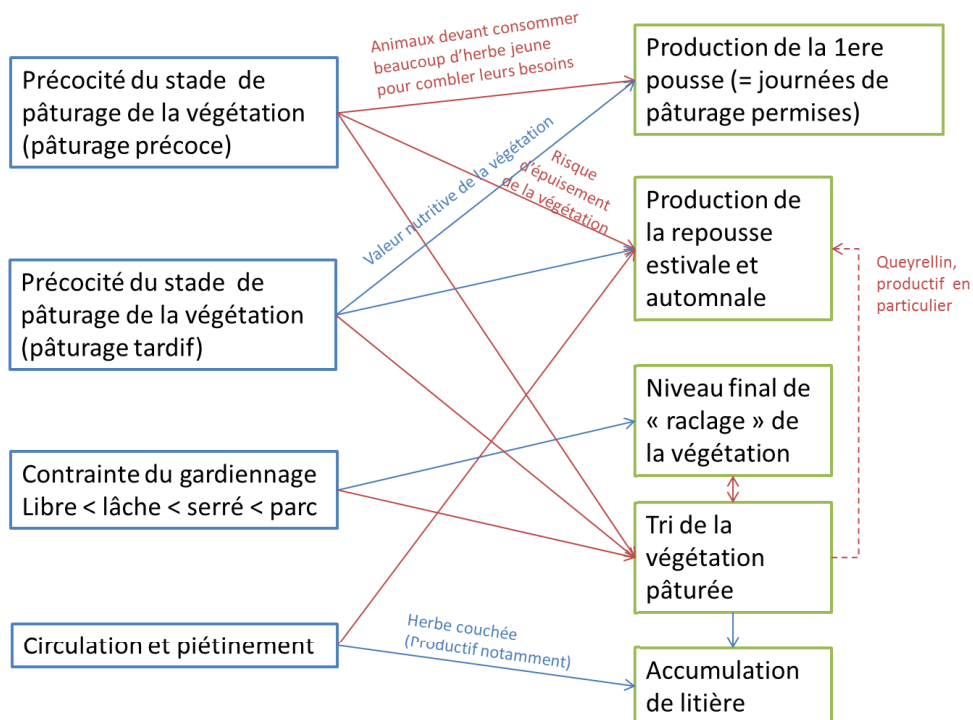


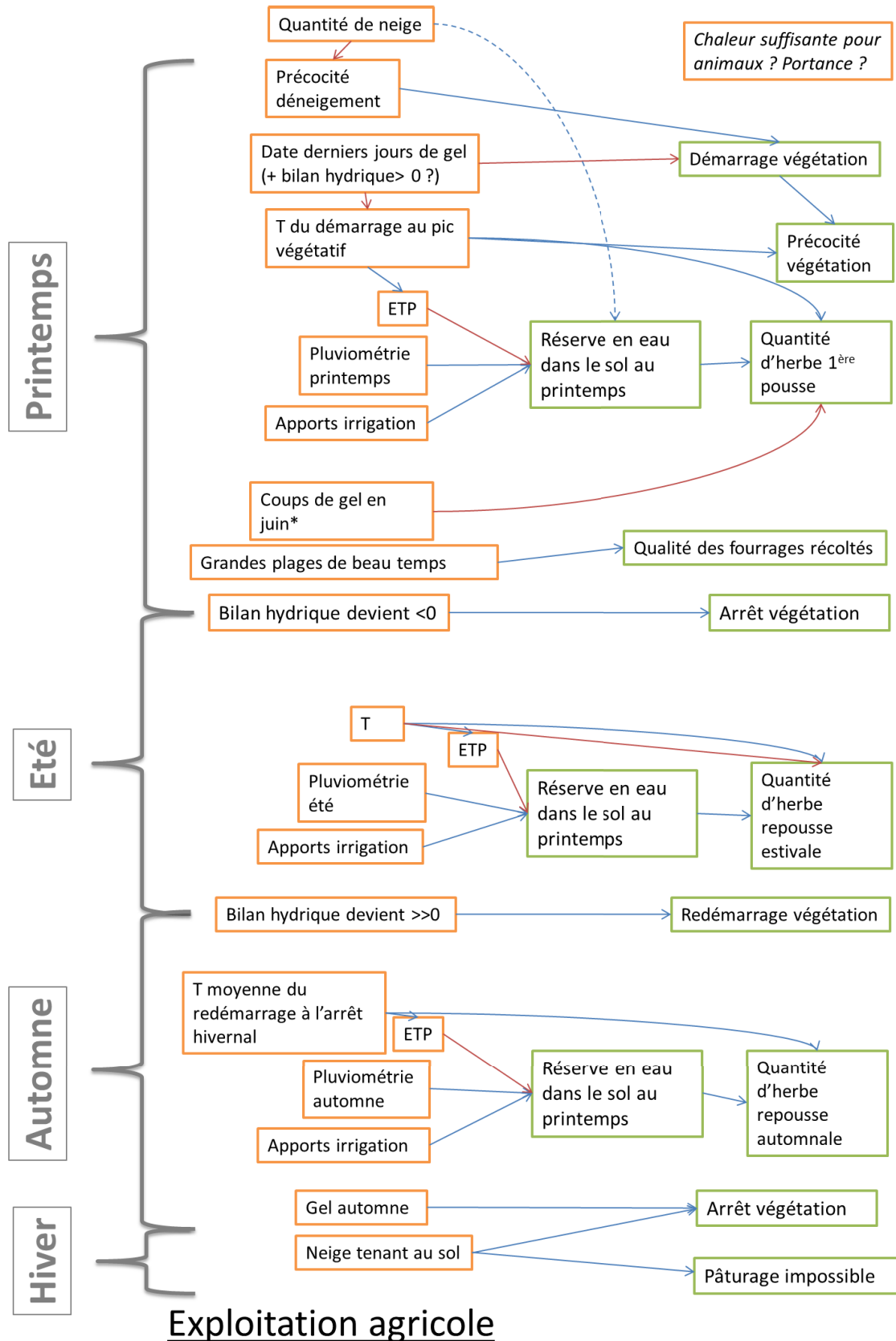
Figure 40 : carte causale de l'effet des pratiques sur les végétations d'alpage au cours d'une année

#### **4.5 Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : extrapolation sur les exploitations de la carte causale météo-ressources des alpages**

Nous avons volontairement construit une carte simple qui s'en tient au strict minimum concernant les dynamiques des ressources. Nous ne cherchons pas ici à avoir un modèle très précis pour les sous-systèmes « exploitations ». Les effets de la météo comme ceux des pratiques sur les végétations des exploitations sont bien connus et décrits ; des modèles conceptuels et des modèles de simulations existent (Rugot et al. 1999, Duru et al. 2010a, Graux 2011), même s'ils montrent des limites en montagne (nous les avons déjà évoquées dans le chapitre 1, section 1.3.2). Par ailleurs, la productivité des végétations sur les exploitations, comme leur qualité, sont beaucoup plus importantes que sur l'alpage, et la gamme des pratiques est beaucoup plus large : fertilisation, stade d'exploitation, mode d'exploitation, pratiques d'entretien, espèces semées... Nous n'avons pas construit de modèle pour représenter l'effet de ces pratiques.

La carte causale des effets de la météo sur les autres espaces utilisés par les exploitations (Figure 41) a été construite en extrapolant les principes de la carte causale sur les alpages et en les adaptant pour distinguer les ressources des différents grands types de saisons-pratiques (pousse de printemps, pause estivale, pousse de l'automne, pause hivernale). Des paramètres météorologiques ont été définis qui déterminent des changements de saison pour la végétation : la fin du gel et/ou de l'enneigement permanent pour le démarrage printanier de la végétation ; le début de la période de manque d'eau pour la période estivale, la fin de cette période pour le redémarrage automnal, et le retour du gel pour l'hiver. Au sein de chacune des séquences de printemps, d'automne, et d'été s'il y a de l'irrigation, le même schéma que sur les alpages a été appliqué : températures jouant sur la phénologie au printemps (et sur la productivité, bilan hydrique (incluant l'irrigation) jouant sur la productivité également (en fait au printemps quand le bilan hydrique devient négatif, on change de saison-pratique) ; la productivité est donc liée directement à l'accumulation de températures durant le printemps).

Quelques nuances peuvent être apportées, selon la localisation géographique des exploitations (altitude et influence méditerranéenne). L'effet du gel printanier après le déneigement, que nous avons décrit pour les alpages, a été observé sur les exploitations de haute-montagne, mais pas ailleurs (les éleveurs associent à cet aléa des baisses de rendement que nous avons pu observer sur leurs prés de fauche d'altitude). Pour les exploitations qui ne sont pas en montagne, l'enneigement n'est pas le facteur qui joue sur le début de la saison : ce sont uniquement les températures (fin du gel). On s'interroge enfin sur l'existence d'une saison « hiver » en plaine méditerranéenne, où il ne gèle pratiquement pas.



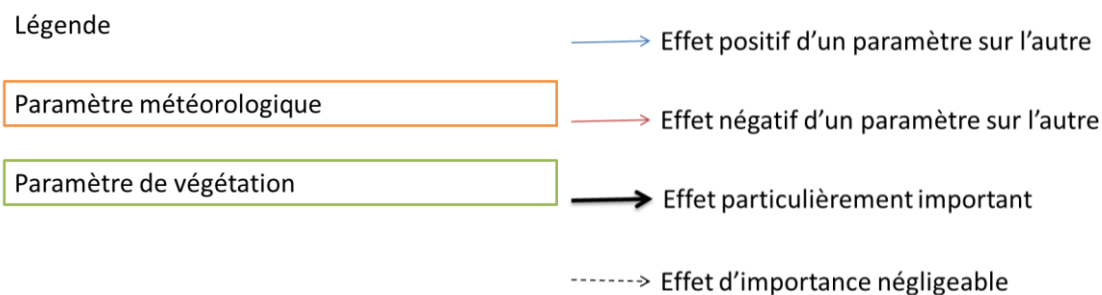


Figure 41 : Carte causale de l'effet des paramètres météorologiques sur les ressources des exploitations agricoles

## 4.6 Typologie de végétations

La typologie de végétations a été construite de manière à être suffisamment générique pour être valide sur l'ensemble du massif alpin ; la première ébauche de cette typologie a été élaborée avec des experts dans les Alpes du Nord et dans les Alpes du Sud. La Figure 42 décrit les différents types de végétation d'alpages, leurs fonctions les plus courantes dans les différentes séquences de pâturage, les aléas climatiques auxquelles elles sont le plus sensibles. La Figure 43 précise es différences de sensibilité aux pratiques des types de végétation

La typologie de végétation fait le lien entre le modèle de gestion et le modèle biophysique. Conformément à l'approche fonctionnelle retenue dans le modèle de gestion, cette typologie différencie les végétations d'alpage selon leur aptitude à remplir différentes fonctions dans la succession de séquences de pâturage, en distinguant des fonctions dans les séquences « de base » et des fonctions qui servent d'ajustement aux différentes échelles de gestion. Ces différentes fonctions s'expliquent par des caractéristiques de végétations, qui reflètent leur diversité fonctionnelle (Ansquer et al. 2004, Duru et al. 2010b) : différences de précocité, de souplesse d'exploitations, d'aptitude au report sur pied... Cette typologie est ainsi à rapprocher de typologies fonctionnelles analogues construites sur prairies permanentes (Jeannin et al. 1991, Petit et al. 2005, Cruz et al. 2010, Launay et al. 2011, Carrère et al. 2012, Michaud et al. 2013) et sur parcours (Farrié et al. 2015).

La typologie discrimine donc les végétations à la fois sur les fonctions qu'elles peuvent remplir et sur leur sensibilité aux aléas (Figure 42) et aux pratiques (Figure 43). Pour parvenir à décrire les différents aléas auxquels les végétations peuvent être sensibles, nous nous sommes référés à la carte causale de l'effet de la météo sur les ressources en alpage (Figure 38). La bonne adéquation entre fonctions à assurer et sensibilités des végétations s'explique d'une part par les caractéristiques fonctionnelles des végétations. Par exemple les faciès productif correspondent à des végétations précoces et productives, à feuilles larges (dominance de graminées de Type B dans la typologie fonctionnelle des graminées de Cruz et al. (2010)). En cas de printemps chaud (précoce), la maturité de ces végétations va être un inconvénient ; elles perdront vite en qualité. Par contre en cas de printemps froid, elles accuseront moins de retard de développement que d'autres végétations. D'autre part cette adéquation entre fonctionnalité et sensibilité aux aléas s'explique par les conditions de milieux dans lesquelles se trouvent les végétations. Si l'on reste sur l'exemple du faciès productif, c'est un faciès dont les conditions écologiques correspondent à des sols fertiles et profonds, permettant l'expression d'une végétation productive et précoce, et avec une importante réserve utile, permettant une faible sensibilité à la sécheresse.



## Chapitre 4 : Le modèle de système alpage-exploitations

Saisonnalité	Jun	Juillet	Août	Septembre	Octobre
<b>Sensibilité aux aléas climatiques</b>					
<b>fonction principale, cas général</b>					
<b>fonction principale, cas particuliers</b>					
<b>Fonction d'ajustement à l'échelle de la journée</b>					
<b>Fonction d'ajustement à l'échelle de la saison pastorale ou de la saison d'alpage</b>					
<b>Fonction d'ajustement à l'interaction alpage-exploitation</b>					
<b>Saison pratique, et dates approximatives</b>					
<b>Type de végétation, description du type, sensibilité aux pratiques à l'échelle de l'année</b>					
<b>Productif</b> : Végétation productive, précoce, de bonne qualité mais peu apte au report sur pied. Sur sol profond et fertile. <i>Sensible au pâturage tardif (gaspillage)</i>	gel : perte quantitative chaleur : accélération maturité et perte qualité		sécheresse : peu de repousses		
	DP	PP	FP	PA	
	Apport part fibreuse dans la ration				
	Pâturage précoce en cas de printemps tardif -DP				
	Pâturage tardif possible (mais perte de qualité et gaspillage) FP				
	Pâturage tardif possible				
<b>Intermédiaire subalpin</b> : Végétation de qualité fourragère, variable, avec une bonne aptitude au report sur pied, sur sol de profondeur et fertilité moyenne. <i>Sensible au pâturage précoce (limite repousse)</i>	froid : végétation en retard	chaleur et/ou sécheresse : sénescence accélérée	sécheresse : repousse automnale limitée		
	DP	PP	FP/E	PA	FA/H
	importante diversité intrafaciès permettant diversité d'utilisation, et une diversité de qualité dans le circuit de pâturage				
	En cas de manque de ressource (secteur tampon ressource la moins bonne habituellement peu consommé)				
<b>Intermédiaire alpin</b> : Végétation de qualité fourragère variable, avec une bonne aptitude au report sur pied, sur sol de profondeur et fertilité moyenne. <i>Sensible au pâturage précoce (limite la repousse)</i>	printemps et début d'été froids : végétation en retard	Sécheresse	Mauvais temps	fin août : difficulté d'accès à la ressource	
			PP		
	diversité intrafaciès permettant diversité d'utilisation				
	en cas de manque de ressource (secteur tampon et/ou le grossier habituellement peu consommé) si journées de beau temps et quartier facilement accessible FP				
<b>nival</b> : Végétation très tardive, de très bonne qualité fourragère et très appétente. <i>Sensible au piétinement, à la circulation.</i>		printemps et début d'été froids, enneigement important : végétation en retard	Mauvais temps	fin août : difficulté d'accès à la ressource	
			DP	PP	
<b>Queyrellin</b> : Végétation dominée par la fétuque paniculée, une graminée très précoce, très productive, très peu appétente, sur sol profond (indications pour la strate de fétuque paniculée ; strate basse : voir intermédiaire subalpin) <i>Sensibilité aux pratiques faible à l'échelle de l'année</i>	chaleur : accélération maturité et perte appétence				
		FP	FP		
	dans circuit de pâturage, en complément de végétation riche				
	en cas de printemps tardif, éventuellement en complément d'herbe trop jeune -PP				
	DP/PP				
<b>thermique</b> : Végétation très précoce sur sol superficiels dans les pentes ; peu productif mais forte appétence. <i>Sensible au piétinement, à la circulation des animaux.</i>		PP/FP/E	E	E	PA
	jours de mauvais temps				
	manque de ressource (printemps tardif, sec), mais surfaces limitées				
	automne froid				
<b>Forestier pâturé</b> : Végétation très souple d'exploitation en sous-bois <i>Sensibilité aux pratiques faible à l'échelle de l'année</i>		PP	FP	PA	
	jours de mauvais temps (pluie, froid)				
	En cas de sécheresses				
	PA/FA/H				
<b>embroussaillé</b> : Présence en complément d'un fciès productif ou intermédiaire, d'une strate arbusive importante pouvant contribuer à l'alimentation du troupeau (indications pour la strate arbusive ; strate basse : voir intermédiaire subalpin) <i>Sensibilité aux pratiques faible à l'échelle de l'année</i>	froid : végétation en retard	chaleur et/ou sécheresse : sénescence accélérée (sensib. limitée sur ligneux)	sécheresse : limite la repousse		
	PP			E (strate ligneuse) PA (strate herbacée)	
	Diversité de qualité permettant ration équilibrée				
	Jours de mauvais temps, si pas de forestier				
	si printemps tardif : fournit le grossier. manque de ressource ailleurs (raisons diverses, sécheresse notamment)				
	reste un peu d'herbe + feuilles sous les pieds à l'automne				
	DP/PP				
<b>éboulis plus ou moins végétalisés</b> : Végétation éparse, très peu productive mais appétente. <i>Sensible au pâturage précoce et à la circulation</i>					
	diversification de la ration, jours de mauvais temps				
	Ressource (limitée) dans secteurs tampon				

Figure 42 : Typologie fonctionnelle des végétations d'alpages ; fonctions habituelles et sensibilités aux aléas climatiques

## Chapitre 4 : Le modèle de système alpage-exploitations

Sensibilité de la ressource aux pratiques		type de pratique					
type de végétation		pât (trop) précoce	pât (trop) tardif	gardienage lâche	gardienage serré	circulation, piétinement	fumure
très sensible							
moyennement sensible							
peu sensible							
Productif	supporte pâturage précoce et intense de temps en temps					couche l'herbe	
Intermédiaire subalpin	consommation en début de printemps : manque de fibre, donc plus de surface pâturée et moins bonne repousse	tri dans faciès avec grossier					
Intermédiaire alpin							
nival	sensible au pâturage précoce et surpâturage et circulation, et couchades : éviter chôme, éviter montée trop précoces, éviter non gardienage						
Queyrellin		tri/ fond pasto abimé				herbe couchée	
thermique							
Forestier pâturé							
embroussaillé, landes arbutives	strate arbustive (strate herbacée : voir productif et intermédiaire)						
éboulis plus ou moins végétalisés							

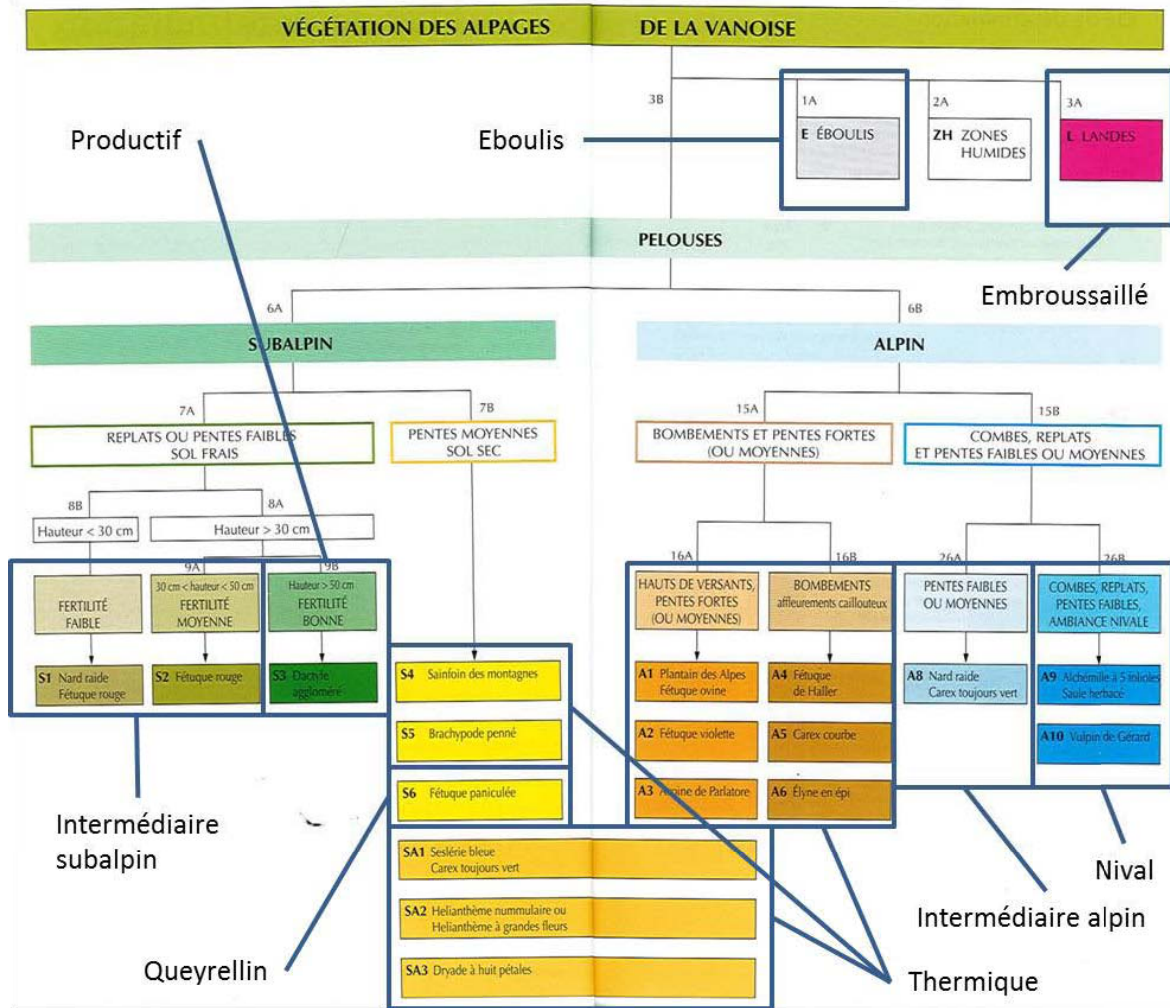
Figure 43 : Sensibilité des types fonctionnels de végétations aux pratiques pastorales

Il y a une correspondance entre la typologie construite et les typologies de végétation antérieures utilisées pour la caractérisation des végétations d'alpage (Jouglet 1999, Bornard et al. 2006) : chacun des types de végétation que nous avons défini regroupe plusieurs types des typologies antérieures (Figure 44 et Figure 45). On retrouve même dans l'arborescence de ces typologies antérieures en grande partie la classification que nous proposons.

On peut avancer deux pistes d'explication à cela. Tout d'abord, les experts se sont appuyés sur leurs représentations de la diversité des végétations d'alpage, qui sont basées sur ces typologies antérieures et l'arborescence de ces typologies (s'appuyer sur ces typologies est d'ailleurs une nécessité pour l'appropriation de la nouvelle typologie et pour son utilisation opérationnelle sur des alpages où la végétation a déjà été cartographiée).

La seconde explication provient du fait que les critères qui ont guidé la construction de la typologie antérieure et les critères qui ont guidé la construction de la nouvelle typologie ne sont pas indépendants. La typologie de végétation antérieure est une typologie d'écofaciès pastoraux : l'écofaciès est l'unité phytoécologique élémentaire, homogène au niveau de la composition qualitative (faciès de végétation : espèces présentes et proportion de ces espèces), des caractéristiques écologiques stationnelles (altitude, exposition, topographie, substrat, sol), et du potentiel agronomique (indice de valeur pastorale et quantité d'unités fourragères produites) (Jouglet 1999). La sensibilité à certains aléas climatiques dépendra des conditions stationnelles (sécheresse, déneigement précoce et gel...) ; et si la valeur pastorale est loin des caractéristiques fonctionnelles ciblées par notre typologie (précocité, souplesse d'exploitation, aptitude au report sur pied), elle reflète d'autres aspects de la diversité fonctionnelle des plantes (productivité, valeur nutritive, appétence), qui peuvent être corrélées avec celles que nous avons ciblées, comme en témoignent les types fonctionnels de graminées définis par Cruz et al. (2010).

## Typologie des alpages de la Vanoise (Bornard et al., 2006)



Forestier pâturé : non inclus dans cette typologie

Figure 44 : Correspondance entre la typologie fonctionnelle de végétation construite et deux typologies utilisées dans les Alpes du Nord (Bornard et al. 2006).

Typologie Alpes du Sud (Jouglet, 1999)



Figure 45 : Correspondance entre la typologie fonctionnelle de végétation construite et deux typologies utilisées dans les Alpes du Sud (Jouglet 1999).

Le consensus a été très rapidement trouvé sur cette typologie. Les quelques hésitations ont concerné les pelouses thermiques. Faut-il distinguer les deux types de pelouses de mode thermique que sont les pelouses à faible et fort recouvrement ? Faut-il rassembler pelouses de modes thermique du subalpin et pelouses écorchées des crêtes ventées que l'on trouve dans les Préalpes (Luberon, Ventoux) ? Au final dans un souci de simplicité et de généricité, un seul type a été conservé pour ces différentes végétations, dont les caractéristiques fonctionnelles des végétations se révèlent très proches.

Dans l'analyse du fonctionnement d'un alpage, la possibilité de mobiliser les végétations pour remplir les fonctions est à nuancer en fonction de la configuration de l'alpage, qui peut contraindre l'accès aux végétations.

Sur les exploitations, où il existe déjà des typologies fonctionnelles de prairies et de parcours adaptées à différentes régions, nous n'avons pas construit de typologie aussi précise que sur les alpages, d'autant plus que les protocoles de suivi mis en place dans Alpages sentinelles ne nous permettaient pas d'avoir une information fine sur les végétations utilisées et que nous n'aurions pas pu évaluer la pertinence de la typologie. Nous avons donc simplement fait la distinction dans les suivis entre les prairies de fauche (mécanisables, fertilisables et généralement régulièrement

fertilisées) et l'ensemble des surfaces pastorales. A quelques rares exceptions, les premières sont plus productives, plus précoces, moins aptes au report sur pied que les secondes.

#### **4.7 Modèle d'état et de transition : modèle biophysique de long-terme**

Le modèle d'état et de transition représenté en Figure 47 s'appuie sur la typologie de végétation. En termes de gestion pastorale sur le long-terme, il est en effet important de réfléchir à la façon dont les différents types de végétations remplissant les différentes fonctions vont évoluer.

Au cours des séances de modélisation participative, très peu d'éléments concernant l'effet du climat sur l'évolution des végétations sont ressortis, malgré de nombreuses relances sur ce sujet. Cela traduit un réel manque de connaissances technique et empirique sur ce sujet, marqué par l'incertitude. Nous avons montré (chapitre 1) que les connaissances scientifiques à ce sujet pointaient différents effets du changement climatique qui conduisent à des combinaisons de dynamiques inverses, si bien qu'il est aujourd'hui difficile de conclure sur les changements qui vont survenir. Peut-être qu'il est encore trop tôt pour que les acteurs aient pu observer massivement des changements. Peut-être ces changements sont-ils trop progressifs pour être détectables sans protocole de suivi spécifique.

Par contre des éléments nombreux et très précis ont été apportés quant à l'effet des pratiques sur l'évolution des végétations.

Des sous-types ont été définis au sein de chaque type de végétations, qui permettent de décrire des gradients qualitatifs pour chaque type de végétation et une plus ou moins bonne aptitude à remplir les fonctions attendues du type de végétation. Les connaissances apportées par les experts ont principalement porté sur ces gradients qualitatifs. A l'exception des dynamiques de fermeture de l'espaces (passage de types de végétation ouverts à embroussaillé puis forestier), il a été considéré que le passage de l'un à l'autre des types de végétation n'était pas possible, car les types de végétation étaient trop contraints par des facteurs physiques quasi-immuables. Quelques dynamiques lentes ont quand-même été décrites (flèches pointillées). Ce sont dans ces dynamiques lentes que les experts ont identifié des facteurs climatiques, se basant sur quelques observations sur le terrain<sup>17</sup>, en particulier une « infiltration » d'espèces de pelouses intermédiaires dans des pelouses nivales (Senn, O., comm. pers.). Les experts ont cité la hausse des températures comme facteur explicatif. On peut aussi émettre l'hypothèse que la diminution des durées d'enneigement est aussi un facteur déterminant.

Les dynamiques modélisées par les experts vont dans le même sens que celles indiquées dans les travaux antérieurs sur les végétations d'alpage (Brau-Nogué 1996, Jouglet 1999, Bornard et al. 2006). Elles sont réorganisées ici selon la nouvelle typologie, et pour une part ciblent d'avantage les caractéristiques des végétations qui présentent un intérêt pour la gestion des aléas climatiques (diversité végétale au sein du type productif, qui améliore la souplesse d'exploitation par exemple).

---

<sup>17</sup> Rares sont les dispositifs de suivis sur le long-terme, qui supposent notamment de relevés de végétation localisés avec précision, avec implantation de repères physiques. Dans le massif Alpin, de tels dispositifs existent depuis les années 80, dans le Parc national des Ecrins (suivis réalisés par Olivier Senn), et dans la Réserve Naturelle des Hauts Plateaux du Vercors depuis les années 80 (suivis réalisées par le Cemagref-Irstea). Il est en outre difficile de faire la part des facteurs explicatifs d'éventuels changements dans la composition des végétations entre l'effet des pratiques pastorales et l'effet des conditions climatiques.

A première vue, les travaux de Brau-Nogué (1996) semblent infirmer l’hypothèse d’une quasi-impossibilité d’évolution d’un type de végétation à l’autre. Ces travaux décrivent des dynamiques de végétation inter-types, sur des pas de temps de quelques décennies, à partir d’un approche synchronique complétée par quelques observations diachroniques (Figure 46). Mais ces dynamiques, qui ne concernent si on fait le lien avec notre typologie que des changements entre les types productif, intermédiaire, et embroussaillé, s’expliquent principalement par l’effet de la fertilisation. Ils sont décrits pour des alpages laitiers dans les Alpes du Nord, un contexte assez différent de celui que connaissent les experts interrogés pour la construction du modèle d’état et de transition, avec des chargements élevés, et parfois des apports de fumure organique (de l’étalement des bouses, jusqu’à des épandages de lisiers).

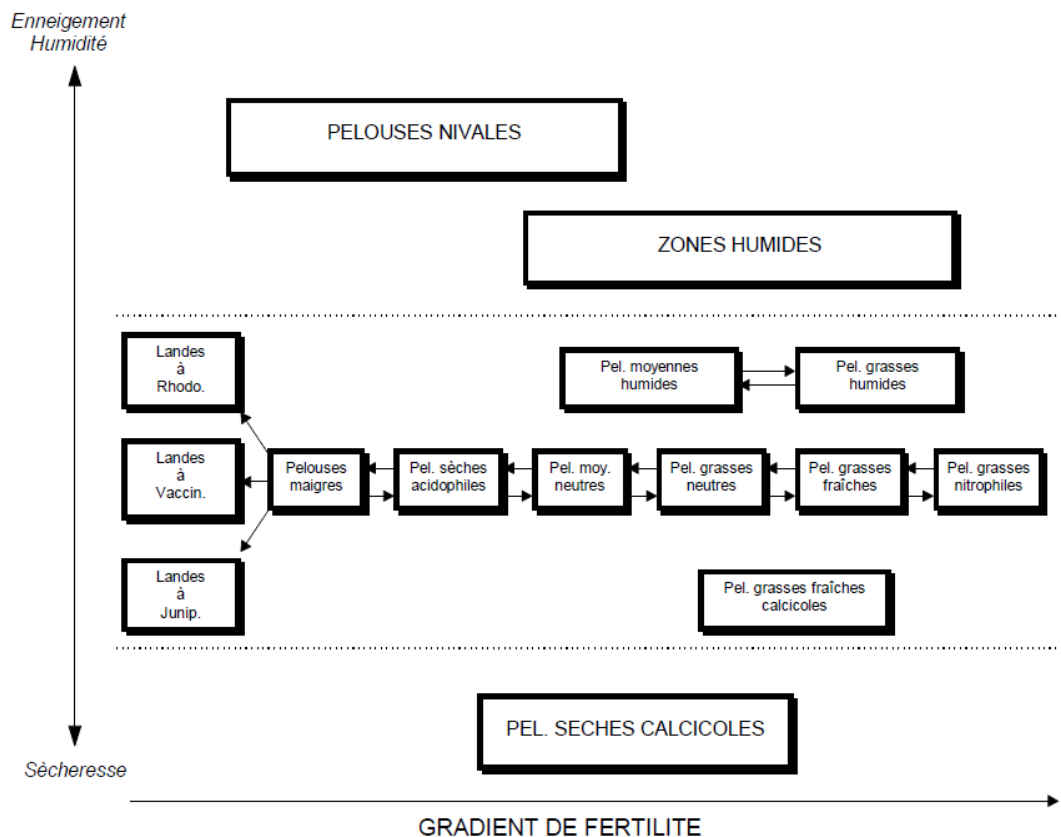


Figure 46 : Hypothèses d'évolution de la végétation - Représentation schématique des filiations dynamiques entre types - (Brau-Nogué 1996)

Il n'est pas sûr que les quelques dynamiques inter-types décrites et le caractère assez cloisonné des différents types de végétation fassent l'unanimité parmi les experts mobilisés. Nous n'avons malheureusement pas eu le temps au cours de la dernière phase de modélisation où le nombre de participants était important, de valider collectivement ces aspects par un tour de table exhaustif.

Il demeure enfin des incertitudes sur les facteurs qui expliquent les dynamiques qui sont observées. La dynamique du nard dans les pelouses intermédiaires, en particulier, semble pour les experts relever d'interactions complexes et mal connues. A l'exception de l'effet de la fumure (via les parcs de nuit) pour laquelle tous les experts s'accordent pour dire qu'elle provoque une régression du nard dans les faciès de végétation, celui-ci semble difficile à piloter par les pratiques pastorales. Des

## Chapitre 4 : Le modèle de système alpage-exploitations

travaux ont été entrepris de longue date sur la dynamique du nard (Jarrige et al. 1979), qui faisaient effectivement ressortir le caractère complexe de la dynamique de l'espèce dans son milieu.

Ce modèle d'état et de transition peut trouver son utilité dans deux utilisations concrètes : d'une part, il peut servir dans une démarche d'analyse des pratiques en alpage et de conseil, pour réfléchir aux effets des pratiques sur l'évolution de la diversité des milieux, et leur complémentarité face aux aléas climatiques (ce que nous allons faire dans le chapitre 7 en mobilisant le cadre d'analyse de la résilience). D'autre part, il peut servir de base pour interroger des bases de données de suivis de végétations sur des pas de temps pluriannuels afin de valider ou infirmer les hypothèses posées, et de lever les incertitudes (travail en cours en 2016 dans le cadre du dispositif Alpages Sentinelles).



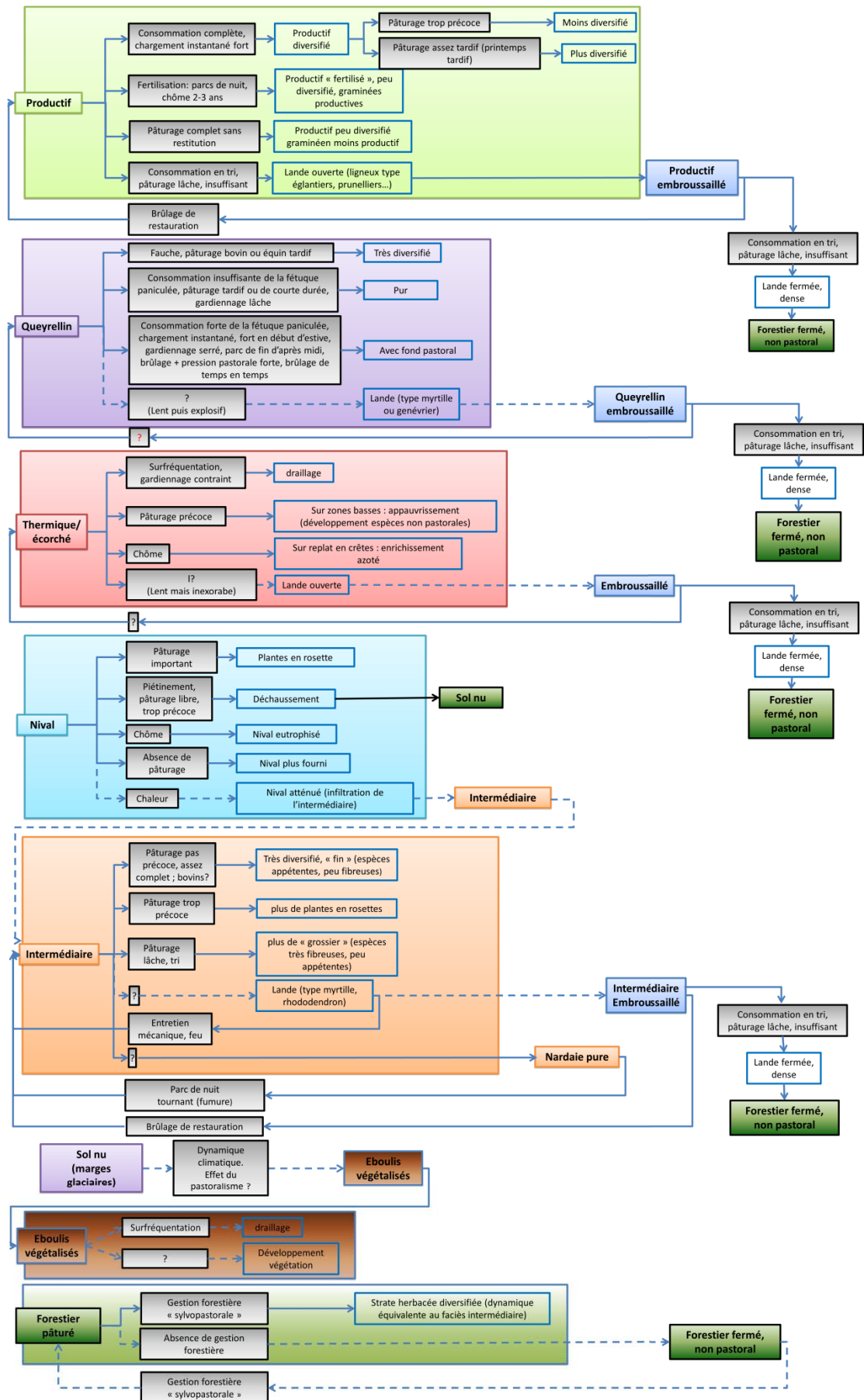


Figure 47: Modèle d'état et de transition représentant l'effet des pratiques pastorales et du climat sur la dynamique des végétations d'alpages. Construction à dire d'expert

*Drailler : Marquer les pentes de multiples sentes parallèles aux courbes de niveau, par le passage répété des troupeaux transhumants.*





## Troisième partie : Evaluation du modèle conceptuel : étude d'un échantillon de systèmes alpage-exploitations

---



F'murr, *Le Génie des Alpes*, Tome 2 : *Comme des Bêtes*, 1976



## **5 Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations**



## 5.1 Pourquoi et comment caractériser l'exposition aux aléas climatiques des systèmes alpage-exploitations

Après avoir construit un modèle de système alpage-exploitations, nous allons à présent chercher à évaluer ce modèle, le mettre à l'épreuve en testant sa capacité à servir de grille de lecture pour analyser la vulnérabilité aux aléas climatiques d'un échantillon diversifié de cas. Pour rappel dans un premier temps avec l'analyse de la vulnérabilité (chapitre actuel et chapitre suivant) nous nous restreignons à la problématique de la gestion des aléas climatiques ; dans un second temps nous considérerons aussi la problématique de long-terme d'adaptation à la co-évolution du milieu, du climat, et des systèmes, en mobilisant le concept de résilience, dans une démarche plus exploratoire (cf. chapitre 7) (voir Figure 31, page 98 qui présente une synthèse de la démarche).

Comme nous l'avons présenté dans la première partie de cette thèse (chapitre 2), la vulnérabilité aux aléas climatiques des systèmes alpage-exploitations est fonction de leur exposition, de leur sensibilité et de leurs capacités d'adaptation aux aléas climatiques. Nous positionnons dans ce travail les capacités d'adaptation au cœur de l'analyse de la vulnérabilité. Avant d'analyser les capacités d'adaptation de notre échantillon de systèmes alpage-exploitations, nous allons comparer dans ce chapitre leur exposition aux aléas climatiques, car si les aléas subis sont différents en nature et en intensité, les adaptations à mettre en œuvre ne seront pas les mêmes. Adopter une approche comparative s'avère plus « parlant » pour décrire des paramètres climatiques que donner des valeurs absolues sans aucune référence.

Pour comparer l'exposition aux aléas climatiques des différents systèmes alpage-exploitations de notre échantillon, nous comparons les climats qu'ils subissent : nous comparons leurs climats « moyens », (le nombre moyen de jours de gel sur une période de l'année, la durée moyenne des sécheresses...), et nous comparons aussi la variabilité climatique interannuelle, afin d'avoir à la fois une vision de l'ampleur et de la fréquence des aléas climatiques.

Pour que cette comparaison des climats se fasse bien du point de vue de leur effet sur la dynamique des ressources et sur la gestion des systèmes alpage-exploitations, nous définissons des indicateurs agrométéorologiques adaptés (Sautier et al. 2013a) exprimant ce qui constitue un aléa climatique pour un système alpage-exploitations. Nous mobilisons pour cela la carte causale construite dans le chapitre 4 et qui explicite les relations de cause à effets entre d'une part des paramètres météorologiques et d'autre part les dynamique des ressources et les contraintes de gestion (Figure 38 page 115 et Figure 41 page 121). Nous confrontons ensuite ces indicateurs à des données climatiques.

Dans ce travail nous devons prendre en compte le fait que le climat est hétérogène à l'intérieur même du système alpage-exploitations, cette hétérogénéité étant un facteur clé dans la gestion, notamment pour l'adaptation aux aléas climatiques (différences d'exposition aux aléas, décalages temporels des saisons et de la pousse de l'herbe...). Le climat est différent entre l'alpage et la/les exploitations utilisatrice(s) ; il est aussi hétérogène au sein même de l'alpage, et au sein d'une exploitation. Pour prendre en compte cette variabilité spatiale à l'intérieur même du système nous devons donc travailler à l'échelle du climat local (de l'ordre de quelques centaines de mètres en montagne), et (1) définir des indicateurs pour caractériser ces climats locaux du point de vue de leur effet sur la ressource, puis (2) définir des indicateurs agrométéorologiques à l'échelle des unités de

gestion, intégrant la variabilité spatiale du climat, et permettant de caractériser l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle des unités de gestion.

La réalisation de ce travail d'analyse comparative à l'échelle du système alpage-exploitations nous conduit à analyser tour à tour le climat sur les alpages et sur les différentes exploitations utilisatrices et à établir différentes typologies d'exposition aux aléas climatiques. Comme ce ne sont pas les mêmes paramètres climatiques qui jouent sur la dynamique des végétations et sur la gestion des ressources fourragères aux différentes altitudes, et comme les végétations ne sont pas mobilisées de la même façon sur les alpages et sur les exploitations, nous définissons des indicateurs différents pour les alpages et les exploitations, nous analysons le climat des premiers et des secondes dans deux démarches parallèles et complémentaires, et enfin nous croisons ces deux analyses pour passer au niveau du système alpage-exploitations.

Enfin, la mobilisation de données climatiques sur les alpages peut permettre de réaliser une analyse critique de la carte causale que nous avons construite, pour confirmer ou infirmer certaines hypothèses, et affiner l'importance relative des différents paramètres météorologiques sur la végétation. Cette « validation » pourrait permettre, au cours d'une itération supplémentaire du modèle, de le simplifier en identifiant les paramètres principaux et en réduisant leur nombre. Dans cette thèse, nous n'effectuons pas cette itération supplémentaire, mais nous réalisons quand-même une ébauche de cette analyse critique car elle nous sert à affiner le choix des indicateurs agrométéorologiques les plus pertinents à conserver dans la caractérisation des climats locaux.

## 5.2 Eléments de méthodologie

Les spécificités méthodologiques du travail d'analyse de l'exposition aux aléas climatiques nous conduisent à préciser ici la méthodologie que nous avons suivie.

### 5.2.1 Limites des relevés météorologiques pour caractériser le climat sur les alpages

Une des contraintes dès lors que nous nous intéressons au climat à l'échelle d'un alpage (et à plus forte raison à la variabilité interne à l'alpage), est l'absence de données météorologiques précises sur cet alpage. D'une part nous constatons un manque de données : peu de séries temporelles longues et qui présentent de plus des incertitudes quant à leur homogénéité statistique (stations météo fermées ou déplacées), mauvaise prise en compte des précipitations solides (Bigot et Rome 2010) pourtant essentielles pour le développement de la végétation à l'altitude des alpages, ou de l'évapotranspiration potentielle également importante pour la végétation. Les stations météorologiques sont de plus mal réparties - davantage en moyenne montagne qu'en haute-montagne - (Durand et al. 2009b). La rareté des données est d'autant plus problématique qu'il y a une grande variabilité spatiale du climat en montagne, en raison du relief : différences de rayonnement selon la pente et l'exposition, différences de températures selon l'altitude, effets locaux du relief : brise de vallée, effet de Foehn... (Thillet et Schueller 2009).

Si globalement un effort est fait depuis quelques années pour équiper les massifs montagneux (voir par exemple le réseau Romma, Réseau d'Observation Météo du Massif Alpin) et si quelques alpages, notamment des alpages sentinelles du Vercors et des Ecrins, ont pu être équipés dans les années récentes de capteurs climatiques, ces alpages sont loin de représenter la diversité des situations

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

climatiques de notre échantillon d'alpages, et les données ne permettent pas encore d'avoir un recul historique important (au mieux on dispose de 10 années d'enregistrement). Des informations sont certes recueillies auprès des bergers du réseau Alpagnes sentinelles (Dobremez et al. 2014), qui présentent l'intérêt de coupler des mesures quantitatives (relevés des précipitations sur l'alpage) avec des perceptions qualitatives de la météo sur l'alpage, mais elles ne sont effectuées que durant la saison d'alpage ; il manque ainsi la période cruciale de pousse de l'herbe du déneigement à l'arrivée des troupeaux (par analogie, de nombreux relevés nivologiques référencés par Météo France sont effectués par les stations de ski et ne couvrent que les périodes d'ouverture des stations, limitant la possibilité de les utiliser pour analyser l'enneigement ou le déneigement). Enfin la variabilité climatique dans l'espace est telle qu'à l'échelle d'un alpage elle ne peut pas être négligée (concrètement quand les troupeaux commencent à pâturer le bas des alpages les plus étagés, le haut de ces alpages est souvent encore enneigé) ; à moins d'équiper de nombreux alpages d'un réseau très dense de capteurs, il semble donc difficile de s'appuyer directement sur des relevés météorologiques pour caractériser le climat sur un alpage ; il est donc nécessaire d'extrapoler les données climatiques disponibles.

Le même problème de manque de données au regard de la forte variabilité spatiale du climat en montagne se pose sur les exploitations, d'autant plus que celles-ci seront au cœur des massifs montagneux.

L'enjeu est donc de parvenir à mobiliser des données extrapolant « correctement » les conditions climatiques à l'échelle des alpages et des exploitations à partir des relevés existants, et de parvenir à proposer des paramètres pertinents pour la dynamique des végétations d'alpage à partir de ces données.

### 5.2.2 Mobiliser le modèle climatique SAFRAN sur les alpages et les exploitations

Le modèle SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie) (Durand et al. 1993, 1999) est un modèle capable de fournir en un point donné des données météorologiques à un pas de temps horaire, en s'appuyant à la fois sur les mesures du réseau de stations existantes autour du point et sur les analyses de modèles atmosphériques et de modèles radiatifs. Les données permettent ainsi de remonter jusqu'à l'année 1958. L'originalité du modèle SAFRAN provient du découpage de l'espace en zones homogènes (dans l'interpolation des données mesurées, les observations des zones voisines ont moins de poids que celles de la zone analysée) et à la prise en compte de l'altitude avec une résolution verticale de 300 m (Soubeyroux et al. 2008). Conçu initialement pour des problématiques de prévision du risque d'avalanches dans les Alpes et les Pyrénées, il a progressivement été étendu à l'ensemble du territoire métropolitain.

Météo-France propose deux jeux de données qui peuvent nous intéresser, correspondant à deux déclinaisons différentes du modèle Safran :

- la déclinaison SAFRAN sur l'ensemble de la France, sur une grille avec une maille de 8 kilomètres : sur chaque point de cette grille (à une longitude, une latitude et une altitude données), des paramètres météorologiques sont fournis (Quintana-Seguí et al. 2008, Vidal et al. 2010).
- le modèle SAFRAN massif associé à la chaîne de modélisation SAFRAN-Crocus, disponible pour les Alpes et les Pyrénées, fournissant une donnée homogène pour l'ensemble d'un petit



massif, par exemple le Vercors (Figure 48), mais permettant de décliner les valeurs sur ce massif selon l'altitude, la pente et l'exposition (Durand et al. 2009b).

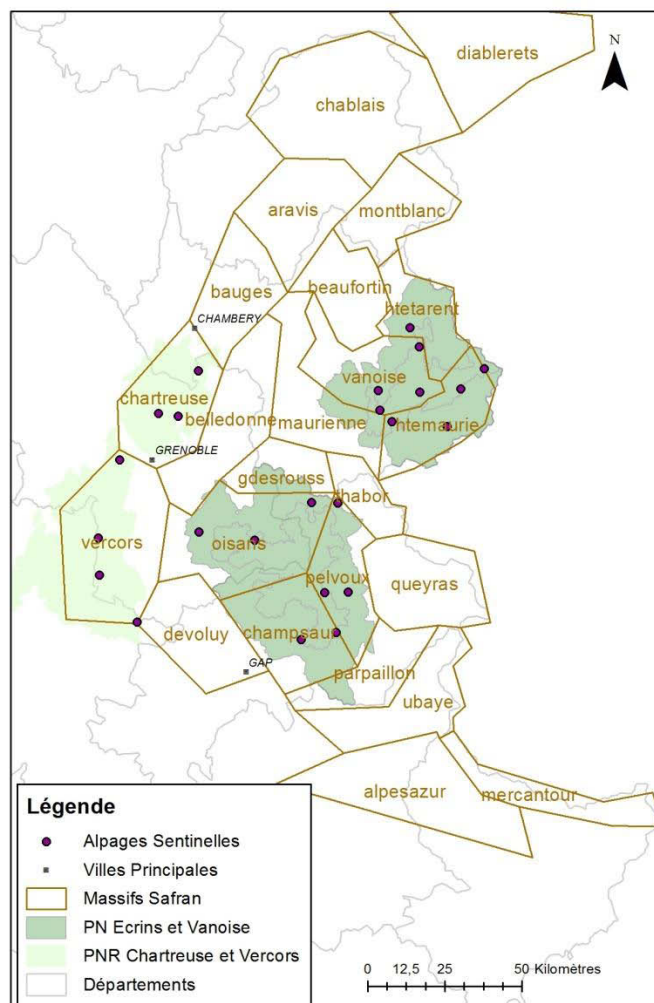


Figure 48 : Carte des massifs homogènes du modèle SAFRAN-Crocus, et position des 25 alpages sentinelles de notre échantillon (Source : Météo France CNRM-GAME)

En plaine, l'échelle de 8 km est l'échelle la plus fine disponible pour le territoire métropolitain pour ce genre de données ; elle s'avère largement suffisante pour caractériser le climat sur une exploitation agricole (tout point sera située au plus à 5,7 km d'un point de la grille). En montagne ce niveau de précision est en revanche très insuffisant pour caractériser le climat d'un point donné, le climat pouvant varier fortement sur quelques centaines de mètres de distance en fonction du relief. SAFRAN-Crocus est donc adapté pour prendre en compte ces particularités. Partant du principe qu'en montagne le climat varie beaucoup plus en fonction du relief qu'en fonction de la longitude ou la latitude, les Alpes Françaises et les Pyrénées ont été découpées en zones climatiques considérées comme homogènes, les « massifs SAFRAN » (zones climatiques influencées par les morphologies d'ensemble de ces deux massifs : Préalpes, vallées internes, influence méditerranéennes... pour les Alpes (Figure 48) ; gradients d'influences océanique et méditerranéenne, et versant Nord et Sud pour les Pyrénées); pour chacune de ces zones, un seul point de grille a été retenu, mais les données modélisées ont été nuancées en fonction de l'altitude, qui influence fortement la température (SAFRAN), de la pente et de l'exposition, qui influencent fortement le rayonnement et in fine le manteau neigeux (Crocus). Ainsi dans ce modèle, deux points d'un même massif SAFRAN (par

exemple le Vercors), géographiquement éloignés mais situés à la même altitude et ayant la même exposition et la même pente auront le même climat ; à l'inverse deux points très proches, mais ayant une altitude, une exposition ou une pente différente pourront avoir des climats très différents. En plus des paramètres atmosphériques, SAFRAN-Crocus permet la modélisation de la dynamique du manteau neigeux et permet donc de connaître l'évolution de son épaisseur<sup>18</sup>.

### 5.2.3 Mobiliser des données de télédétection MODIS en complément

La télédétection, que l'on peut définir comme la mesure de l'énergie électromagnétique émise par les surfaces terrestres (Ahamed et al. 2011), est déjà utilisée depuis de nombreuses années pour cartographier l'occupation du sol au moyen de satellites (voir par exemple Aplin et al. 1999, Smith et Wyatt 2007). Elle offre aujourd'hui des possibilités plus grandes et permet notamment de suivre la dynamique des écosystèmes avec une résolution spatiale fine (Ahamed et al. 2011, Homolová et al. 2013, Lasseur et al. 2014). Il est alors possible de mobiliser ces outils pour estimer la productivité des végétations (Rossini et al. 2012) et de suivre leur phénologie (Pettorelli et al. 2005, Colombo et al. 2011, Hmimina et al. 2013), qui sont deux caractéristiques intéressantes à évaluer au regard de notre modèle conceptuel, et qu'il est possible de mettre en regard des données météorologiques de Safran (Choler 2015).

La télédétection satellitaire permet également d'observer la dynamique du manteau neigeux (Salomonson et Appel 2004). Capturer l'enneigement au sol au moyen d'un outil de télédétection satellitaire peut être une solution intéressante pour pallier les incertitudes du modèle SAFRAN sur l'enneigement, qui est extrêmement variable dans l'espace : effet locaux de courants d'air, effet d'ombrage ou d'abri apporté par des arbres ou des reliefs... que Safran ne prend pas en compte.

Les données MODIS (*Moderate - Resolution Imaging Spectroradiometer*) issues du satellite Terra de la NASA, fournissent gratuitement différents types de données à une résolution spatiale comprise entre 250 et 1000 m selon les longueurs d'ondes mesurées, sur un pas de temps de 8 jours (Tan et al. 2006). Ainsi, deux types de signaux en particulier, calculés à partir de la combinaison de différentes gammes de longueur d'ondes, nous intéressent :

- le NDSI (Normalized Difference Snow Index) correspond au signal renvoyé par la neige (Salomonson et Appel 2004, Bigot et al. 2010).  $NDSI = (GREEN - MIR)/(GREEN + MIR)$

---

<sup>18</sup> Différentes applications concrètes ont été développées à partir de SAFRAN : à partir de la chaîne SAFRAN-Crocus, des modélisations supplémentaires sur le manteau neigeux modélisé sont à la base de la prévision du risque avalanche (chaîne SCM : SAFRAN-Crocus-MEPRA (Modèle Expert de Prévision du Risque Avalanche) (Durand et al. 2009a) ; à partir de la grille SAFRAN à 8 kilomètres, une autre application a été développée pour modéliser les flux hydriques à l'échelle de bassins versants et gérer les risques liés au débit des cours d'eau et à l'état des nappes phréatiques (sécheresses, crues) (chaîne SIM : Safran-Isba (Interaction sol-biosphère-atmosphère)-Modcou) (Soubeyroux et al. 2008, Viel et al. 2008, Vidal et al. 2010). Cette dernière application modélise de manière complexe les réserves hydriques du sol, ce qui pourrait être intéressant pour notre thématique si nous pouvions disposer des données précises de sol ; elle fournit aussi des valeurs d'évapotranspiration potentielle (ETP) que nous pouvons mobiliser.

- le NDVI (Normal Difference Vegetation Index) fournit une estimation de la quantité de tissus chlorophylliens par unité de sol (Tucker 1979, Pettorelli et al. 2005).  $NDVI = (NIR - RED)/(NIR+RED)$

GREEN : réflectance dans le vert

MIR : réflectance dans le moyen infra-rouge

NIR : réflectance dans le proche infra-rouge

RED : réflectance dans le rouge

A partir du NDSI et du NDVI, il est possible de dater le déneigement et l'enneigement, lorsque le ratio NDVI/NDSI devient respectivement supérieur ou inférieur à 1, c'est-à-dire quand le signal renvoyé par la végétation sur un pixel devient plus fort que le signal renvoyé par la neige (Choler 2015). Sur milieux prairiaux, tels que les alpages, il est également possible d'estimer à partir du signal NDVI la date du pic de végétation (valeur maximum du signal NDVI pour une année donnée, qui correspond approximativement à l'épiaison des graminées), et de définir deux indicateurs complémentaires de la production de biomasse : la valeur maximale du NDVI, représentatif de la biomasse accumulée au cours du premier cycle des graminées, et la production globale sur une saison, définie à partir de l'intégrale de la courbe sur la saison (Corona-Lozada 2014, Choler 2015). La Figure 49 synthétise la façon dont sont calculés ces quatre indicateurs.

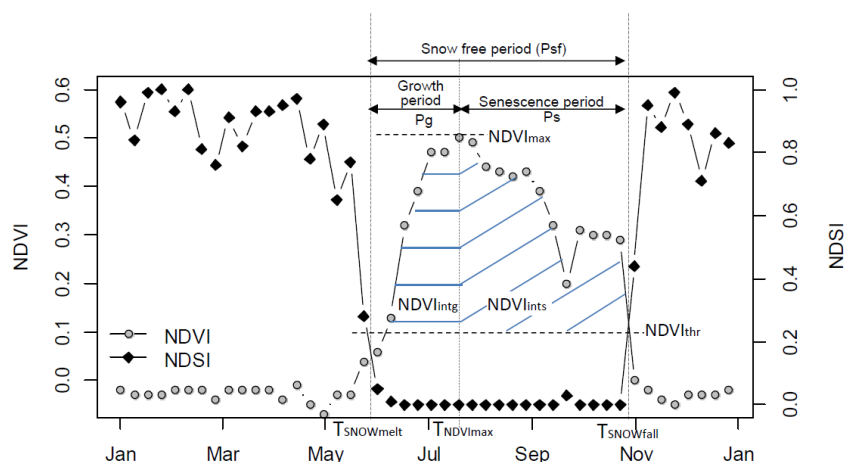


Figure 49 : Evolution au cours d'une année des signaux NDSI et NDVI, et mode de calcul de la date de déneigement ( $T_{SNOWmelt}$ ), de la date d'enneigement ( $T_{SNOWfall}$ ), date du pic de végétation ( $T_{NDVI_{max}}$ ), production au pic de végétation ( $NDVI_{max}$ ), et production globale sur la saison ( $NDVI_{int,g} + NDVI_{int,s}$ ) (Choler 2015)

Le signal satellitaire NDVI s'avère ainsi prometteur pour suivre dans le temps la productivité et la phénologie des végétations, dans un contexte de changements climatiques susceptible de bouleverser les végétations d'alpage. Il présente néanmoins quelques limites : il n'est pas possible de distinguer le signal émis par les végétations herbacées de celui émis par les végétations ligneuses, ce qui paraît problématique pour les alpages fortement boisés. Par ailleurs, le signal NDVI sature pour des fortes productivités, ce qui limite actuellement la possibilité de l'utiliser pour estimer la productivité des végétations pour les prairies les plus productives.

#### 5.2.4 Calculer des indicateurs agrométéorologiques à partir de SAFRAN et MODIS sur les alpages et sur les exploitations

Pour pallier l'insuffisance de données météorologiques sur les alpages, où le relief influence fortement le climat et où l'enneigement est un paramètre clé, nous avons donc mobilisé les données

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

SAFRAN-Crocus, complétées par des données MODIS, et un modèle numérique de terrain (maille de 500 m) pour calculer des indicateurs agrométéorologiques. Ces informations nous permettent de comparer les climats sur les différents alpages, mais aussi d'analyser la variabilité spatiale du climat au sein d'un alpage (Figure 50). Ainsi, le plus petit des alpages (VAL) sera représenté par 3 pixels et le plus grand (AUS) par 82 pixels. Au total sur les 25 alpages nous avons 682 pixels de 500m x 500m.

Comme les indicateurs définis sont différents à l'étage subalpin et à l'étage alpin, nous avons distingué sur les alpages des quartiers « bas » et des quartiers « hauts », qui correspondent approximativement aux étages subalpin et alpin (Figure 50). Pour faire cette distinction nous nous sommes appuyés sur l'altitude des quartiers et sur les calendriers de pâturage. La limite réelle entre végétation subalpine et alpine ne suit pas précisément les limites de quartiers, mais nous avons préféré conserver le découpage en quartiers, qui est plus cohérent par rapport à la gestion que les étages de végétation. Sur les 25 alpages, 10 alpages avec un faible étagement altitudinal n'ont que des quartiers bas et 15 ont des quartiers bas et hauts.

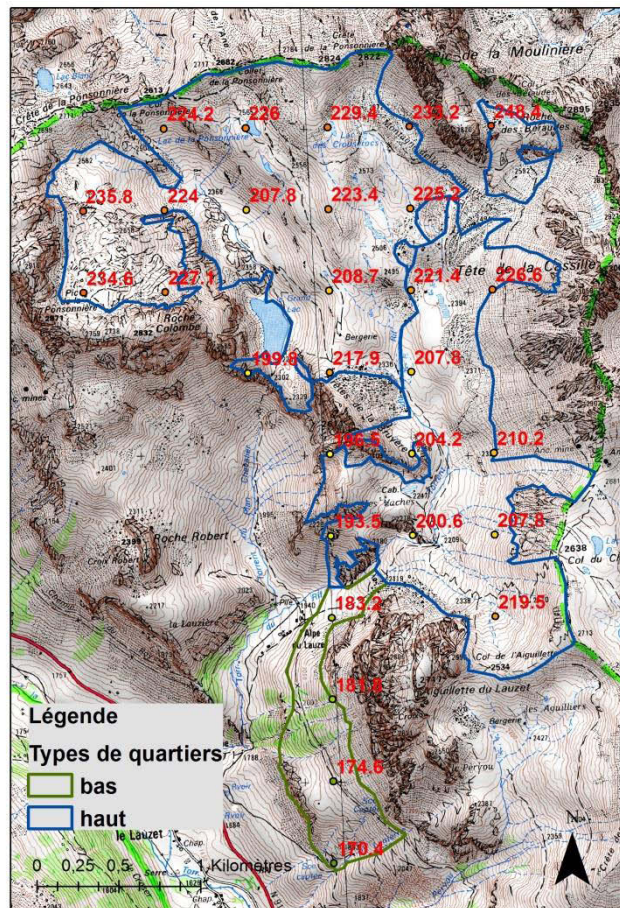


Figure 50 : Dates (nombre de jours à partir du 1<sup>er</sup> janvier) où sont atteints, en moyenne sur la période 2000-2012, les 600 degrés-jours à partir du déneigement (indicateur retenu de maturité des végétations) et découpage en quartiers bas et hauts sur l'alpage PON, avec une résolution spatiale de 500m ; données sources : MODIS et SAFRAN – Traitement Irstea-LECA – Fond Carto IGN SCAN 25 – contours des quartiers Cerpam

*L'alpage PON est un alpage assez déséquilibré, avec un petit quartier bas et des quartiers hauts surdimensionnés. Sur la période 2000-2012 sur cet alpage plutôt tardif, le stade des 600 degrés-jours à partir du déneigement est atteint en moyenne au 170<sup>ème</sup> jour (19 juin) sur le point le plus précoce de l'alpage, et au 248<sup>ème</sup> jour (5 septembre) sur le point le plus tardif.*



## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Sur les alpages nous avons procédé en deux temps : nous avons d'abord défini et calculé des indicateurs agrométéorologiques « ponctuels », pour chaque pixel de 500mx500m, puis nous avons mobilisé ces indicateurs pour en calculer de nouveaux à l'échelle des unités de gestion que sont les alpages. La définition de ces indicateurs a fait partie intégrante de la démarche de modélisation participative (Figure 25 page 85).

Sur les exploitations, la situation est différente si elle se trouve au sein d'un massif montagneux ou en plaine. En plaine la grille SAFRAN à 8 kilomètres peut convenir dans la mesure où le parcellaire de l'exploitation n'est pas trop dispersé (et il n'y a pas de modèle SAFRAN massif de toutes façons) ; en montagne le point de grille SAFRAN à 8 kilomètres le plus proche de l'exploitation peut correspondre à un climat très différent de celui du siège d'exploitation, et le climat peut de plus être variable au sein du parcellaire de l'exploitation. Néanmoins pour utiliser des données homogènes sur l'ensemble de notre échantillon, nous utilisons le modèle SAFRAN à 8 kilomètres, en retenant un seul point par exploitation. Pour les exploitations de plaine comme de montagne, nous sommes donc amenés à considérer que le climat est homogène à l'échelle du parcellaire, ce qui est une simplification par rapport à l'alpage où nous prenons en compte la hétérogénéité du climat. Plutôt que de prendre le point le plus proche de l'exploitation, nous cherchons un point situé à une altitude proche de la majeure partie du parcellaire, dans la même zone climatique homogène (massif SAFRAN) – et situé à une distance la plus proche possible. De plus, dans l'analyse des climats sur les exploitations, nous n'avons pas pris en compte d'éventuelles zones de transhumance hivernale ou de mise en pension situées loin du siège de l'exploitation.

### 5.2.5 Comparer les climats sur les alpages et sur les exploitations en prenant en compte leur variabilité interannuelle

Que ce soit pour comparer les valeurs moyennes de paramètres climatiques ou pour comparer la variabilité du climat en plusieurs lieux, il est nécessaire de mobiliser des données sur plusieurs années. Par convention en météorologie (Organisation Météorologique Mondiale 2011), un pas de temps de 30 ans est retenu pour définir les valeurs moyennes caractérisant le climat moyen d'un lieu. Ce sont les « normales » (mensuelles, saisonnières, annuelles...). Ainsi les valeurs normales citées aujourd'hui par Météo France sont celles issues de la période 1981-2010. Cependant lorsque l'on s'intéresse à la variabilité climatique, il faut prendre garde à ne pas choisir un pas de temps trop long, afin de bien mesurer la variabilité interannuelle d'un climat que l'on puisse considérer comme « constant » et non la variation du climat. La rapidité du changement climatique a d'ailleurs conduit l'Organisation Météorologique Mondiale à préconiser un changement plus fréquent des normales saisonnières de référence (Organisation Météorologique Mondiale 2015 p. 111). Sur le massif alpin nous notons une forte rupture dans le climat moyen à la fin des années 80, bien visible sur la Figure 51 et également constatée en d'autres lieux du massif alpin (Bigot et Rome 2010). Comparer 30 ans de données pour analyser la variabilité actuelle du climat pourrait conduire ainsi à de mauvaises interprétations, et des périodes de 10 à 15 ans semblent un pas de temps plus adapté pour étudier la variabilité d'un climat en faisant l'hypothèse de le considérer comme constant (moyennes glissantes sur la Figure 51). Ce pas de temps est également un pas de temps qui paraît approprié pour un système alpage-exploitations. Il correspond assez bien à la mémoire des aléas marquants et à ceux auxquels les éleveurs estiment pouvoir s'attendre. Ainsi, lors d'enquêtes que nous avons pu réaliser auprès de bergers et d'éleveurs en 2009, 2003 était considéré par beaucoup comme l'année sèche de référence à laquelle il fallait être capable de faire face ; en 2015, l'épisode de 2003 est plus souvent considéré comme un événement exceptionnel appartenant au passé.

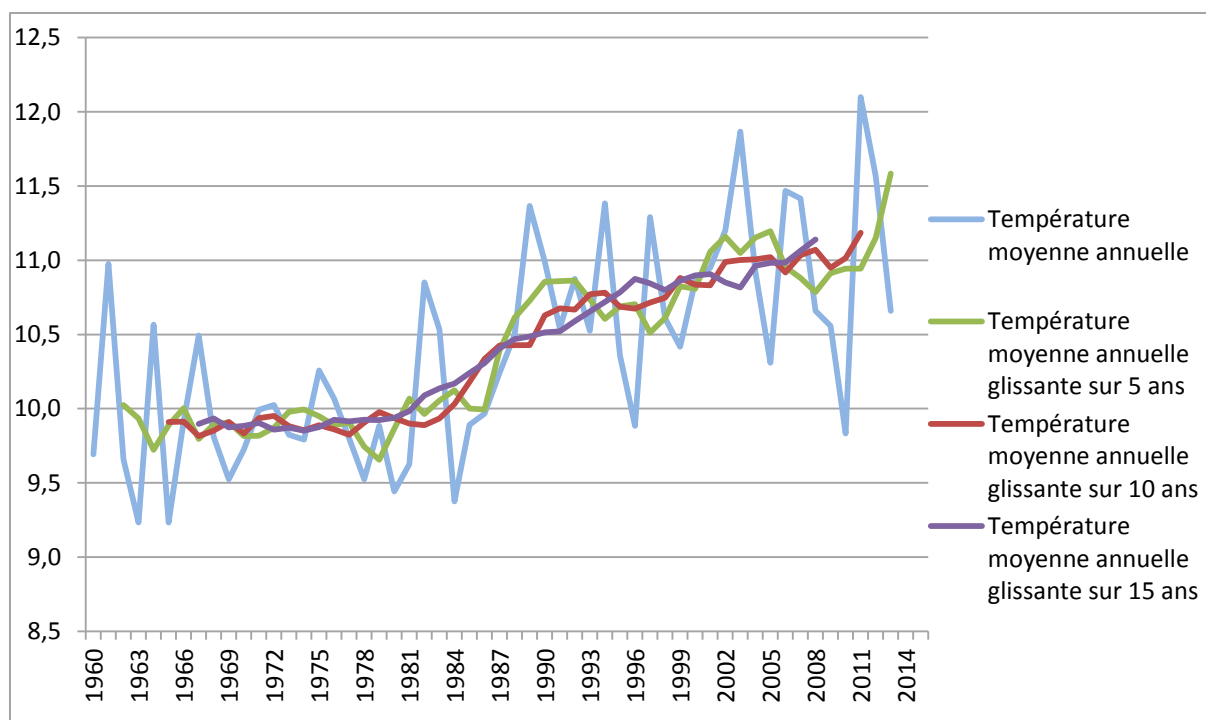


Figure 51 : Températures moyennes annuelles relevées à la station Météo France d'Embrun (Hautes-Alpes), de 1960 à 2013, et températures moyennes glissantes sur 5, 10, et 15 ans

*La forte variabilité interannuelle des températures masque le réchauffement progressif du climat que laissent apparaître les moyennes glissantes sur 10 ans. Parvenir à estimer une valeur moyenne d'un paramètre climatique nécessite donc de réaliser la moyenne sur une dizaine d'années au moins ; mais au-delà d'une quinzaine d'années il n'est plus possible de considérer le climat comme constant. 2010, par exemple, est l'année la plus froide observée depuis 1984 ; dans les années 60 ou 70, la même année aurait été proche d'une année moyenne.*

Nous avons retenu la période 2000-2012 pour nos analyses du climat actuel, ce qui correspond également à une période de disponibilité des données satellite MODIS (données fournies depuis 2000). Pour comparer le niveau d'exposition moyen aux aléas climatiques des alpages et des systèmes alpage-exploitations et comparer aussi le niveau de la variabilité interannuelle de cette exposition, nous nous intéressons aux valeurs moyennes des indicateurs agrométéorologiques sur la période 2000-2012 et à la variabilité interannuelle de ces indicateurs sur la même période, en analysant d'une part l'écart-type de ces indicateurs sur la période 2000-2012, qui représente bien un niveau moyen de variabilité de l'indicateur, et l'amplitude (valeur maximum - valeur minimum que prend l'indicateur sur la période 2000-2012) qui illustre les extrêmes climatiques auxquels le système est exposé.

Pour les alpages comme pour les exploitations, nous avons cherché à adopter une approche comparative et à les classer les uns par rapport aux autres selon leur exposition aux aléas climatiques. Nous avons pour cela réalisé plusieurs analyses en composantes principales (ACP), en prenant comme variables les valeurs moyennes, l'écart-type et l'amplitude des indicateurs retenus. Ces ACP ont été complétées par des classifications ascendantes hiérarchiques sur composantes principales (CAH). Cela nous a permis d'identifier les variables les plus discriminantes et d'interpréter les classes d'alpages et d'exploitations issues de la CAH en types d'exposition aux aléas climatiques

Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

en fonction de leurs combinaisons de paramètres agrométéorologiques. Ces analyses ont été effectuées dans R avec le package FactomineR, développé par Agrocampus Ouest (Lê et al. 2008).

### **5.2.6 Analyser l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations**

Pour caractériser l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations, nous croisons les différents types d'exposition aux aléas climatique sur les alpages et sur les exploitations. (sections 5.3.3et 5.3.4 ). Pour dépasser le simple croisement des deux typologies à l'échelle du système alpage-exploitations, nous discutons ensuite de la façon dont l'exposition sur les exploitations et sur les alpages est susceptible d'interagir : effets de compensations, d'amplifications des aléas. Nous nous appuyons sur quelques cas concrets pour étayer notre raisonnement (section 0).

### **5.2.7 Analyse critique de la carte causale au regard des données climatiques en alpage, et sélection d'un nombre limité d'indicateurs**

Mais avant de caractériser le climat sur les alpages de notre échantillon, nous avons mis les données climatiques en regard d'indicateurs de productivité et de phénologie calculés par télédétection, pour tester les hypothèses posées dans la carte causale. Cela a permis de conforter ou d'infirmer certaines hypothèses (section 5.3.2),. Cela nous a surtout été utile pour sélectionner parmi une liste importante d'indicateurs agrométéorologiques ceux qui étaient les plus pertinents pour la caractérisation du climat des alpages. Ce travail a été réalisé uniquement sur les alpages ; en effet nous pouvons considérer qu'à l'altitude des exploitations agricoles, les relations entre le climat et le développement des plantes sont déjà bien connues (Brisson et al. 1998, Ruget et al. 1999, 2006) ; la carte causale construite s'inspire d'ailleurs de ces travaux. A l'étage des alpages, les travaux de Jonas et al. (2008) et de Choler (2015) que nous avons déjà mobilisés dans la construction de la carte causale, ont certes également été conduits sur des paramètres climatiques, mais pas avec notre démarche visant l'analyse d'indicateurs agrométéorologiques construits spécifiquement pour la gestion pastorale.

Nous ne proposons ici qu'une ébauche d'analyses qui pourraient être beaucoup plus approfondies, et servir à affiner la carte causale au cours d'une phase supplémentaire de modélisation participative.

### **5.2.8 Limites méthodologiques**

La méthodologie développée présente certaines limites que nous listons ici.

#### **5.2.8.1 Limites liées à l'utilisation du modèle SAFRAN**

Comme tout modèle, la modélisation SAFRAN n'est qu'une représentation simplifiée de la réalité, ce qui ne peut permettre de prendre parfaitement en compte la variabilité locale du climat (Bigot et Rome 2010). En effet SAFRAN-Crocus définit des zones couvrant plusieurs centaines de km<sup>2</sup> où le climat est considéré comme homogène ; les différences climatiques ne pourront donc pas s'exprimer à l'intérieur d'une zone. Par ailleurs, comme nous l'avons dit, le modèle ne peut pas prendre en compte les effets locaux du climat liés à la forme du relief (qui joue sur le vent et sur la nébulosité et l'ombre portée des montagnes), à la présence d'arbres. Cela pourra biaiser les résultats dans quelques situations, comme les crêtes ventées, ou comme une « combe à froid » rencontrée sur un alpage (dépression de quelques hectares à l'intérieur de laquelle les masses d'air froid se trouvent bloquées). La mobilisation de données de télédétection vise à atténuer cette limite. L'effet

d'ombrage des arbres, qui peut jouer fortement sur les alpages boisés (atténuation de la chaleur, ombrage...), est pris en compte dans notre modèle au travers de la typologie de végétation : (type de végétation « forestier pâturé »). Autrement dit on considère que les arbres sont un élément interne au système et pas un élément externe qui joue sur le climat ; on considère donc que l'effet de la présence d'arbres a trait à la sensibilité, pas à l'exposition.

#### **5.2.8.2 Limites liées à l'utilisation des données de télédétection satellitaires**

Les données de télédétection satellitaires présentent elles aussi des limites. La principale, pour l'usage qui nous intéresse, est le manque de capacités actuelles pour distinguer parmi les signaux émis par la végétation ce qui provient de la strate herbacée et ce qui provient de la strate ligneuse (en alpage, les ligneux sont parfois fortement présents, mais ils ne représentent généralement pas une ressource pastorale importante).

Si le signal NDVI est corrélé à la productivité de la végétation, ce signal arrive toutefois à saturation pour des niveaux de productivité élevés, ce qui peut biaiser les estimations de production ; cela peut alors limiter notre capacité à affiner la carte causale. Pour la caractérisation du climat nous n'avons pas besoin d'utiliser d'indicateur de productivité et cela ne constitue pas une limite.

#### **5.2.8.3 Limites dans le calcul des indicateurs agrométéorologiques**

Le MNT utilisé à une maille de 500 m peut paraître un peu grossier pour « capturer » la diversité de relief d'un alpage, surtout pour le cas de petits alpages ou des alpages avec du microrelief. Cette maille résulte d'un compromis entre qualité de la donnée et temps de calcul nécessaire. Pour pallier cette limite, dans quelques situations d'alpages mal représentés, nous avons ajouté quelques points situés à proximité de l'alpage et présentant les conditions topographiques qui manquaient dans les pixels à l'intérieur du périmètre de l'alpage.

Les indicateurs agrométéorologiques calculés correspondent souvent à des dates (date de déneigement par exemple). Ces dates ne sont pas à considérer comme des valeurs absolues (le déneigement n'a pas forcément lieu précisément à la date indiquée), mais comme des valeurs relatives permettant de comparer différents points et différentes années (c'est le décalage de la date de déneigement entre différents points ou entre différentes années qui nous intéresse). Pour le calcul des indicateurs agrométéorologiques, nous avons aussi dû composer avec des contraintes de disponibilité de données météorologiques ou d'une autre nature (profondeur de sol par exemple). Ces contraintes et la façon dont nous les avons contournées sont précisées dans la partie 5.3.1.1 pour chaque indicateur.

## **5.3 Résultats**

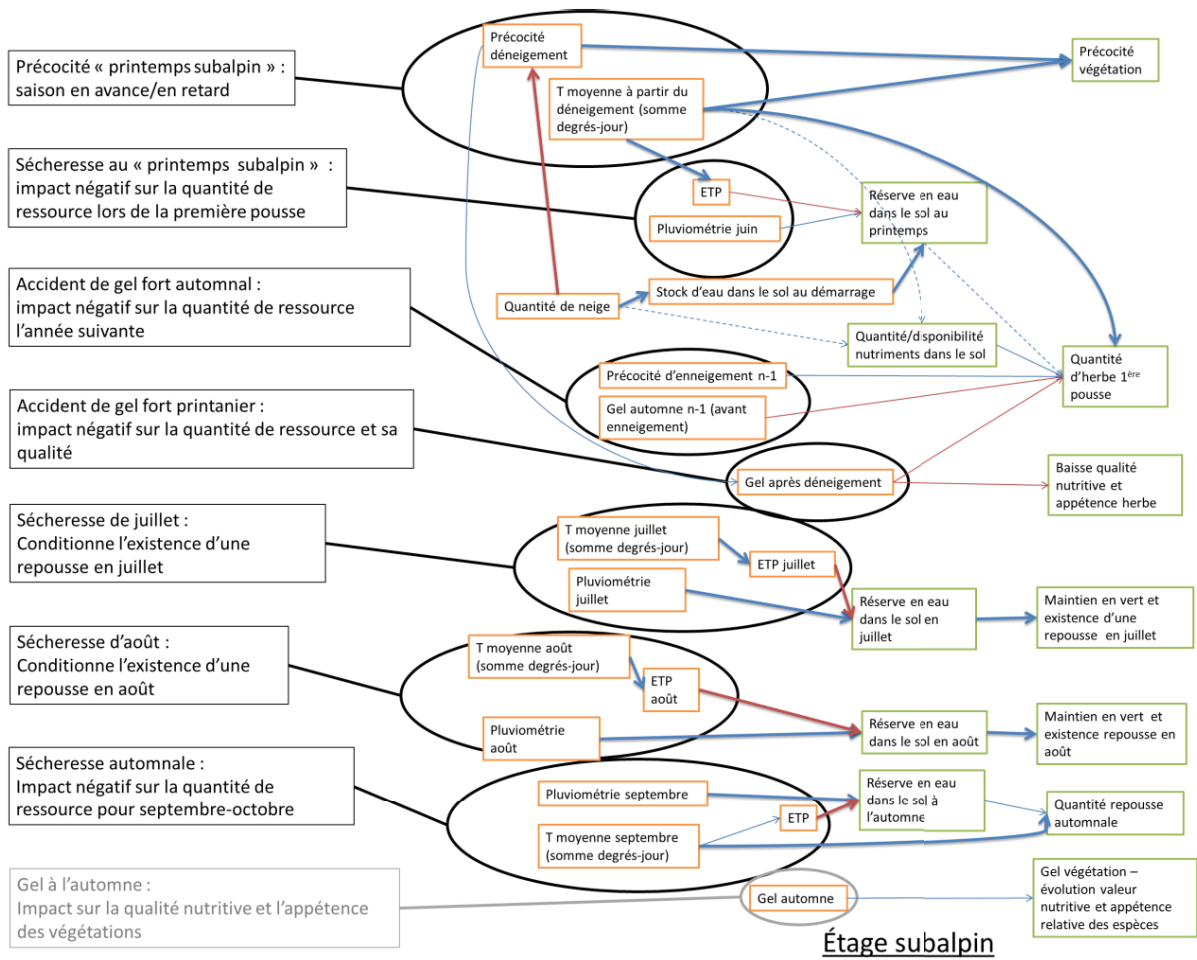
### **5.3.1 Caractérisation du climat sur les alpages**

#### **5.3.1.1 Construction d'indicateurs agrométéorologiques adaptés à la dynamique des ressources pastorales en alpage**

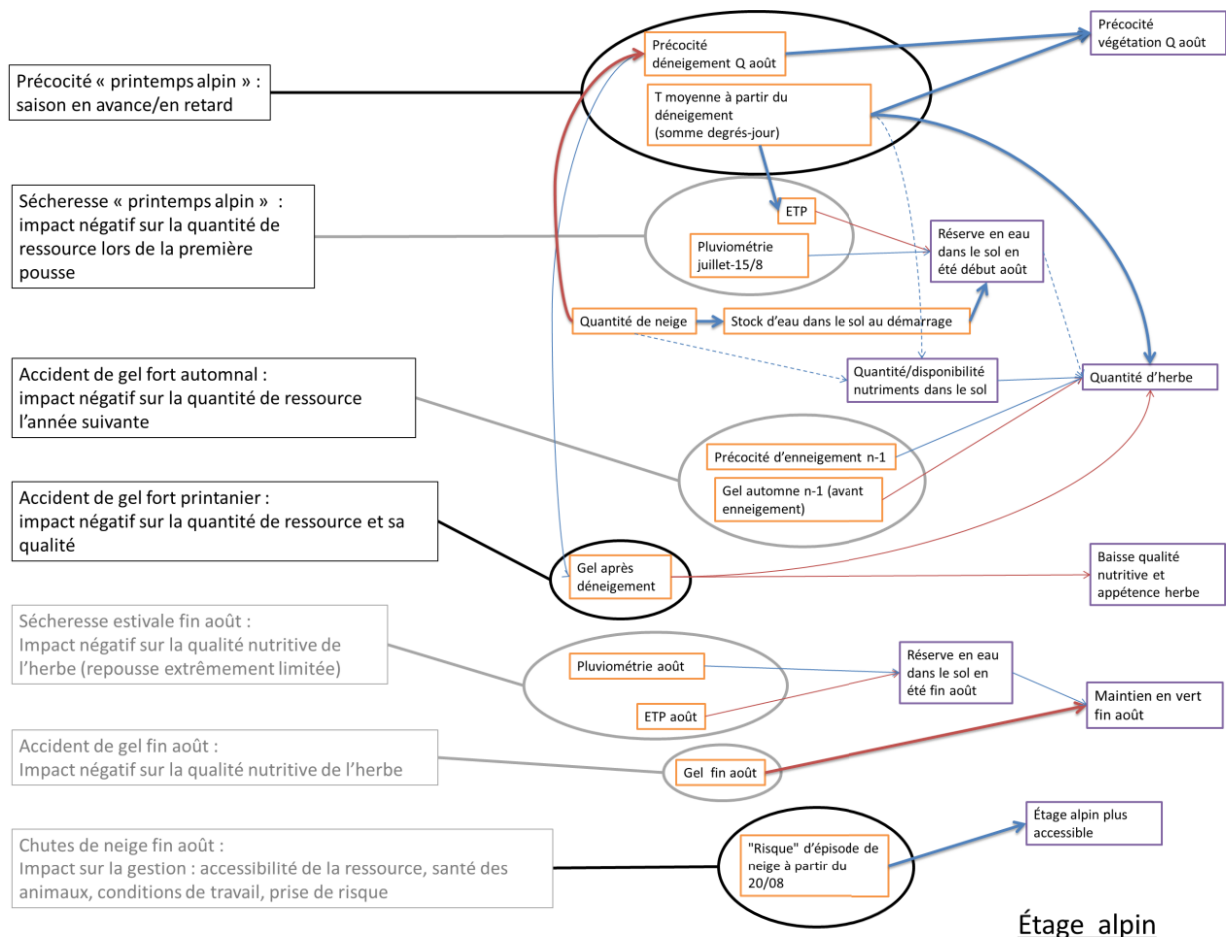
La carte causale construite avec des experts (Figure 38 page 115) nous a permis au cours du processus de modélisation participative de définir des indicateurs agrométéorologiques sur les alpages (Figure 52) et sur les exploitations (Figure 74, que nous évoquerons ultérieurement).



## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations



## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations



### Légende

Paramètre météorologique

Paramètre du milieu à l'étage subalpin

Paramètre du milieu à l'étage alpin

—→ Effet positif d'un paramètre sur l'autre

—→ Effet négatif d'un paramètre sur l'autre

—→ Effet particulièrement important

-----→ Effet d'importance négligeable

Aléa majeur, retenu pour l'analyse

Aléa secondaire, non retenu

Figure 52 : Carte causale décrivant les effets de la météorologie sur la dynamique annuelle des ressources sur les alpages, et indicateurs agrométéorologiques associés

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Parmi ces indicateurs, nous avons choisi de ne retenir ceux qui ont paru le plus important pour les experts.

Les aléas (et donc les indicateurs associés à définir) sont de quatre types :

- aléas impactant la phénologie des végétations (ex : date de déneigement, somme des températures)
- aléas impactant la productivité des végétations (ex : somme des températures, bilan hydrique, gel en début de saison)
- aléas impactant la qualité des végétations (ex : gel en début de saison, accident de gel en fin de saison)
- aléas n'impactant pas directement la végétation mais impactant la gestion (ex : épisodes de mauvais temps fin août) ; ce type d'indicateur n'a pas été retenu parmi les indicateurs les plus importants

Les indicateurs à définir peuvent donc (i) correspondre à des dates de survenue d'un événement (ex : date de déneigement, date où la végétation arrive à un stade donné...), (ii) mesurer l'intensité d'un événement (intensité du gel au printemps...), ou (iii) repérer l'existence d'un événement (gel, sécheresse...). Pour certains aléas météorologiques, il n'est pas évident a priori de savoir quelle catégorie d'indicateurs il faut définir. Par exemple faut-il caractériser la sécheresse par une intensité ou par la survenue d'un événement (le passage au-delà d'un seuil) ? Faut-il identifier l'existence d'un épisode de gel à l'automne ou identifier la date à laquelle la première gelée intervient ? La détermination du type d'indicateurs à construire doit s'efforcer de correspondre au plus près à la réalité du phénomène. Ainsi au printemps, c'est le cumul d'épisodes de gel qui va être dommageable pour la végétation ; on cherche donc plutôt à mesurer l'intensité du phénomène ; à l'automne, c'est l'existence ou non d'un épisode de gel qui sera importante, parce que le gel fait évoluer l'appétence de la végétation (ce type d'aléa n'a pas été retenu dans l'analyse). Mais la construction des indicateurs doit aussi tenir compte du type de données disponibles. Au final les indicateurs résultent donc d'un compromis entre ce qu'il faut représenter et ce que l'on peut représenter.

Le Tableau 7 précise l'ensemble des indicateurs définis et le mode de calcul de ces indicateurs. Conformément à la carte causale construite, certains indicateurs seront spécifiques aux quartiers bas ou aux quartiers hauts, quand d'autres pourront s'appliquer sur les deux types de quartiers.

La date de déneigement est un paramètre clé qui va influencer plusieurs autres indicateurs agrométéorologiques. Comme indiqué ci-dessus, nous mobilisons des données de télédétection, qui seront plus précises pour ce paramètre, et considérons qu'un pixel est déneigé lorsque le signal renvoyé par la végétation est plus « fort » que celui renvoyé par la neige (c'est-à-dire quand le ratio NDVI/NDSI devient supérieur à 1).

La vitesse de développement de la végétation va dépendre de l'accumulation des degrés-jours à partir de la date de déneigement. L'enjeu est d'arriver à définir un indicateur permettant d'identifier la date à partir de laquelle l'herbe peut être pâturée sur l'alpage. Les travaux de Cruz et al. (2010) fournissent des valeurs de somme de degrés-jours correspondant à l'atteinte des différents stades des principales graminées prairiales, au travers d'une typologie fonctionnelle classant les principales espèces de graminées prairiales. Sur les alpages, ce sont généralement les espèces de type C qui vont constituer la majeure partie de la ressource (ex : fétuque rouge) (Jouglet 1999, Bornard et al. 2006). Le stade épi 10 cm est atteint autour de 900 degrés-jours pour le type C (stade qui peut être

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

considéré comme un stade où il est possible de pâturer en alpage, même si souvent c'est plutôt l'épiaison-floraison des graminées fourragères qui est visée aux dires des éleveurs et bergers, surtout pour les troupeaux allaitants). Néanmoins ces données sont issues de références acquises à des altitudes inférieures à celles des alpages et nous pouvons penser que les plantes d'alpages ont des développements plus rapides pour parvenir à effectuer leur cycle durant les quelques mois dont elles disposent ; par ailleurs l'indicateur de date de déneigement ne correspond pas forcément exactement au jour où démarre la végétation (cf. mode de calcul et temps de latence de la végétation observé par Jonas et al. (2008)). Le seuil des 900 degrés-jours est donc plutôt à considérer comme une indication d'ordre de grandeur à retenir, et nous testerons 300, 600 et 900 degrés-jours (un calcul approximatif nous permet de savoir qu'avec cette plage on couvre la période de temps intéressante, avec un pas de temps de l'ordre de deux ou trois décades entre chaque somme de température). Nous pourrions ainsi vérifier si la somme de températures retenue change les précocités des alpages les uns par rapport aux autres, essayer d'estimer quelle est la somme de températures la plus appropriée par rapport aux pratiques réelles sur les alpages, et vérifier que les parties d'alpage déneigeant les plus tardivement atteignent bien ces seuils.

Pour le gel de printemps et celui de fin de saison (qui pourrait influencer sur la saison suivante), nous comptons le nombre d'épisodes où la température minimale est inférieure à  $-5^{\circ}\text{C}$  à partir du moment où la protection de la neige a disparu au printemps, et jusqu'au retour de la neige à l'automne. L'intensité du froid doit également compter mais les experts écologues interrogés estiment que le nombre d'épisodes est le facteur le plus important.

Pour caractériser la sécheresse, l'idéal aurait été de pouvoir établir un bilan hydrique quotidien itératif, qui aurait permis d'identifier une date où la végétation manque d'eau. Mais calculer cet indicateur nécessite de disposer de la valeur de réserve utile du sol. Or la réserve utile est extrêmement variable au sein d'un alpage, et elle est surtout susceptible d'être extrêmement variable entre des alpages de régions différentes. Poser une hypothèse de réserve utile théorique valable pour tous les alpages pourrait conduire à des contresens. En outre, considérer la réserve utile des sols des alpages dans une analyse de l'exposition aux aléas climatiques reviendrait à intégrer des éléments internes au système étudié dans cette analyse, et donc à mobiliser des éléments qui caractériseront plutôt la sensibilité du système. C'est pourquoi nous avons préféré calculer des bilans hydriques simplifiés sur des pas de temps longs (un mois, ou plusieurs centaines de degrés-jours), qui donnent une indication globale sur une période de la disponibilité en eau pour les plantes.

Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Nom de l'indicateur	Code de la variable	Mode de calcul de l'indicateur	Commentaires	Unité
Date de déneigement <i>Indicateur intermédiaire permettant d'en calculer d'autres.</i>	tsnowmelt	mesure par télédétection : jour où le ratio NDVI/NDSI devient >1	Jour de l'année où le signal de la végétation devient plus fort que le signal de la neige à l'échelle du pixel.	Jour Julien <sup>19</sup>
Précocité de la végétation	tgdd300 tgdd600 tgdd900	date déneigement + 300, 600, 900 degrés-jour	On recherche le jour de l'année où l'accumulation de chaleur permet une pousse de l'herbe suffisante pour le pâturage.	Jour Julien
Accident de gel printanier	frost300 frost600 frost900	nombre de jours où Tmin < -5°C à partir de la date déneigement jusqu'à la date où sont atteints les 300, 600, 900 degrés-jours (de tsnowmelt à TGDD300, 600, 900)		jours
Date de ré-enneigement (automne précédent) <i>Indicateur intermédiaire permettant d'en calculer d'autres.</i>	tsnowfall	mesure par télédétection : jour où le ratio NDVI/NDSI devient < 1	Jour de l'année où le signal de la végétation devient moins fort que le signal de la neige à l'échelle du pixel.	Jour Julien
Accident de gel automnal (automne précédent)	frostfall	nombre de jours où Tmin < -5°C à partir du 1er septembre <sup>20</sup> jusqu'à la date d'enneigement (du 1er/09 à tsnowmelt)		jours

<sup>19</sup> Jour Julien : le jour Julien est ici défini comme le numéro du jour de l'année. Le 1<sup>er</sup> janvier est ainsi le jour 1, le 1<sup>er</sup> février le jour 32, le 31 décembre le jour 366 ou 365 selon que l'année est bissextile ou non.

A ne pas confondre avec une autre définition du jour julien, qui est un système de datation consistant à compter le nombre de jours et fractions de jour écoulés depuis une date conventionnelle fixée au 1<sup>er</sup> janvier 4712 av. J.C. à 12 heures. Le terme de jour julien est également employé par le CNES et la NASA pour dater divers événements. Le nombre de jours écoulés est décompté depuis le 1er janvier 1950 à 0 h pour le CNES et depuis le 24 mai 1968 à 0 h pour la NASA.

<sup>20</sup> Le choix de la date est secondaire pour cet indicateur. Il faut juste une date où l'on est sûr que l'alpage n'est pas ré-enneigé, et où un maximum de l'alpage doit être déneigé. La date du premier septembre a été choisie car elle correspond souvent à une date butoir sur les alpages pour le départ des troupeaux du quartier d'août.

Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Intensité de la sécheresse printanière	sech300 sech600 sech900	Bilan hydrique (P - ETP) à partir de la date déneigement jusqu'à la date où sont atteints les 300, 600, 900 degrés-jours (de t <sub>snowmelt</sub> à TGDD300, 600, 900)	Indicateur permettant d'évaluer l'exposition de la première pousse de l'herbe à la sécheresse.	mm d'eau
Intensité de la sécheresse en juillet	sechjul	<b>Uniquement pour les quartiers bas</b> Bilan hydrique (P-ETP) du 1er/07 au 31/07	Indicateur permettant d'évaluer l'exposition de l'herbe en juillet à la sécheresse.	mm d'eau
Intensité de la sécheresse en août	sechaug	<b>Uniquement pour les quartiers bas des alpages sans quartiers d'août</b> Bilan hydrique (P-ETP) du 1er/08 au 31/08	Pour les alpages ne disposant pas de quartier d'août, exposition des quartiers bas à la sécheresse en août ; permet d'évaluer la disponibilité d'une ressource en août sur les quartiers bas. Sur les alpages avec des quartiers hauts, les quartiers bas ne sont pas mobilisés en août ; et sur les quartiers hauts, la sécheresse en août est mesurée au travers de l'indicateur de sécheresse printanière sur les quartiers hauts (il s'agit d'une première pousse et pas d'une repousse d'herbe).	mm d'eau
Intensité de la sécheresse automnale (en septembre)	sechsep	<b>Uniquement pour les quartiers bas</b> Bilan hydrique (P - ETP) du 1 <sup>er</sup> /09 au 30/09	Exposition de la repousse de septembre sur les quartiers bas à la sécheresse.	mm d'eau

Tableau 7 : indicateurs agrométéorologiques retenus pour l'analyse du climat des alpages

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Parmi tous les aléas identifiés sur la carte causale, il convient de mentionner quelques aléas dont les conséquences sont limitées pour la gestion des alpages et qui n'ont donc pas été retenus dans l'analyse.

- Il s'agit d'abord de l'existence d'un épisode de gel automnal (fin août à l'étage alpin et en septembre ou octobre au subalpin), qui fait évoluer la qualité des végétations, et de ce fait l'appétence relative des différentes espèces, leurs valeurs nutritives. Ce type d'aléa, très fréquent (presque systématique), n'impacte pas la repousse de l'année suivante contrairement à un épisode de gel plus fort. Comparativement à d'autres aléas, celui-ci jouera à la marge sur la conduite pastorale : il n'empêchera pas de constituer une ration quotidienne satisfaisante, mais provoquera le report de consommation de certaines espèces vers d'autres et pourra jouer sur le comportement du troupeau et les circuits de pâturage quotidiens.
- Ensuite le risque d'épisode de neige fin août à l'étage alpin n'a pas été conservé, car il joue lui aussi sur la conduite et non sur la ressource.
- A l'étage alpin, la « sécheresse estivale fin août » a été définie par analogie avec l'étage subalpin. Mais cette sécheresse aura vraisemblablement un impact très faible sur l'herbe, plus qualitatif que quantitatif : si le pic de végétation est atteint, l'herbe sur pied, souple d'exploitation, pourra être consommée. Si l'herbe est encore en pleine croissance, le bilan hydrique calculé pour la pousse de l'herbe (« sécheresse printemps alpin ») prendra en compte la période de fin août et l'indicateur de « sécheresse estivale fin août » est redondant avec l'indicateur de « sécheresse printemps alpin ».

Pour évaluer les effets réels sur les végétations des paramètres climatiques estimés au travers des indicateurs agrométéorologiques que nous avons définis, nous les mettons en regard de différents indicateurs (Tableau 8) calculés à partir du signal NDVI mesuré par télédétection satellitaire :

- valeur maximale du signal NDVI : indicateur de la quantité de biomasse accumulée au pic de végétation,
- date où ce maximum est atteint : date du pic de biomasse,
- valeur intégrée du signal NDVI sur la saison : indicateur de la productivité globale sur la saison végétative

Nous n'utilisons pas ces indicateurs de réponse de la végétation pour caractériser l'exposition des alpages aux aléas climatiques compte tenu d'une part des limites liées à cette mesure déjà évoquées (saturation du signal et non distinction entre les strates herbacées et ligneuse), et d'autre part compte tenu du fait que là encore nous serions dans une analyse de la sensibilité des végétations aux aléas et non plus strictement dans une analyse de l'exposition aux aléas. Néanmoins nous pouvons mettre en regard les données NDVI avec les indicateurs agrométéorologiques pour étudier si certaines corrélations attendues au travers du modèle conceptuel se confirment.

Nom de l'indicateur	Code de la variable	Mode de calcul de l'indicateur	Commentaires	Unité
Productivité de la première pousse de l'herbe	ndvimax	valeur maximale du NDVI	Indicateur de la biomasse accumulée au pic de végétation ; indicateur à comparer avec la productivité estimée par l'accumulation des degrés-jours.	NA (ratio)
Date du pic de végétation	tndvimax	date du pic de végétation	Date où la valeur de NDVI atteint un maximum ; le pic de NDVI correspond à l'atteinte du pic de végétation de la première pousse.	Jour Julien
Productivité sur la saison	ndviint	valeur intégrée du NDVI sur la période sans neige	Indicateur de la productivité primaire	NA

Tableau 8 : indicateurs de développement de la végétation calculés à partir du signal NDVI satellitaire

### 5.3.1.2 Aperçu de la diversité des climats sur les alpages

Une première analyse descriptive des données permet de donner un aperçu de la diversité des conditions climatiques subies par les alpages en faisant ressortir la diversité des expositions aux risques climatiques entre alpages et la diversité des expositions au sein des alpages.

Ainsi, par exemple, la date de déneigement des alpages, qui rend possible le démarrage de la végétation et va fortement conditionner une bonne partie de la saison d'alpage, est extrêmement variable entre les alpages, que ce soit en valeur moyenne (Figure 53), ou en termes de variabilité interannuelle (Figure 54). En moyenne sur la période 2000-2012 (Figure 53), le déneigement démarre dès janvier ou février (jour < 60 = janvier ou février) sur les premières parties déneigées des alpages les plus précoces, et peut démarrer fin mai pour les alpages les plus tardifs (jour 140 = 20 mai). Le déneigement des alpages peut être extrêmement rapide (une dizaine de jours), ou s'étaler sur plus de 3 mois, révélant des différences entre alpages dans l'étagement altitudinal et la diversité d'orientation des pentes. Sur le plan de la variabilité interannuelle (Figure 54), la date de déneigement ne varie que de quelques jours d'une année à l'autre sur les quartiers de certains alpages ; elle peut au contraire varier de plusieurs mois pour d'autres quartiers.



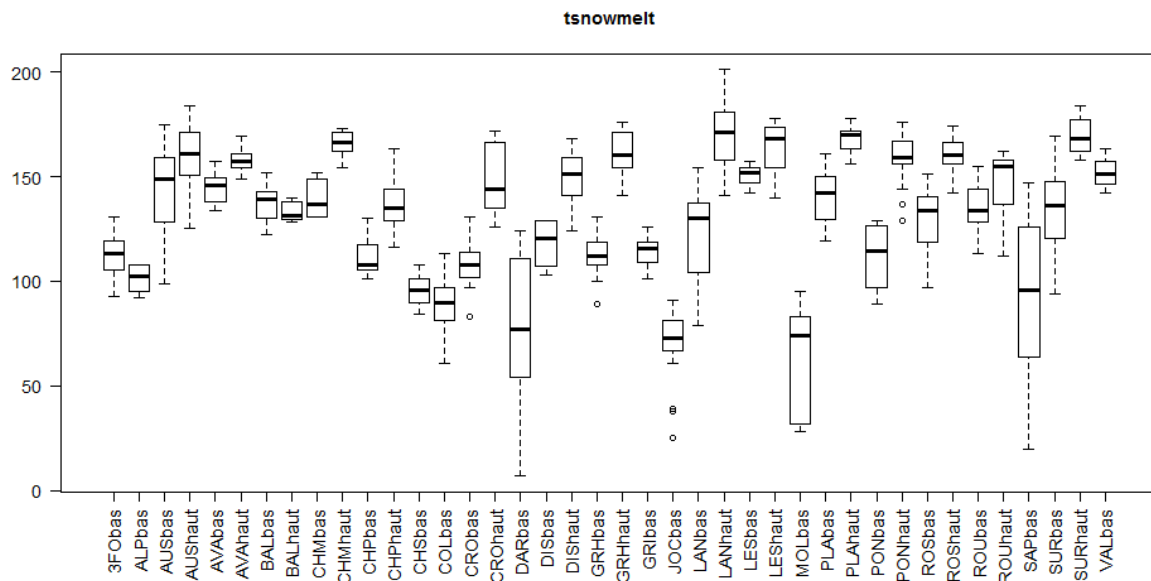


Figure 53 : Etalement de la date de déneigement, en jour julien, sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles, en moyenne de 2000 à 2012 – Données MODIS, traitement Irstea-LECA.

Sur les graphiques en « boîte à moustache », le milieu de la boîte indique la valeur médiane. Les extrémités de la boîte indiquent le premier (Q1) et le troisième quartile (Q3), et les « moustaches » en pointillé englobent le reste des valeurs, en excluant les valeurs extrêmes, c'est-à-dire inférieures à  $Q1 - 1,5 \times (Q3 - Q1)$  et supérieures à  $Q3 + 1,5 \times (Q3 - Q1)$ .

Chaque individu constitutif de la boîte à moustaches correspond à la moyenne de la date de déneigement sur un pixel, de 2000 à 2012. Chaque individu est donc un pixel, auquel est attribué la moyenne de la date de déneigement de ce pixel de 2000 à 2012.

Si l'on prend l'exemple des alpages DAR et JOC, deux alpages n'ayant pas de quartiers hauts, donc représentés par une seule boîte à moustache, on constate deux dynamiques de déneigement très différentes. En moyenne, le pixel le plus précoce de l'alpage DAR déneige dès 7<sup>ème</sup> jour de l'année. Le 54<sup>ème</sup> jour, un quart de l'alpage est déneigé, le 77<sup>ème</sup> jour la moitié de l'alpage est déneigé, le 111<sup>ème</sup> jour les 3 quarts de l'alpage sont déneigés, et au 124<sup>ème</sup> jour l'ensemble de l'alpage est déneigé. Sur l'alpage JOC, exceptés 3 pixels qui déneigent très tôt, en moyenne le pixel le plus précoce déneige le 61<sup>ème</sup> jour ; le 67<sup>ème</sup> jour un quart de l'alpage est déneigé, le 73<sup>ème</sup> jour la moitié, le 81<sup>ème</sup> les trois quarts et le 91<sup>ème</sup> tout l'alpage est déneigé.

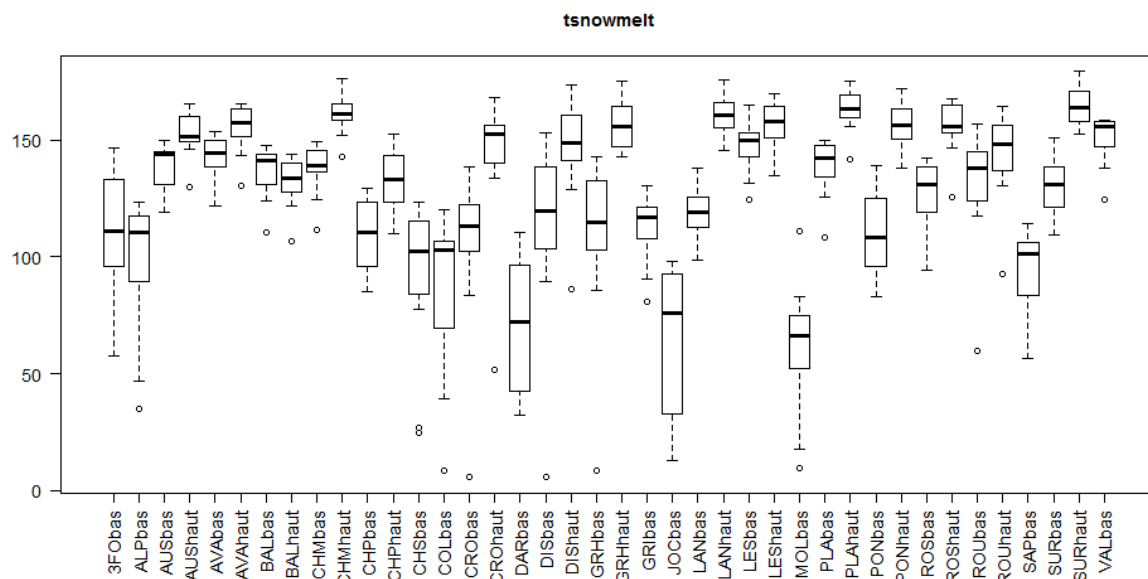


Figure 54 : Variabilité interannuelle, entre 2000 et 2012, de la date de déneigement sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles, en jours julien (moyenne des différents pixels de chaque groupe de quartier, chaque année) – Données MODIS, traitement Irstea-LECA

Chaque individu constitutif de la boîte à moustache correspond à la moyenne de la date de déneigement du groupe de quartier (bas ou haut), une année donnée. Chaque individu est donc une année, à laquelle est attribuée la moyenne de la date de déneigement des différents pixels d'un groupe de quartiers.

En termes de variabilité interannuelle de la date de déneigement, DAR et JOC ont des profils assez proches. Sur l'alpage DAR, la date où en moyenne l'alpage est déneigé (moyenne de la date de déneigement de chaque pixel) varie du jour 32 au jour 110, avec une valeur médiane à 72. Sur l'alpage JOC le déneigement varie du jour 12 au jour 98 avec une médiane à 76. Le déneigement estimé ainsi peut donc varier d'environ 80 jours d'une année sur l'autre sur ces deux alpages.

Ces différences dans la dynamique de déneigement des alpages auront des conséquences importantes sur les autres paramètres climatiques. Par exemple, l'exposition au gel au printemps, dont on suppose qu'elle est favorisée par un déneigement précoce, sera elle aussi très différente d'un alpage à l'autre (Figure 55) : si la majorité des alpages ne connaissent pratiquement jamais d'épisodes de gelée printanière ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) après le déneigement (les barres ne sont pas à zéro car il s'agit d'une moyenne sur l'ensemble de l'alpage et qu'il y a pratiquement toujours des parties d'alpage en pente exposées au sud qui sont déneigées très tôt (faciès thermique) le gel est en revanche un phénomène courant sur quelques alpages, avec fréquemment pour certains alpages plus de 10 jours de gel après déneigement. Cela concerne uniquement les quartiers bas.

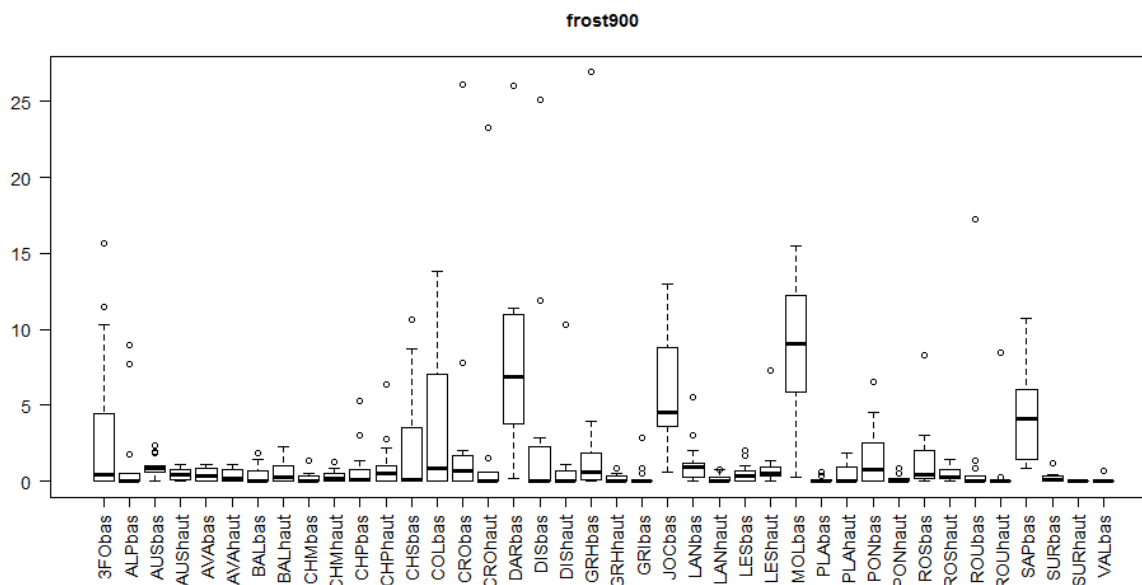


Figure 55 : Variabilité interannuelle entre 2000 et 2012, du nombre de jours de gel ( $T_{min} < -5^{\circ}\text{C}$ ) au printemps après le déneigement, sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles (moyenne des différents pixels de chaque groupe de quartiers, chaque année) – Données SAFRAN et MODIS, traitement Irstea-LECA

Chaque individu constitutif de la boîte à moustache correspond à la moyenne du nombre de jours de gel subis sur les pixels du groupe de quartier (bas ou haut), une année donnée. Chaque individu est donc une année, à laquelle est attribuée la moyenne du nombre de jours de gel des différents pixels d'un groupe de quartiers.

L'alpage DAR connaît, selon les années, entre 0 et une douzaine de jours de gel après déneigement au printemps. Sur la période 2000-2012, il a été marqué par une année extrême avec 26 jours de gel. L'alpage JOC a un profil similaire, mais n'a pas connu cet épisode extrême.

En termes de bilan hydrique, on aura également des différences importantes selon les alpages, principalement en termes de variabilité interannuelle et beaucoup moins en termes de valeur moyenne (Figure 56, avec l'exemple du mois de juillet). Au sein d'un alpage (ou d'un groupe de quartiers pour un alpage donné) la variabilité spatiale sera en revanche faible pour cet indicateur : il y a peu de variations dans le niveau de précipitations et d'évapotranspiration potentielle au sein d'un alpage une fois que celui-ci est déneigé (Figure 57, avec l'exemple du mois d'août).

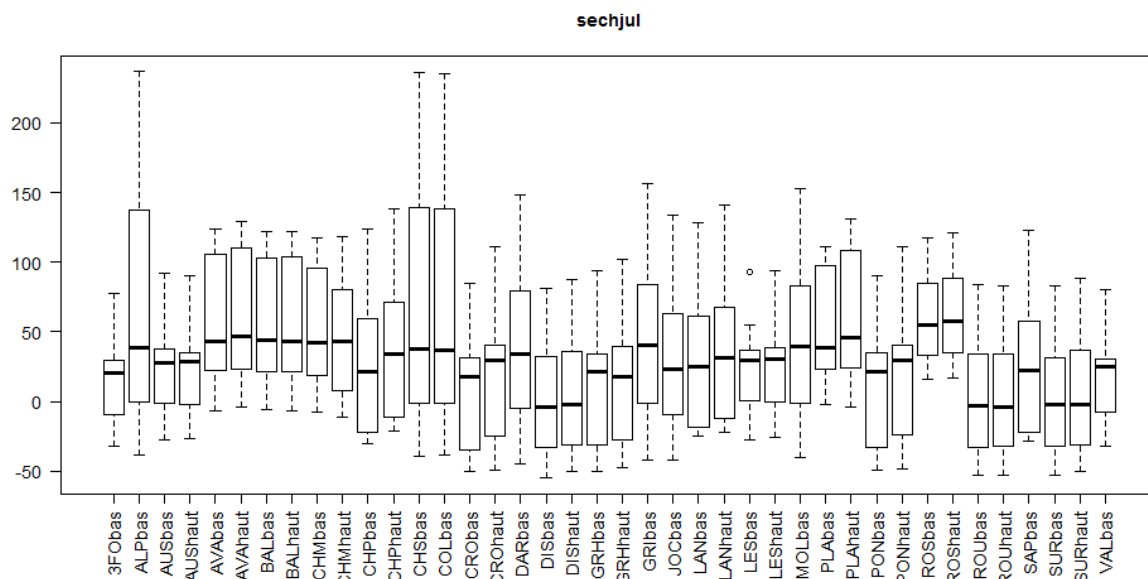


Figure 56 : Variabilité interannuelle entre 2000 et 2012, du bilan hydrique (P - ETP) du mois de juillet, en mm sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles (moyenne des différents pixels de chaque groupe de quartiers, chaque année) – Données SAFRAN, traitement Irstea-LECA

Chaque individu constitutif de la boîte à moustache correspond à la moyenne du bilan hydrique des pixels du groupe de quartier (bas ou haut), une année donnée. Chaque individu est donc une année, à laquelle est attribuée la moyenne du bilan hydrique des différents pixels d'un groupe de quartiers.

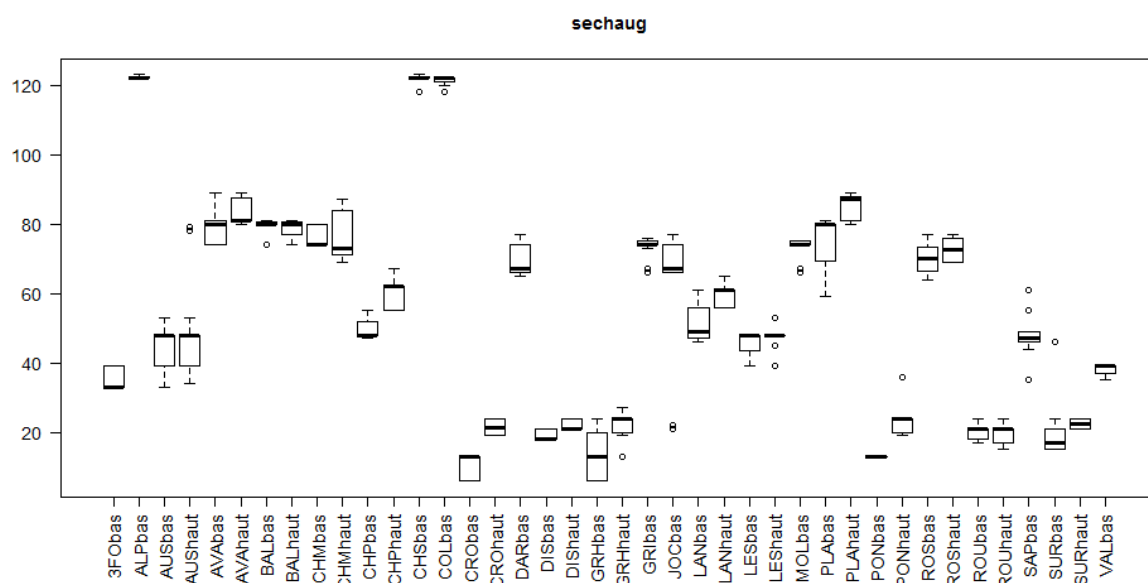


Figure 57 : Variabilité spatiale (d'un alpage à l'autre) du niveau du bilan hydrique(P-ETP) du mois d'août, en mm, sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles, en moyenne de 2000 à 2012 – Données SAFRAN, traitement Irstea-LECA

Chaque individu constitutif de la boîte à moustaches correspond à la moyenne de la date de déneigement sur un pixel, de 2000 à 2012. Chaque individu est donc un pixel, auquel est attribué la moyenne du bilan hydrique de 2000 à 2012.

Cette première analyse rapide de quelques-uns des indicateurs agrométéorologiques que nous avons construits nous montre la diversité des climats entre alpages, en termes de climat moyen, et de

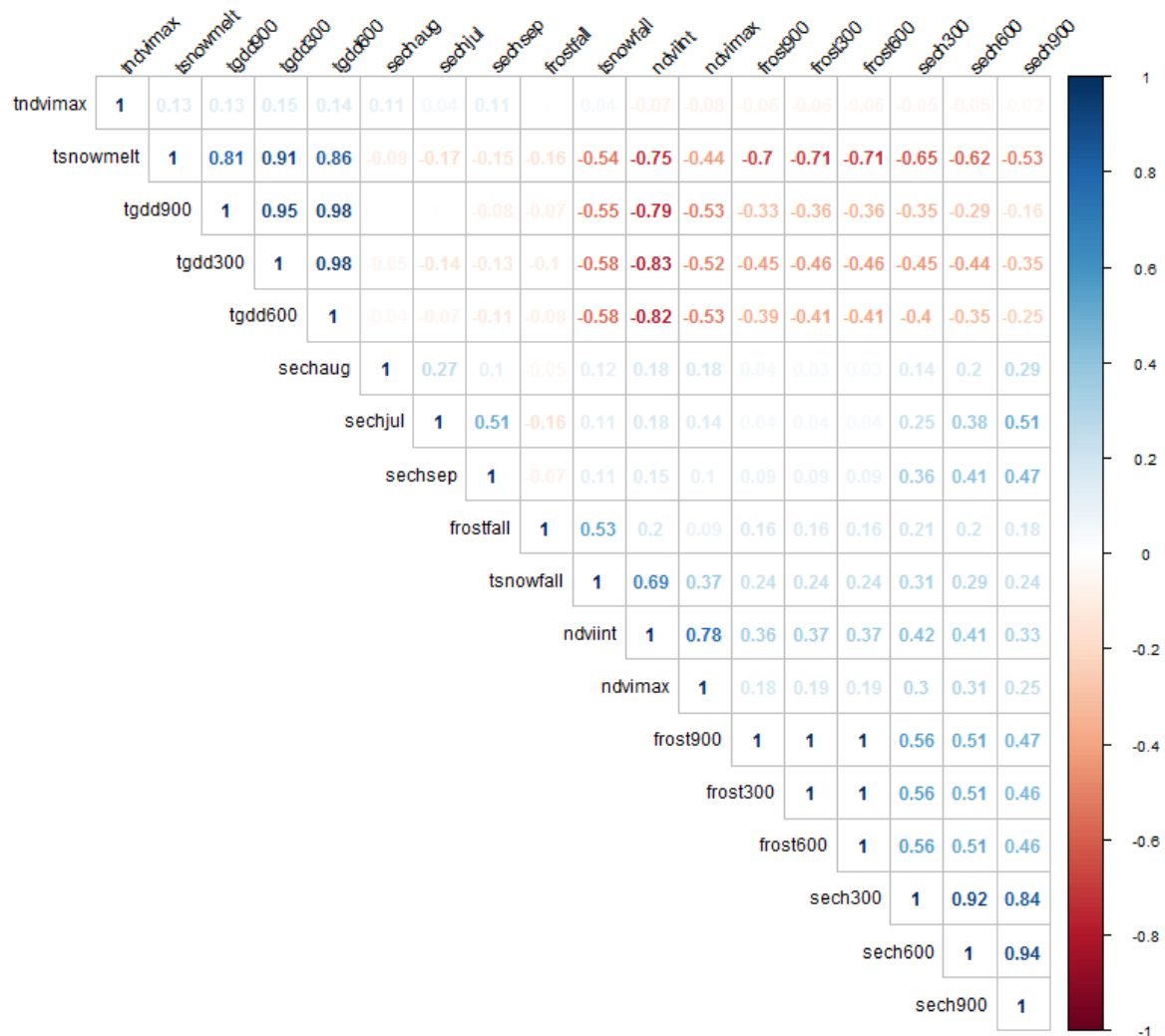
variabilité interannuelle, ainsi que de variabilité au sein d'un alpage. La complexité liée à la diversité des paramètres en jeu et aux interdépendances entre ces paramètres confirme l'intérêt des analyses que nous avons réalisées, pour mieux comprendre les relations entre les différents indicateurs agrométéorologiques et pour essayer de caractériser les climats des alpages et identifier des ressemblances et des dissemblances entre alpages.

### **5.3.2 Analyse critique de la carte causale au regard des données météorologiques**

Une analyse des corrélations entre les différents indicateurs peut nous permettre de vérifier, invalider ou affiner certaines des hypothèses posées lors de la construction de la carte causale. Cette analyse va aussi nous aide à choisir les indicateurs agrométéorologiques les plus pertinents pour l'analyse de l'exposition aux aléas climatiques. Nous nous appuyons sur des analyses statistiques simples sur les 8666 couples pixels-années (682 pixels et 13 années). Certains indicateurs n'ont pas pu être calculés sur tous les pixels tous les ans. Par exemple, certains pixels n'atteignent pas tous les ans les 900 degrés-jours. Dans les analyses nous précisons à chaque fois le nombre de couples pixel-année mobilisés.

En premier lieu, l'analyse s'appuie sur une matrice des corrélations entre les 18 variables définies (Figure 58), dans laquelle sont calculés et mis au carré les coefficients de corrélation linéaire entre les différentes variables 2 à 2 (méthode de Pearson). Pour la réalisation de cette analyse, 8174 individus (couples pixel-année) ont été retenus.

Cette première analyse est complétée par une série d'analyses plus ciblées sur quelques groupes d'indicateurs, permettant d'aller plus loin dans la compréhension des relations entre ces indicateurs (Figure 59 à Figure 69).



Les résultats indiqués dans la matrice des corrélations sont les coefficients de corrélation entre les variables deux à deux. Les couleurs indiquent le niveau de corrélation conformément à la légende à droite de la figure.

Figure 58 : Matrice des corrélations des 15 indicateurs agrométéorologiques et des 3 indicateurs NDVI calculés sur l'ensemble des couples « pixels-années » des alpages, de 2000 à 2012

Première hypothèse posée, partagée par tous les experts sollicités : la dynamique de déneigement des alpages est censée être un facteur fondamental pour expliquer la dynamique des végétations d'alpage : plus un alpage déneige tôt, plus la végétation peut démarrer tôt et sera précoce, et en revanche plus elle risque d'être exposée au gel.

Sans surprise, on constate effectivement de très fortes corrélations entre la date de déneigement repérée par télédétection satellitaire (tsnowmelt) et les différents indicateurs de dates de début de pâturage calculées avec les données SAFRAN (tgdd300, tgdd600, tgdd900, qui correspondent à des

sommes de degrés-jours après le déneigement ) : coefficients de corrélation compris entre 0,81 et 0,91 selon les indicateurs (Figure 58).

Concrètement cela signifie que les lieux (pixels) qui déneigent tardivement ne rattrapent pas les lieux qui déneigent tôt par une accumulation de degrés jours plus rapide. Si nous regardons dans le détail les données (Figure 59), nous constatons néanmoins que le rattrapage est partiel : la corrélation est bien meilleure pour les déneigements tardifs (droite de régression verte, ne prenant en compte que les déneigements survenus à partir du 100<sup>ème</sup> jour) que pour les déneigements précoces. Et si une végétation déneigeant tard ne rattrape pas, en termes d'accumulation de degrés-jour, une végétation déneigeant tôt, la droite de régression verte nous apprend toutefois que plus le déneigement est tardif, plus les degrés-jours s'accumulent vite.

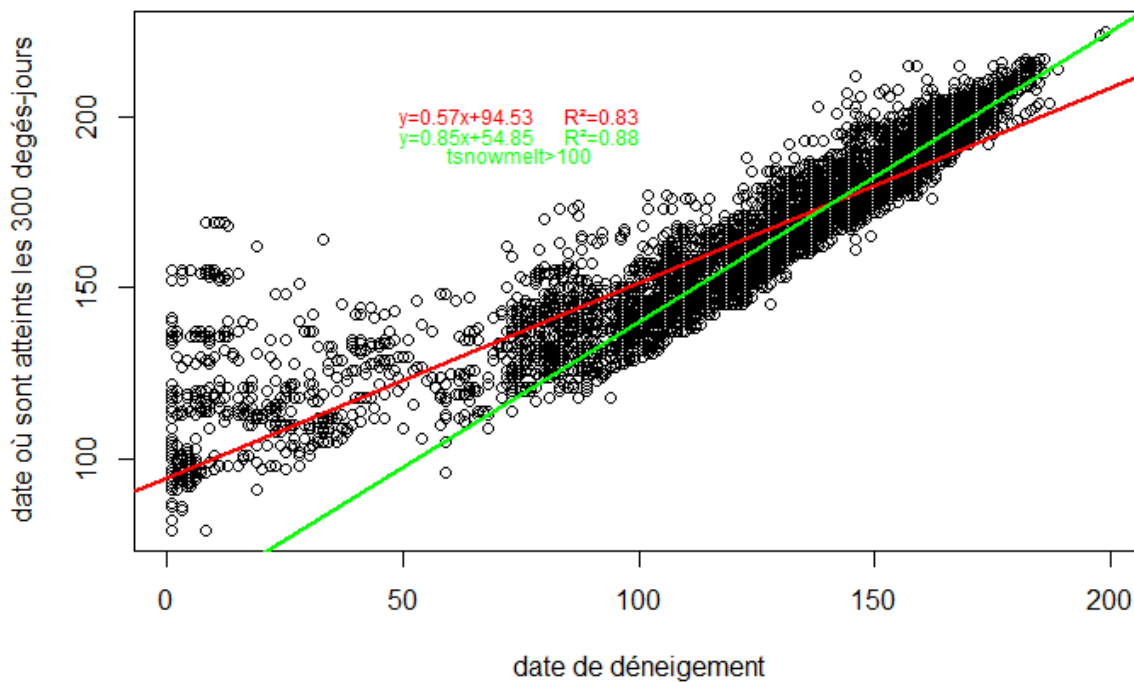


Figure 59 : Dates où sont atteints les 300 degrés-jours et dates de déneigement pour les différents couples pixels-année sur les alpages, en jours julien ; droite de régression linéaire pour l'ensemble des points (en rouge) et pour les déneigements intervenant au-delà du 100<sup>ème</sup> jour (en vert).

Les corrélations entre d'une part la date de déneigement (tsnowmelt), les dates d'atteinte des 300, 600 et 900 degrés-jours (tgdd300, tgdd600, tgdd900), et d'autre part le pic de végétation mesuré par NDVI (tndvimax) sont très faibles (0,13 à 0,15), ce qui signifie que les vitesses de développement des végétations sont différentes selon les pixels, donc qu'il y a des végétations qui présenteront des sensibilités différentes à la précocité du printemps. Il est ainsi possible qu'il y ait un rattrapage partiel des végétations déneigeant le plus tard par une phénologie plus rapide, c'est-à-dire que moins de degrés-jours leur seront nécessaires pour atteindre les différents stades. Globalement sur ce critère, une comparaison des années, pixel par pixel, serait sans doute plus éclairante, permettant de considérer des situations présentant des type de végétation semblables (cf. travail de Jonas et al.

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

(2008), qui ont réalisé des analyses similaires (à partir de relevés météorologiques et de relevés de végétation sur le terrain) en traitant de manière distinctes la variabilité spatiale (différences entre points de mesure) et la variabilité temporelle (différences entre années).

Dans la suite des analyses de l'exposition aux aléas climatiques des alpages, des exploitations, ou des systèmes alpage-exploitations, quand nous évoquerons la précocité du printemps, il s'agira bien exclusivement d'une précocité climatique, qui ne présage en rien du comportement des végétations.

Etant données les très fortes corrélations entre tgdd300, tgdd600, et tgdd900 (Figure 60), nous pouvons considérer que les 3 indicateurs fournissent la même qualité de données. Nous choisissons donc l'indicateur correspondant le mieux aux dates réelles de montée en alpage (autour du 15-25 juin pour les quartiers bas et autour du 25 juillet-5 août pour les quartiers hauts), Pour repérer cette date, nous regardons la date où un quart des pixels des quartiers bas et des quartiers hauts ont atteint le stade (Figure 61). A l'échelle d'un alpage, nous considérons qu'il est possible de monter à un étage de végétation donné dès lors qu'un quart de la végétation est pâturable. **tgdd600 (600 degrés-jours après le déneigement) est l'indicateur qui correspond le mieux comme indicateur de début de pâturage possible.**

En outre, sur les 8666 couples « pixel-année » retenus dans l'analyse, 8822 atteignent les 300 degrés-jours, 8729 atteignent 600 degrés-jours, et 8174 atteignent 900 degrés jours. Nous ne perdons donc que 1 % des points entre 300 et 600 degrés jours, mais 7% entre 300 et 900 degrés-jour, avec certains quartiers d'août fortement amputés, dans des zones qui sont pourtant bien pâturées. Cela conforte le choix de tgdd600.



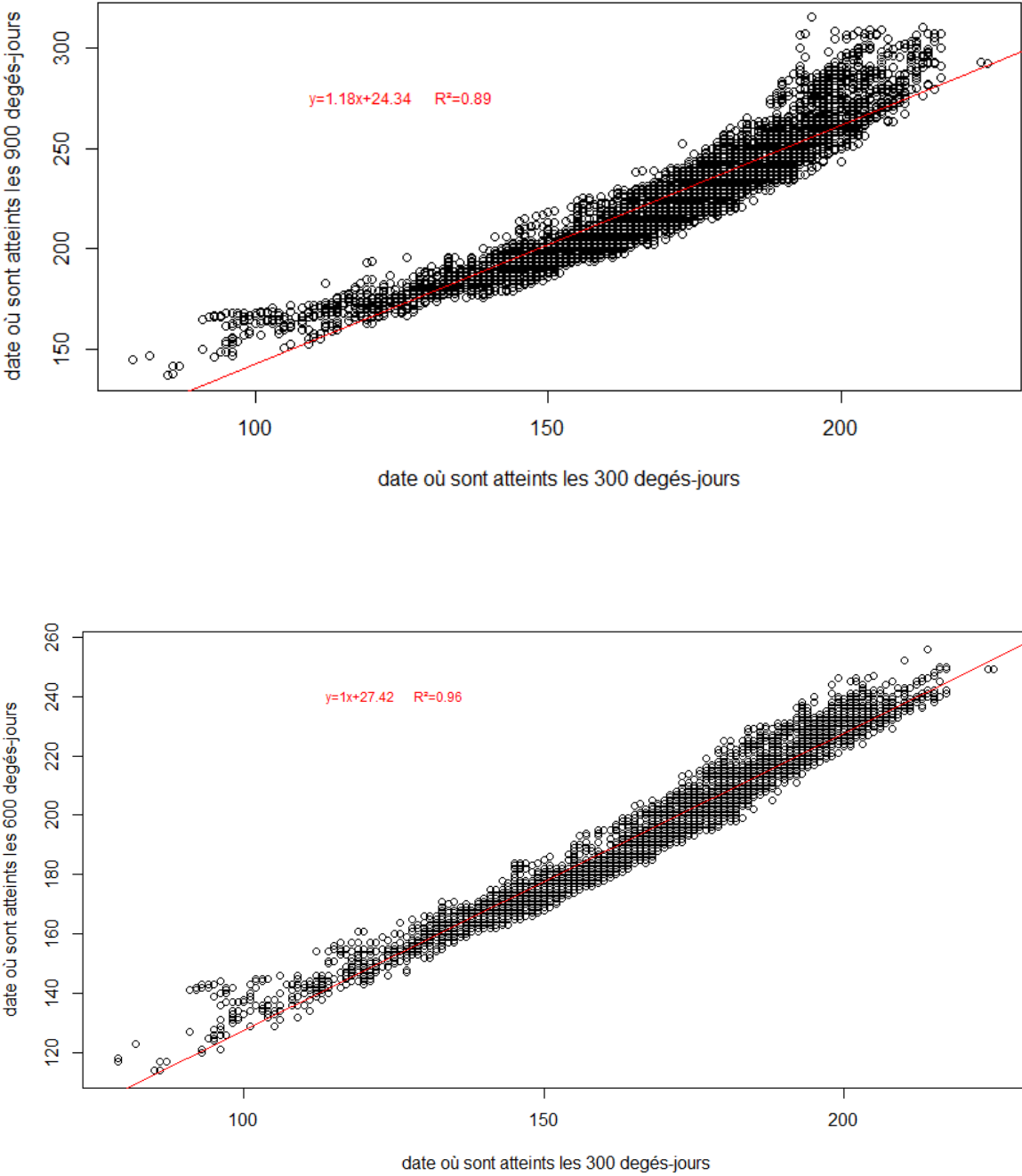


Figure 60 : Relations entre la date où sont atteints les 300 degrés-jours et respectivement les 600 et 900 degrés-jours pour les couples pixel-année de l'étude, et régressions linéaires associées.

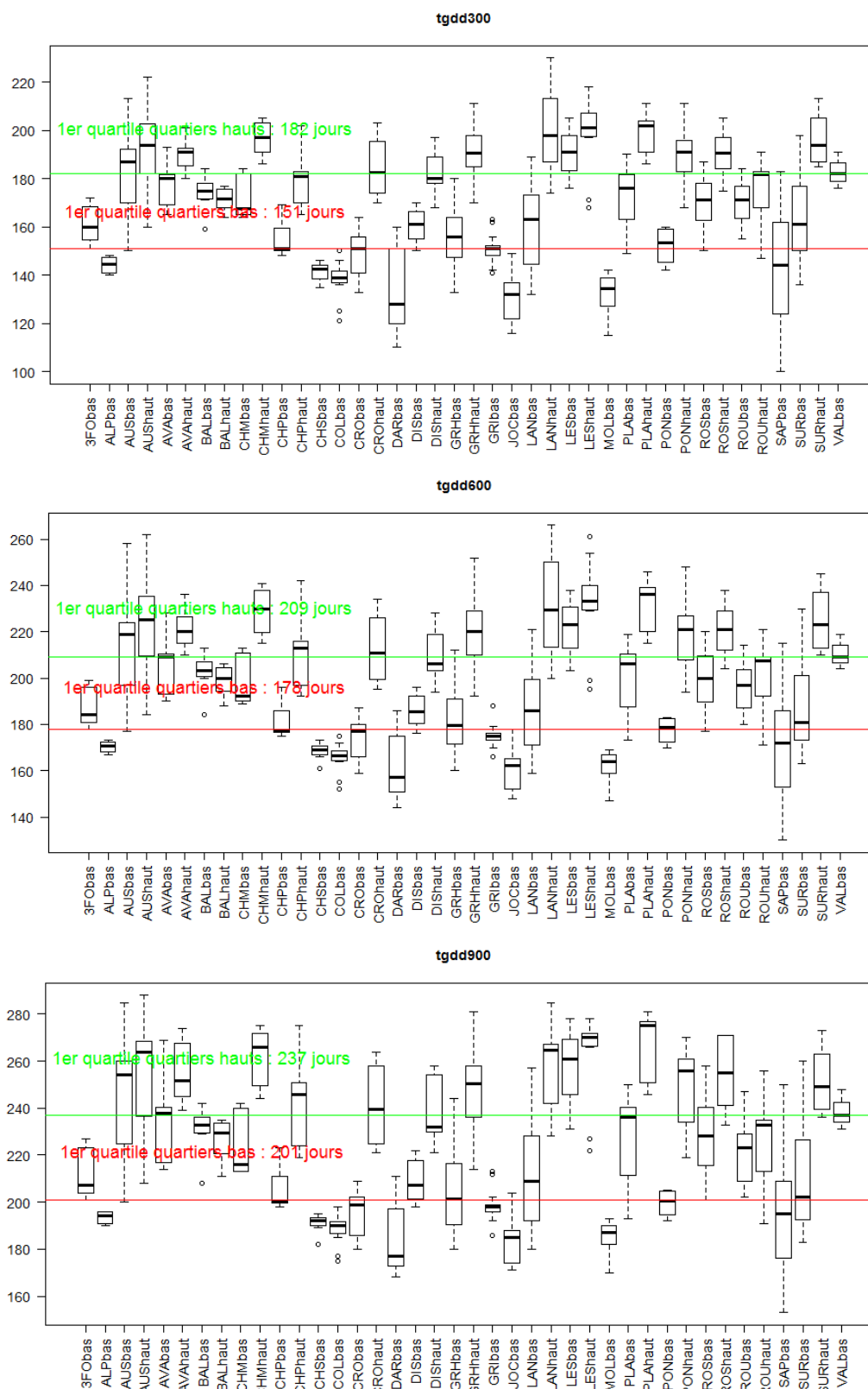


Figure 61 : Etalement moyen de la date où sont atteints respectivement 300, 600 et 900 degrés-jours, sur les alpages sentinelles, en distinguant quartiers bas et quartiers hauts ; dates moyennes où est atteint le premier quartile pour les quartiers bas et hauts.

Commentaires du graphique page suivante

	tgdd300	tgdd600	tgdd900
1 <sup>er</sup> quartile des quartiers bas	Jour 151 : 31 mai	Jour 178 : 27 juin	Jour 201 : 20 juillet
1 <sup>er</sup> quartile des quartiers hauts	Jour 182 : 1 <sup>er</sup> juillet	Jour 209 : 28 juillet	Jour 237 : 25 août

Sur les différents graphiques on peut voir l'étalement de la date où sont atteints les degrés-jours sur les différents pixels des alpages, en moyenne de 2000 à 2012, en distinguant quartiers bas et quartiers hauts des alpages (pour ceux en ayant). Les dates où en moyenne un quart des points des quartiers bas et des quartiers hauts atteint 600 degrés-jours (respectivement 27 juin et 28 juillet) correspondent approximativement aux dates de montée en alpage et de montée aux quartiers d'août.

Traitements effectués sur l'ensemble des 8174 pixels pour lesquels le seuil de tgdd900 était atteint.

Une deuxième hypothèse avancée par l'ensemble des experts est celle d'une exposition accrue des végétations d'alpages au gel printanier lorsque le déneigement est précoce. Là aussi la corrélation entre la date de déneigement (tsnowmelt) et les différents indicateurs d'exposition au gel printanier (frost300, frost600, frost900) est plutôt élevée (0,70 à 0,71 : Figure 58), avec une exposition qui diminue quand le déneigement a lieu tardivement.

Mais, alors que pour les déneigements précoces on observe une importante variabilité, sur les déneigements tardifs l'exposition au gel est faible (Figure 62) : ainsi les épisodes de gel se concentrent sur les quartiers bas, les quartiers hauts n'en subissant pratiquement pas ; la variabilité importante du nombre d'épisodes de gel pour les quartiers bas masque des différences importantes selon les alpages, avec un nombre réduit d'alpages subissant presque tous les ans plusieurs jours de gel, quand pour la plupart des alpages cela reste un phénomène limité (Figure 55).

La plupart des épisodes de gel ont lieu au cours des 300 premiers degrés-jours suivant le déneigement ; néanmoins quelques épisodes extrêmes peuvent être détectés jusqu'à 900 degrés-jours (Figure 63). **On conservera donc frost900 comme indicateur de l'exposition au gel printanier** pour capturer un maximum d'épisodes de gel.

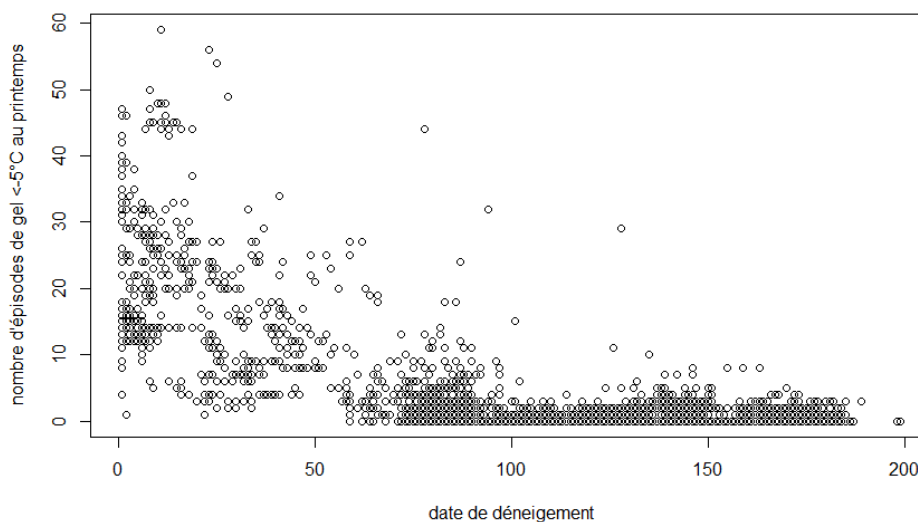


Figure 62 : Relation entre la date de déneigement et l'exposition au gel printanier après déneigement ( $T_{min} < -5^{\circ}\text{C}$ ) pour les 8174 couples pixels-années retenus dans l'analyse.

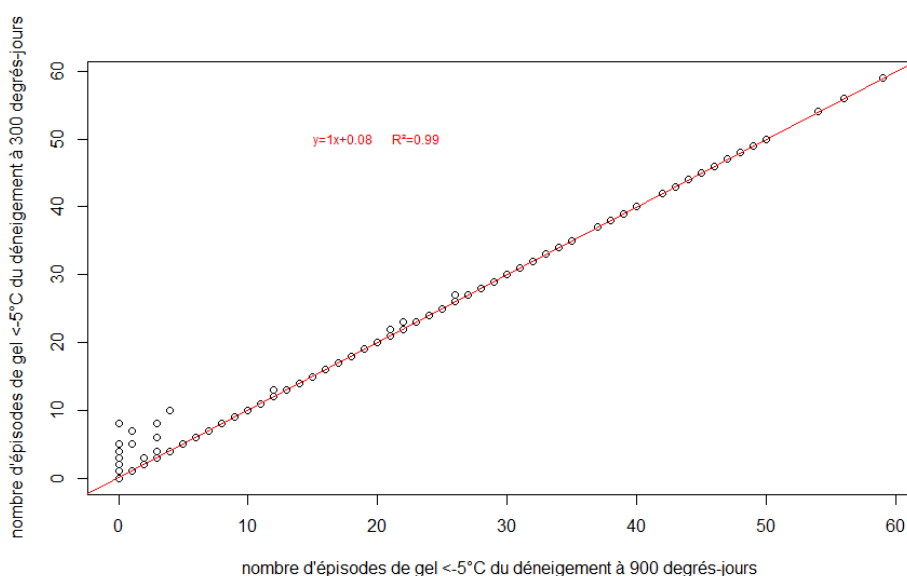


Figure 63 : relations entre le nombre d'épisodes de gel ( $T_{min} < -5^{\circ}\text{C}$ ) subis 300 degrés-jours et 900 degrés-jours après le déneigement pour les couples pixel-année retenus dans l'analyse.

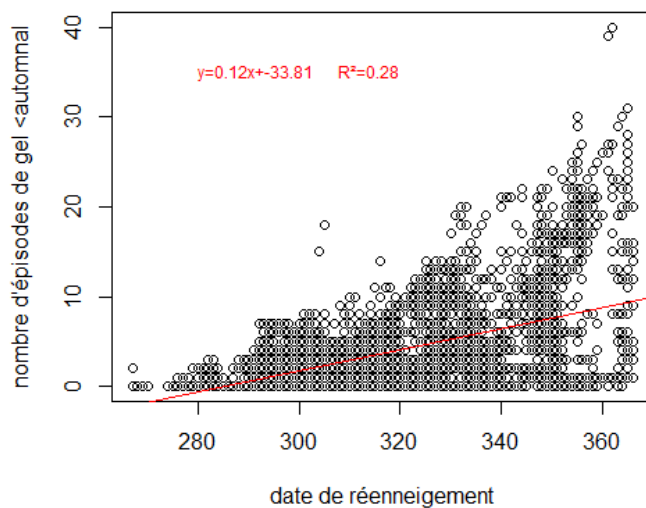
*On remarquera que quelques points « décrochent » de la droite, révélant des événements de gel survenus entre 300 et 900 degrés-jours.*

Au final, entre démarrage précoce de la végétation, favorable à une forte productivité car laissant plus de temps à la végétation pour pousser, et exposition au gel, défavorable à la productivité, on peut se demander si la précocité du déneigement est favorable ou défavorable à la productivité de la première pousse d'herbe et à la productivité totale. La corrélation apparaît forte et négative (-0,75 : Figure 58) entre  $ndvi_{int}$  (indicateur de productivité sur l'ensemble de la saison) et  $tsnowmelt$  (date de déneigement) : plus le déneigement est précoce, plus la saison de végétation sera longue (aussi car plus le ré-enneigement sera tardif en général). Par contre la corrélation est plus faible (-0,44) entre  $ndvi_{max}$  (productivité au pic de végétation, c'est-à-dire productivité de la première pousse) et

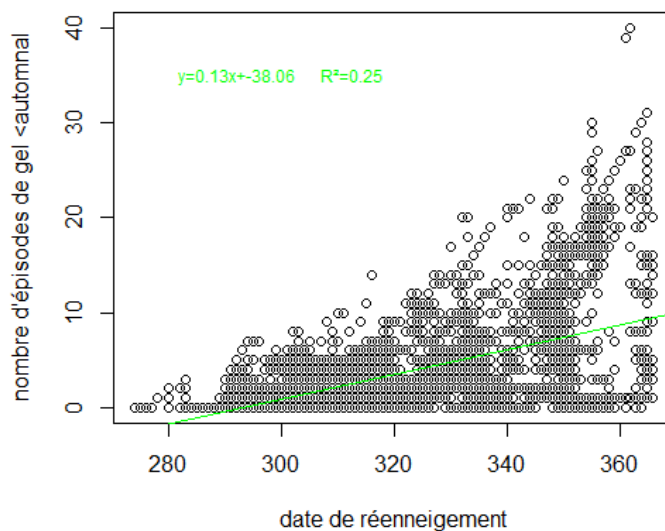
tsnowmelt, ce qui laisse penser que d'autres facteurs, comme le gel printanier, peuvent jouer sur la productivité. Néanmoins la corrélation apparaît également très faible entre ndvimax et frost900 (gel printanier) ; d'autres facteurs doivent probablement agir en interaction avec le gel (caractéristiques édaphiques, sécheresse...). La productivité de la végétation étant très variable d'un lieu à l'autre, il serait intéressant là aussi de comparer les variations interannuelles pour un même lieu pour approfondir cette analyse (Jonas et al. 2008), ou de travailler par types de végétation.

3<sup>ème</sup> hypothèse : Un ré-enneigement tardif fait courir le risque que la végétation soit fortement exposée au gel en fin de saison, avec des conséquences sur la productivité de la ressource l'année suivante. Cette hypothèse n'a pas été avancée spontanément par les experts sollicités, mais elle ressort fortement dans les analyses effectuées par Jonas et al. (2008) sur les Alpes suisses. La corrélation entre tsnofall et frostfall est assez faible (0.53 : Figure 58). La Figure 64a montre que la probabilité de subir des épisodes de gel augmente avec un réenneigement tardif, mais que la variabilité reste élevée ( $R^2 = 0,25$ ). Il est intéressant de noter que pour des enneigements survenant avant le 270<sup>ème</sup> jour (27 septembre), il n'y a pas d'épisode de gel.

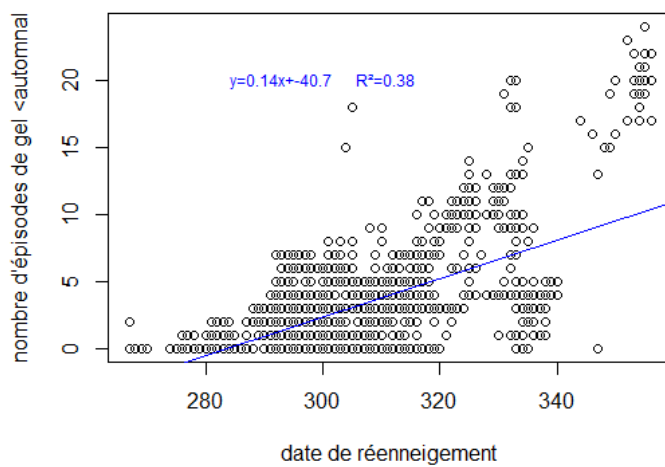
L'effet de l'altitude serait intéressant à étudier. Au printemps les quartiers bas subissent beaucoup plus le gel que les quartiers hauts (Figure 55). A l'automne en revanche il est possible que les quartiers hauts subissent beaucoup plus l'effet du gel que les quartiers bas, car la dynamique de réenneigement est beaucoup plus aléatoire que la dynamique de déneigement. Il ne ressort pas de différences flagrantes entre les quartiers bas et hauts (Figure 64 b et c), les droites de régression sont pratiquement identiques, et les  $R^2$  très faibles. Visuellement il semble que l'enneigement tardif sur les quartiers hauts soit davantage synonyme d'accident de gel (gel assuré pour des enneigements très tardifs) ; quoiqu'il en soit, la variabilité extrêmement élevée dans tous les cas est le principal élément à retenir.



*a : tous les quartiers*



*b : quartiers bas*



*c : quartiers hauts*

Figure 64 : nombre d'épisodes de gel automnal ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) subi sur les différents couples pixel-année, selon leur date de réenneigement.

Alors que l'exposition au gel printanier concernait peu d'alpages et était réservée aux quartiers bas, l'exposition au gel automnal concerne tous les alpages et toutes les altitudes, avec une très grande variabilité interannuelle du phénomène (Figure 65). Toutefois, il ne ressort pas de corrélation entre le gel automnal et les indicateurs NDVI de productivité (Figure 58). Cela nous conduit à penser que l'effet de ce type d'aléa est mineur sur la productivité de la végétation, par rapport à d'autres paramètres et notamment l'effet du gel de printemps, qui joue aussi sur la qualité. **Nous faisons donc le choix de ne pas retenir cet indicateur agrométéorologique dans la caractérisation du climat des alpages.**

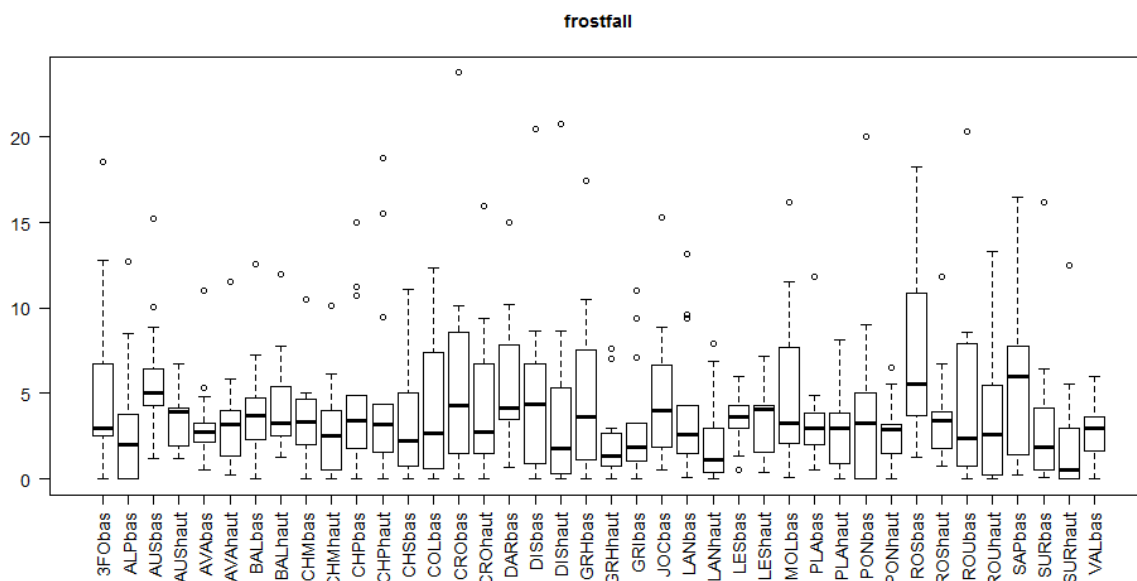


Figure 65 : Variabilité interannuelle de l'exposition au gel automnal des quartiers bas et hauts des différents alpages suivis (nombre de jours de gel <math>< -5^{\circ}\text{C}</math> subis en moyenne sur l'ensemble des quartiers bas ou hauts)

4<sup>ème</sup> hypothèse, avancée par les experts écologues, et qui étonne les experts acteurs de prime abord : la première pousse se fait sans subir de déficit hydrique.

Le bilan hydrique calculé à 600 degrés-jours (que nous avons retenu comme date de pâturage possible) (Figure 66) montre que ce bilan est rarement négatif, et que lorsqu'il est négatif, il reste faiblement négatif. Si ce bilan, réalisé sur une plage de temps longue, peut masquer des déficits temporaires compensés par des excédents, on peut raisonnablement penser que la végétation ne souffre de déficit hydrique qu'en de très rares occasions et sur des sols superficiels aux réserves utiles faibles. En effet, pour donner un ordre de grandeur, on peut considérer que l'évapotranspiration quotidienne lors d'une journée sans pluie est d'environ 4 à 4,5 mm à l'étage alpin (Körner 2003). Par exemple pour une réserve utile « faible » de 50 mm, cela correspond à une douzaine de jours sans précipitations.

Ce bilan hydrique apparaît faiblement corrélé à la productivité de la végétation (Figure 58 : coefficient de corrélation linéaire entre  $\text{sech}_{600}$  et  $\text{ndv}_{\text{imax}}$  = 0,31). Sur la Figure 67, on peut voir une courbe de corrélation polynomiale entre le bilan hydrique à 600 degrés-jours après déneigement ( $\text{sech}_{600}$ ) et la valeur du pic de NDVI ( $\text{ndv}_{\text{imax}}$ ), indicateur de la biomasse accumulée au pic de végétation. On obtient assez logiquement une courbe asymptotique (maximum de biomasse accumulée atteint au-delà d'un certain niveau de bilan hydrique), mais nous observons surtout une

très grande variabilité dans la distribution des points. Cette variabilité peut s'expliquer d'une part par le fonctionnement des écosystèmes (la productivité dépend également de nombreux autres paramètres, parmi lesquels les températures subies, la profondeur du sol ou les espèces en place) ; d'autre part la variabilité peut s'expliquer par le mode de construction des indicateurs : la date où les 600 degrés-jours sont atteints ne correspond pas à la date où le pic de végétation mesuré par NDVI est atteint, et le signal de NDVI peut saturer pour des biomasses importantes (cela peut contribuer à expliquer la forme asymptotique de la courbe). Lorsque nous regardons uniquement les couples pixel-année pour lesquels le bilan hydrique est négatif, et pour lesquels nous pouvons penser que l'effet du manque d'eau peut se traduire plus directement dans la productivité des végétations, nous obtenons une courbe de régression similaire, mais là encore avec une variabilité élevée (Figure 68). La mise en relation des indices NDVI avec les bilans hydriques nécessiterait un travail plus approfondi et la construction d'indicateurs adéquats.

**La sécheresse à la première pousse est donc un aléa rare mais qui peut se produire, et être alors préjudiciable, même si ce n'est pas le seul facteur jouant sur le rendement. Nous conservons donc cet indicateur pour la caractérisation du climat sur les alpages.** L'indicateur agrométéorologique calculé nous permet également d'analyser la variabilité de l'excédent des précipitations. Cette variabilité n'ayant pas été identifiée par les experts sollicités comme un aléa impactant la ressource, nous ne retiendrons que les bilans hydriques négatifs dans l'analyse.

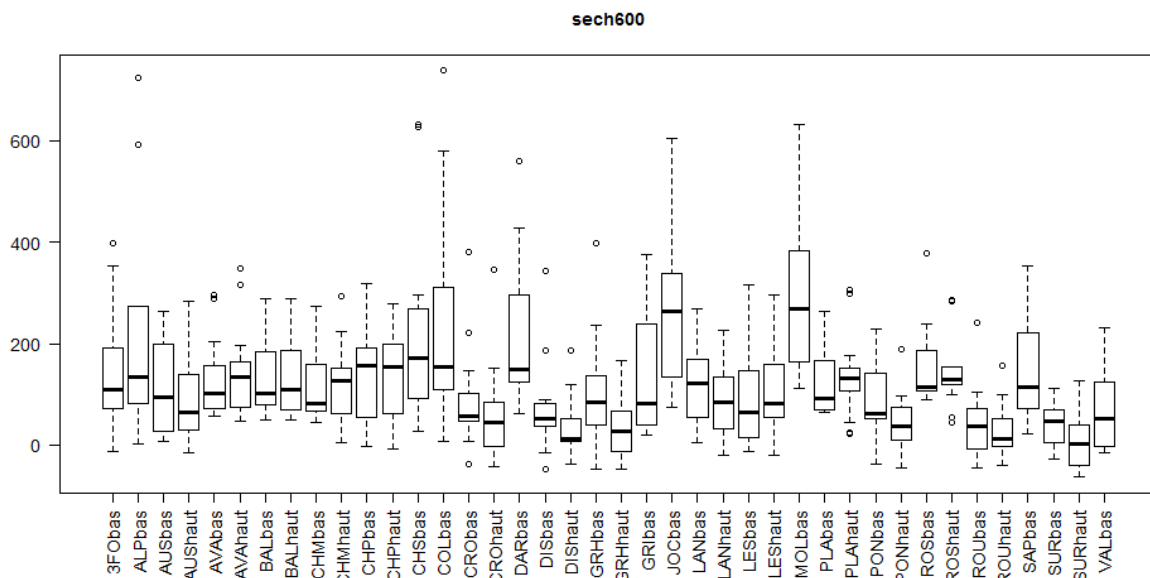


Figure 66 : variabilité interannuelle du bilan hydrique, par groupes de quartiers bas et hauts, 600 degrés-jours après le déneigement.



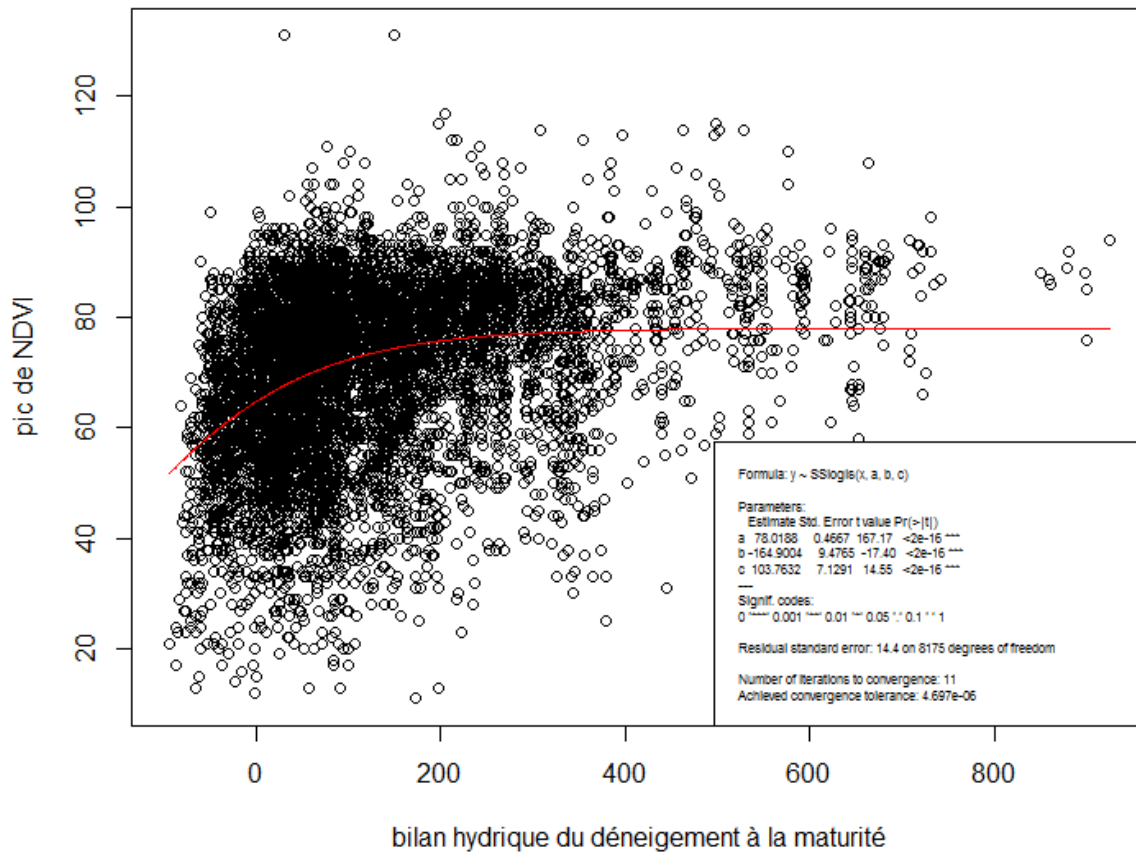


Figure 67 : Analyse des corrélations entre bilan hydrique du déneigement à la date où sont atteints les 600 degrés-jours (= « maturité » sur l'axe du graphique), et valeur du pic de NDVI pour les 8174 couples pixel-année retenus dans l'analyse

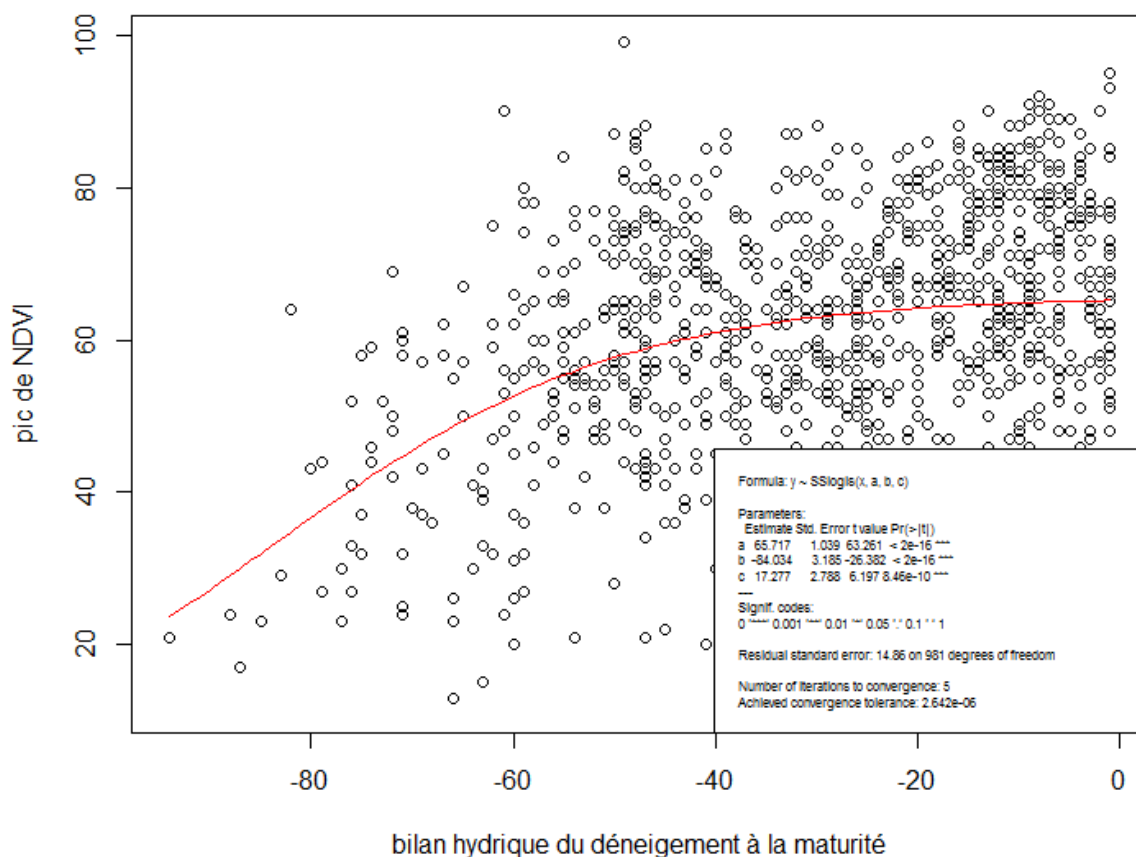


Figure 68 : Analyse des corrélations entre bilan hydrique du déneigement à la date où sont atteints les 600 degrés-jours (= « maturité » sur l'axe du graphique), et valeur du pic de NDVI pour les 984 couples pixel-année pour lesquels le bilan hydrique est négatif.

Les résultats sont très proches à 300 ou 900 degrés-jours après déneigement.

En revanche les bilans hydriques de la première pousse de l'herbe et les bilans hydriques de juillet, août et septembre sont très faiblement corrélés (Figure 58 : coefficients compris entre 0,14 et 0,51). Cette faible corrélation peut en partie s'expliquer par le fait que le bilan hydrique de la première pousse d'herbe est calculé sur une plage temporelle variable, alors que les trois autres sont calculés sur des plages fixes ; cela a pour conséquence que pour des pixels au déneigement très précoce, le bilan hydrique de la première pousse correspond à celui du mois de mai ou de juin, pour des altitudes plus élevées, à celui du mois de juillet, et pour les pixels déneigeant le plus tardivement, à celui du mois d'août.

Quoiqu'il en soit, dans la suite de la saison, les bilans hydriques peuvent devenir plus fortement négatifs que ceux de la première pousse (Figure 69, où nous n'avons représenté cet indicateur que pour les quartiers bas, là où il a un sens par rapport à la gestion). **Pour la caractérisation du climat sur les alpages, nous nous intéresserons donc à chacun de ces bilans hydriques, qui ont des conséquences différentes sur la ressource, et là encore en ne conservant que les bilans hydriques négatifs.**

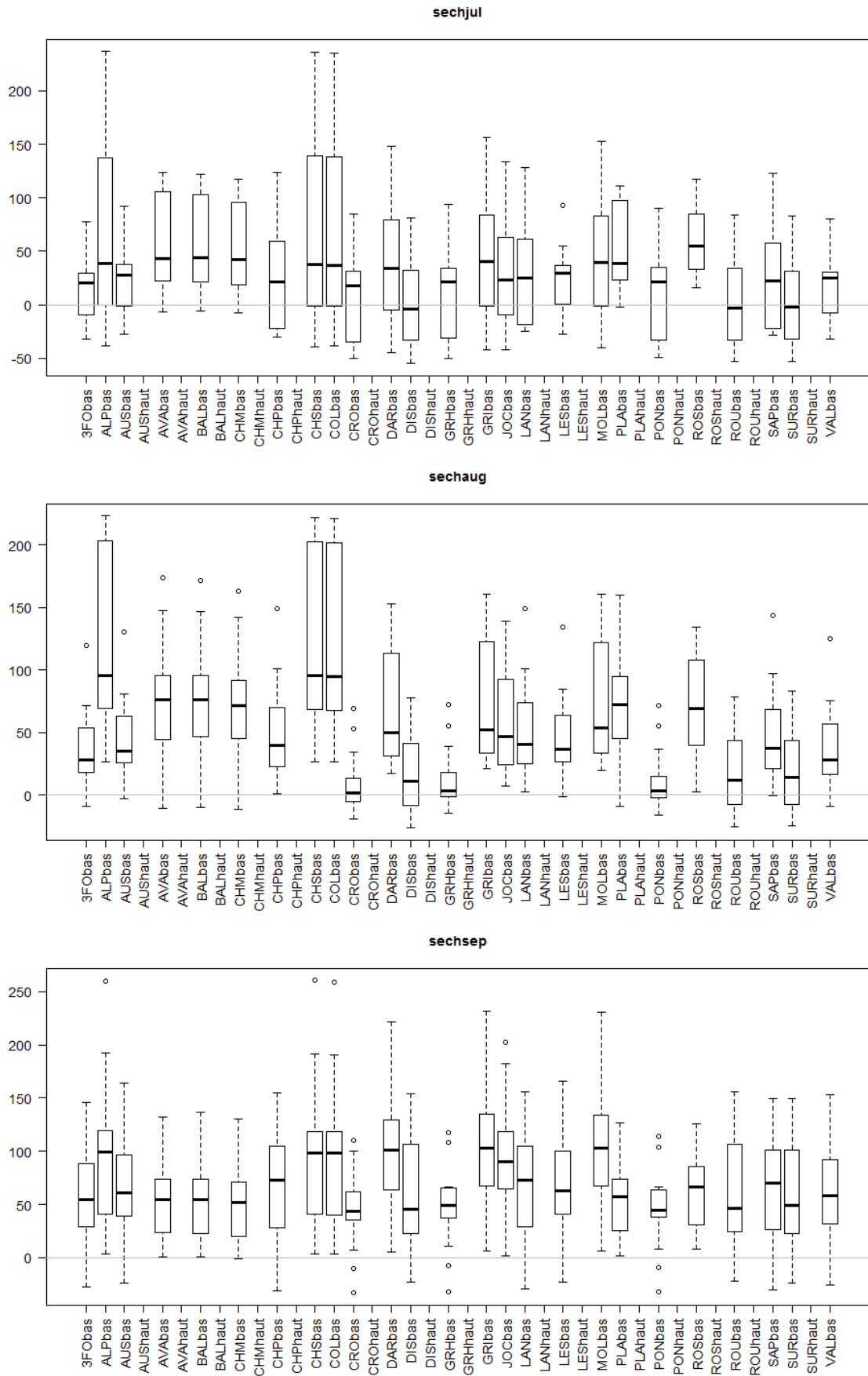


Figure 69 : variabilité interannuelle du bilan hydrique par groupes de quartiers bas des alpages sur les mois de juillet, août, et septembre

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

En guise de bilan, nous récapitulons les conclusions de nos analyses sur la Figure 70, et leurs conséquences sur le modèle conceptuel et sur la sélection des indicateurs pour la caractérisation du climat sur les alpages.

### Déneigement, précocité

Faible corrélation entre date de déneigement/d'atteinte des degrés-jours et date du pic de végétation (*différentes vitesses de développement des végétations*)

Forte corrélation entre la date de déneigement et accumulation des degrés-jours (*corrélation meilleure pour les déneigements tardifs*)

Fortes corrélations entre les différentes dates d'accumulation de degrés-jours → **indicateurs équivalents** (→ **tgdd600** choisi : **correspondance dates réelles**)

Forte corrélation entre date de déneigement et d'enneigement et productivité totale (*cf. durée de la période productive*)

Faible corrélation entre date de déneigement et productivité première pousse (*caractère multifactoriel*)

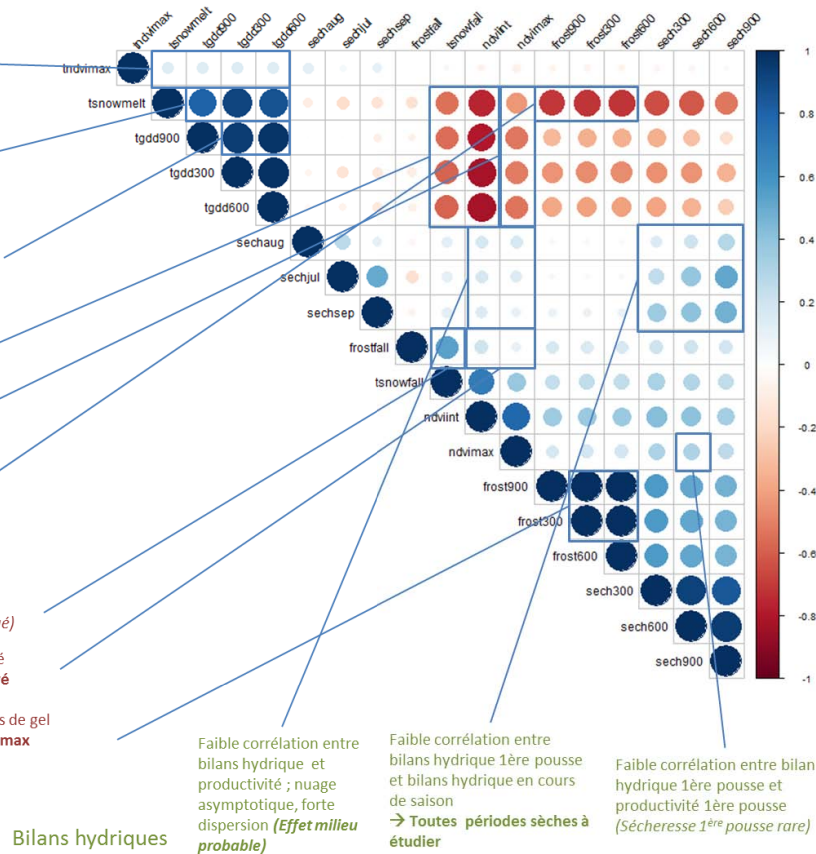
### Gel

Fortes corrélations entre la date de déneigement et nombre de jours de gel printanier

Faible corrélation entre date d'enneigement et exposition gel automnal (*caractère aléatoire marqué*)

Faible corrélation entre gel automnal et productivité (*caractère multifactoriel*) → **indicateur non conservé**

Très forte corrélation entre les différents indicateurs de gel printanier → **indicateurs équivalents** (→ **tgdd900** : **max d'épisodes détectés**)



**Figure 70 : Corrélogramme commenté, récapitulatif des conclusions établies au cours de l'analyse des corrélations entre les différents indicateurs agrométéorologiques**

Notre analyse montre de nombreuses similitudes, mais aussi quelques différences avec les résultats des travaux de Jonas et al. (2008) et de Choler (2015). Contrairement à Jonas et al. (2008), nous n'avons pas identifié la date de réenneigement comme un élément fondamental pour la productivité des végétations l'année suivante ; cette différence tient à plusieurs éléments : d'une part nous n'avons pas distingué dans nos analyses la variabilité temporelle du climat (variations en un lieu d'une année à l'autre) de la variabilité spatiale (différences entre climats de lieux différents : l'ensemble des couples « pixel-année » ont été directement comparés d'un coup). D'autre part nous avons utilisé les mesures de NDVI obtenues par télédétection satellitaire comme indicateur de la productivité, quand Jonas et al. ont utilisé des mesures de hauteur de végétation.

Nous n'avons pas non plus mis en évidence un effet clair des températures et des précipitations estivales sur la productivité globale (Choler 2015). Cela tient à des différences dans le choix des indicateurs, qui découlent du modèle, lui-même fait en cohérence avec les conséquences pour la gestion pastorale. Nous avons utilisé des indicateurs composites de différents paramètres météorologiques (par exemple le calcul du bilan hydrique mobilise les précipitations et les températures) ; dans ces conditions il est difficile d'identifier les effets propres des différents paramètres. Nous n'avons pas non plus cherché à identifier les mêmes éléments : ainsi nous n'avons

pas étudié les conséquences sur la productivité à l'automne d'un enneigement tardif. Celui-ci s'avère bénéfique pour la productivité d'après Choler (2015), parce que la végétation continue de pousser tard dans la saison. Mais cette végétation qui continue de pousser tardivement ne peut constituer une ressource mobilisable. A quelques exceptions près, les troupeaux ne sont plus présents passés la mi-octobre même s'il reste de l'herbe, car le risque de mauvais temps devient trop important en alpage, et il y a des ressources sur les exploitations à consommer.

Enfin des différences géographiques peuvent aussi expliquer des nuances dans les résultats : Jonas et al. ont travaillé sur la même gamme altitudinale, mais plus au Nord dans les Alpes Suisses (et avec une gamme réduite de diversité de végétation) ; Choler a travaillé uniquement au-dessus de 2000m.

### 5.3.3 Caractérisation de l'exposition des alpages aux aléas climatiques

#### 5.3.3.1 Construction d'indicateurs agrométéorologiques à l'échelle des unités de gestion « Alpages »

Les indicateurs agrométéorologiques définis à l'échelle de pixels de 500x500 m doivent être convertis en indicateurs à l'échelle de l'unité de gestion de l'alpage, et qui seront calculés chaque année.

Pour estimer la date de maturité de la végétation, nous retenons la date où est atteinte la somme de 600 degrés-jours après le déneigement, qui correspond le mieux à une date moyenne de montée sur les quartiers bas et hauts. Nous définissons deux indicateurs complémentaires à partir de cette variable :

- **Précocité du printemps sur l'alpage** : La date où les 600 degrés-jours après le déneigement sont atteints sur le quart des pixels du quartier bas des alpages, permettant le début du pâturage sur l'alpage
- **Étalement du printemps sur l'alpage** : L'étalement de la date à laquelle sont atteints les 600 degrés-jours (date où le dernier pixel atteint 600 DJ – date où le premier pixel atteint 600 DJ).

Pour chacun des autres indicateurs agrométéorologiques que nous avons décidé de conserver, nous ne définissons qu'un indicateur à l'échelle de l'alpage :

- **Exposition au gel printanier de l'alpage** : Nombre de jours de gel ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) après déneigement à 900 degrés-jours en moyenne sur l'ensemble de l'alpage.
- **Sécheresse de printemps**, sur les quartiers bas : Bilan hydrique à la première pousse (bilan hydrique du déneigement à 600 degrés-jours en moyenne sur les quartiers bas). Comme nous nous intéressons au manque d'eau, les bilans hydriques positifs sont ramenés à la valeur de 1 mm (nous n'avons pas ramené à 0 mm par précaution, en cas de futur calcul de ratio où il faudrait diviser par le bilan hydrique).
- **Sécheresse de juillet**, sur les quartiers bas : Bilan hydrique en juillet sur les quartiers bas. C'est ce qui va permettre à la végétation de rester verte sur les quartiers bas après la première pousse. Les bilans hydriques positifs sont ramenés à la valeur de 1 mm.
- **Sécheresse d'août** : En termes de gestion, la situation est différente selon qu'il y a un quartier haut sur l'alpage ou pas. Dans le premier cas il faut s'intéresser à la sécheresse pouvant impacter la première pousse de l'herbe sur ce quartier, dans le second il faut s'intéresser à la sécheresse pouvant impacter une repousse estivale sur les quartiers bas. Nous calculons donc cet indicateur de la manière suivante : bilan hydrique au cours du

mois d'août sur les quartiers bas des alpages qui ne disposent pas de quartier haut, et bilan hydrique à la première pousse pour les quartiers hauts (bilan hydrique du déneigement à 600 degrés-jours). Les bilans hydriques positifs sont ramenés à la valeur de 1 mm.

- **Sécheresse de septembre**, sur les quartiers bas : Bilan hydrique de septembre sur les quartiers bas. Les bilans hydriques positifs sont ramenés à la valeur de 1 mm.
- **Exposition au gel automnal sur l'alpage** : Nombre de jours de gel ( $T_{min} < -5^{\circ}\text{C}$ ) du 1<sup>er</sup> septembre à la date de ré-enneigement de l'alpage. Cet indicateur n'est pas utilisé pour la construction des axes dans les ACP, mais est conservé en variable supplémentaire.

Nous ne retenons pas la date de déneigement comme indicateur agrométéorologique : ce n'est pas le déneigement en tant que tel qui nous intéresse mais bien ses conséquences en termes d'exposition au gel et de phénologie, estimées au travers d'autres indicateurs ; le déneigement est une variable explicative de ces deux autres indicateurs.

Nous ne retenons pas non plus les indicateurs NDVI, qui ne sont pas des indicateurs agrométéorologiques mais des indicateurs de réponse de la végétation (et qui d'autre part posent des difficultés d'interprétation en présence d'une strate ligneuse ou en cas de saturation).

### *5.3.3.2 Analyse statistique et construction d'une typologie d'exposition aux aléas climatiques des alpages*

Afin de classer les alpages les uns par rapport aux autres selon ces indicateurs agrométéorologiques définis à l'échelle de l'alpage, nous effectuons trois analyses en composantes principales (ACP) successives, complétées par des classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) sur composantes principales, avec le package FactomineR développé par Agrocampus Ouest sous R (Lê et al. 2008). Les CAH prennent en compte les cinq premières dimensions des ACP (ou moins s'il y en a moins) ; le nombre de classes est choisi de manière à optimiser le gain d'inertie (nous avons conservé le paramétrage standard du package FactomineR sur cet aspect). Suivant la méthode proposée par Lebart et al. (1997), cités par Lê et al. (2008), nous décrivons les classes en nous appuyant sur les valeurs moyennes prises par les variables au sein d'une classe, et en décrivant d'abord les variables qui permettent le mieux à la fois de caractériser la classe et de la distinguer des autres classes.

Nous analysons dans un premier temps l'exposition moyenne aux aléas climatiques des alpages, en comparant les valeurs moyennes d'exposition de ces alpages (les variables de l'ACP et de la CAH sont des moyennes 2000-2012 des indicateurs agrométéorologiques), puis nous comparons les alpages par rapport à la variabilité climatique qu'ils subissent, en mobilisant l'écart-type, qui représente bien la variabilité globale d'un paramètre, et l'amplitude des variations (maximum – minimum), qui représente bien les valeurs extrêmes auxquelles les alpages doivent résister (les variables de l'ACP et de la CAH sont des écarts-type 2000-2012 et des amplitudes 2000-2012 des indicateurs agrométéorologiques). Les résultats obtenus au cours de ces deux ACP nous guident pour la réalisation d'une troisième ACP de synthèse intégrant des valeurs moyennes et de variabilité climatique. La signification des variables codées dans les analyses est précisée dans le Tableau 9.

Le détail des analyses statistiques figure en annexe 1. Nous ne reprenons dans le corps du manuscrit de thèse que les résultats du classement issus des CAH, et quelques enseignements des ACP qui peuvent appuyer l'analyse globale.



variable		Code de la variable	Unité
Précocité du printemps l'alpage	Moyenne	m_q_bas_mur	Jours Julien Plus la valeur est élevée, moins la précocité est importante/plus la situation est tardive
	Ecart-type	var_q_bas_mur	
	Amplitude	ampl_q_bas_mur	
Étalement du printemps l'alpage	Moyenne	m_etal_mat	Jours Julien Plus la valeur est élevée, plus la date d'atteinte des 600 degrés-jours après déneigement sur les différents points de l'alpage est étalée dans le temps
	Ecart-type	var_etal_mat	
	Amplitude	ampl_etal_mat	
Exposition au gel printanier de l'alpage	Moyenne	m_expo_gel_ptps	Nombre de jours par an Plus la valeur est élevée, plus l'exposition au gel est forte
	Ecart-type	var_expo_gel_ptps	
	Amplitude	ampl_expo_gel_ptps	
Exposition au gel automnal sur l'alpage	Moyenne	m_expo_gel_aut	
	Ecart-type	var_expo_gel_aut	
	Amplitude	ampl_expo_gel_aut	
Sécheresse de printemps	Moyenne	m_expo_sec_ptps	mm valeurs négatives Bilan hydrique : plus la valeur est élevée (proche de zéro), moins la sécheresse est forte
	Ecart-type	var_expo_sec_ptps	
	Amplitude	ampl_expo_sec_ptps	
Sécheresse de juillet	Moyenne	m_expo_sec_juil	
	Ecart-type	var_expo_sec_juil	
	Amplitude	ampl_expo_sec_juil	
Sécheresse d'août	Moyenne	m_expo_sec_aout	
	Ecart-type	var_expo_sec_aout	
	Amplitude	ampl_expo_sec_aout	
Sécheresse de septembre	Moyenne	m_expo_sec_aut	
	Ecart-type	var_expo_sec_aut	
	Amplitude	ampl_expo_sec_aut	

Tableau 9 : Variables mobilisées dans les trois ACP de caractérisation de l'exposition aux aléas climatiques des 25 alpages sentinelles

### 5.3.3.2.1 Comparaison des climats « moyens » des alpages

Le premier axe de l'ACP est représenté principalement par les variables de sécheresse qui s'opposent à la variable relative à l'étalement de la phénologie (voir Annexe 1). Le second axe de l'ACP représente principalement la précocité de la végétation et l'exposition au gel de printemps. Si l'on pouvait s'attendre à trouver sur un même axe précocité de la végétation de l'alpage et forte exposition au gel (nous avons montré précédemment que les déneigements les plus précoces exposaient davantage aux épisodes de gel printanier), on peut s'interroger sur le fait de trouver sur un même axe exposition à la sécheresse et étalement de la maturité de la végétation. Il est possible qu'il y ait un biais « géographique » : les alpages de notre échantillon situés dans les régions les plus sèches correspondent à des régions avec un fort dénivelé (Ecrins) et ces alpages sont parmi les plus étagés de leurs régions (cf. section 3.3.1). Mais on peut aussi faire l'hypothèse que le découpage « historique » des alpages traduit le besoin d'avoir ou non un étagement altitudinal pour compenser la sécheresse estivale et l'absence de repousses : globalement les étagements altitudinaux sont plus importants pour les alpages dans les Alpes du Sud que dans les Alpes du Nord (Figure 28, page 90).

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) sur les composantes principales nous permet de regrouper les alpages selon 3 classes et d'identifier les variables qui caractérisent ces classes (Figure 71) :

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

- Une première classe regroupe 6 alpages (SUR, CRO, ROU, GRH, PON, DIS). Cette classe est caractérisée par un niveau fort d'exposition moyen aux sécheresses à toutes les saisons. Elle correspond à des alpages du versant sud et sud-est du massif des Ecrins, situés dans les vallées des Alpes internes, qui reçoivent peu les précipitations océaniques. Ce sont par ailleurs aussi des alpages avec un étalement de la maturité important, lié à un fort étagement altitudinal. En termes de précocité ils sont dans la moyenne, et subissent peu de gels printaniers (grâce aux quartiers hauts qui ne sont pas exposés).
- La seconde classe regroupe 8 alpages (AUS, LES, VAL, PLA, ROS, BAL CHM, AVA). Cette classe est caractérisée principalement par un caractère tardif des alpages, une exposition à la sécheresse en juillet faible, et une exposition au gel printanier faible. Elle rassemble tous les alpages sentinelles de Vanoise, sauf un (3FO). Ce sont aussi des alpages avec une phénologie peu étalée en général (pas un grand étagement altitudinal).
- La troisième classe regroupe 11 alpages (JOC, DAR, MOL, LAN, SAP, CHP, GRI, 3FO, COL, CHS, ALP) qui se distinguent par une forte exposition au gel de printemps, une forte précocité, une faible exposition à la sécheresse en août et un faible étalement de la maturité sur l'alpage. Cette classe comprend les alpages du Vercors et de Chartreuse, ainsi que ceux du versant Ouest et Nord-Ouest des Ecrins (Valbonnais, Oisans). Ce sont effectivement des alpages globalement arrosés en toute saison (exposition aux flux océaniques). On trouve dans ce groupe les alpages les plus précoces (JOC, DAR, MOL, COL, CRO, ALP) et ceux dont la phénologie est la moins étalée (ALP, CHS, 3FO, COL, GRI, MOL), mais aussi des alpages proches des autres groupes sur ces critères. On y trouve l'alpage 3FO, un alpage de Vanoise en Maurienne bien particulier, avec un déneigement rapide qui peut s'expliquer par une exposition homogène à l'Adret et un faible étagement altitudinal. Cet alpage est par ailleurs connu pour avoir une exposition très forte aux retours d'Est due à la proximité d'un col ouvert sur le versant italien du massif (ce qui n'est pas pris en compte par SAFRAN-Crocus).

Au-delà de cette classification, le positionnement relatif des alpages sur le plan factoriel 1-2 de l'ACP est également riche d'enseignement (dans la mesure où celui-ci représente près de 80% de l'inertie totale) : Figure 71. A partir de la position des individus dans la plan factoriel 1-2 de l'ACP, on réalise un schéma de synthèse pour chaque analyse statistique effectuée (ACP+CAH) (Figure 71). Les axes indiqués ne sont pas précisément les axes de l'ACP, mais visent à synthétiser les tendances de classement des individus.

Ainsi comme nous l'avons évoqué, le climat de l'alpage 3FO ressemble plus au climat de la Chartreuse et du Vercors qu'à celui du reste de la Vanoise. JOG, DAR, MOL, qui sont situés sur une ligne qui va du nord au sud du Vercors, montrent des climats moyens très proches et constituent un sous-type au sein de la 3<sup>ème</sup> classe. En revanche, GRI, qui est aussi sur cette ligne, montre un climat assez éloigné de celui de ses voisins ; son déneigement est un peu plus tardif. Sur le plan de l'ACP il occupe bien une position intermédiaire entre les alpages des Préalpes et ceux des Ecrins.

En Vanoise, la distinction classique entre alpages de Tarentaise et alpages de Maurienne n'apparaît pas. La Maurienne est connue pour son climat plus sec. Si les bilans hydriques calculés sur les alpages sont effectivement plus faibles en Maurienne qu'en Tarentaise, cela ne suffit pas à distinguer les deux groupes, les alpages de Maurienne restant bien moins secs que ceux des Ecrins, et proches de ceux de Tarentaise sur d'autres critères.



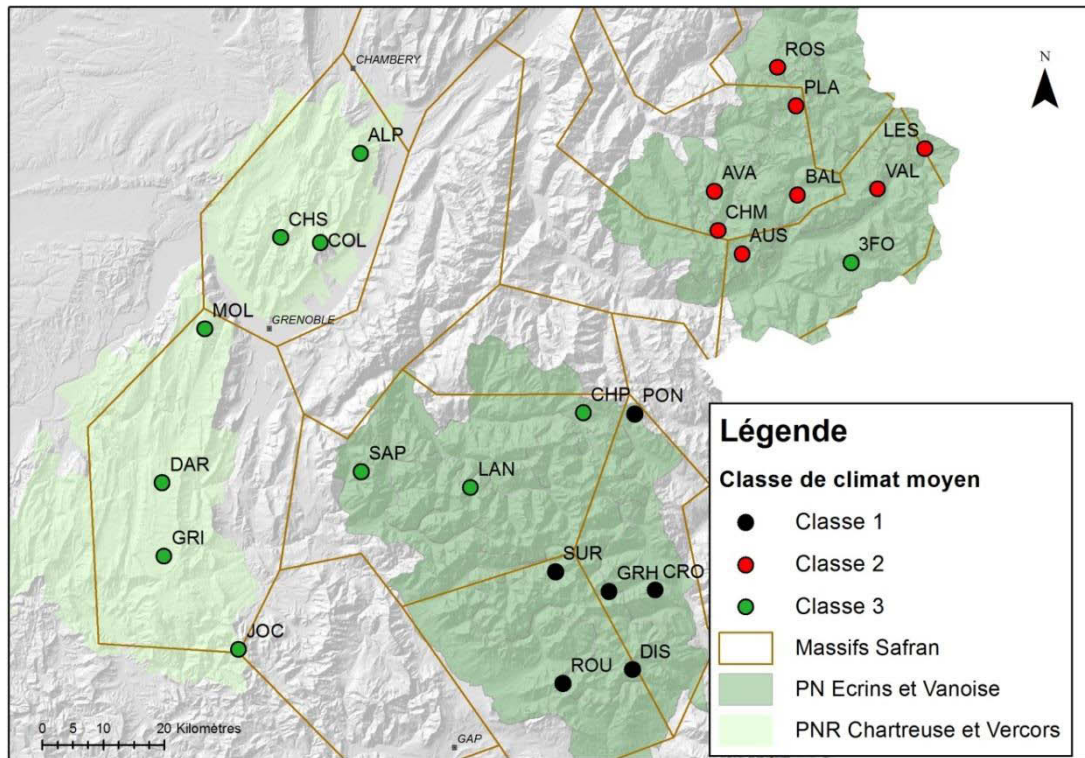
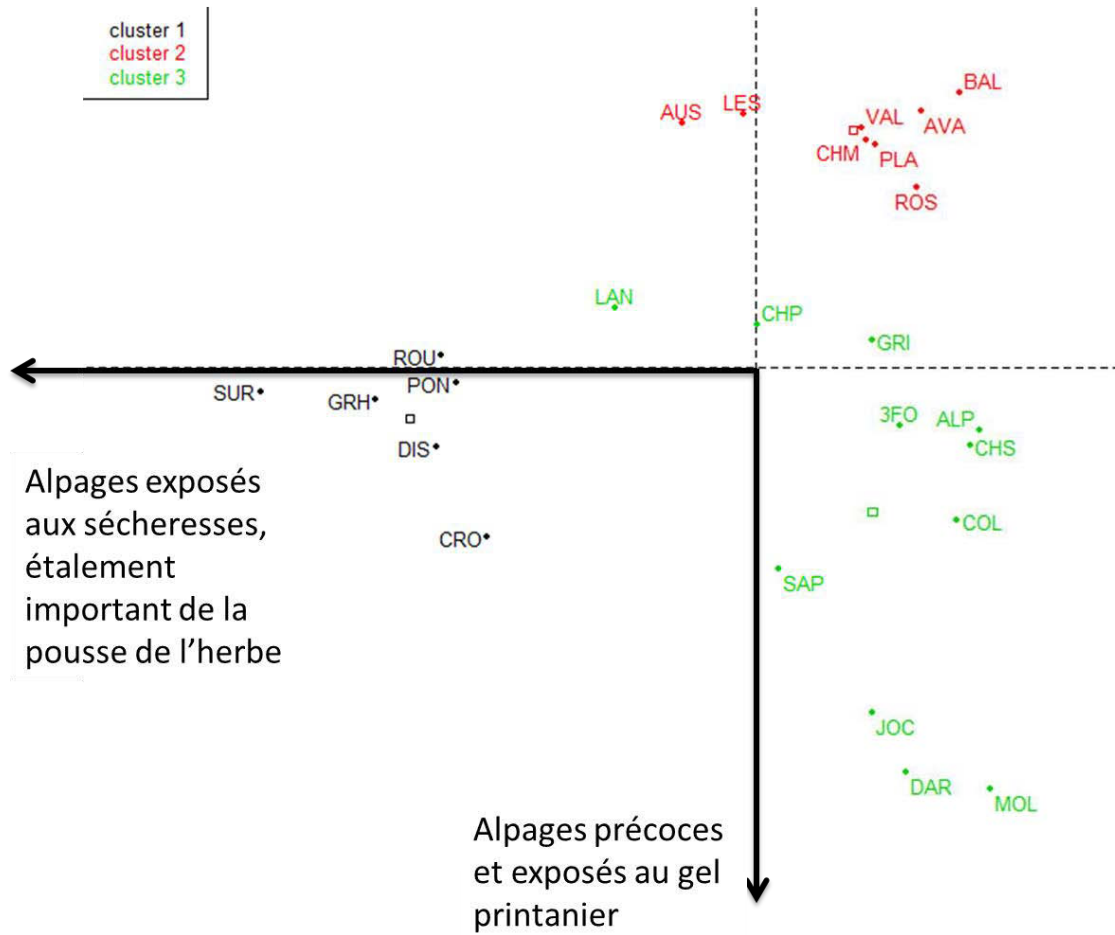


Figure 71 : Positionnement schématique des alpages selon les 3 classes de niveau moyen d'exposition à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des alpages selon leurs classes dans la CAH

#### 5.3.3.2.2 Comparaison de la variabilité climatique sur les alpages

Les écarts-type (indicateur du niveau moyen de variabilité) et les amplitudes (indicateur des extrêmes climatiques) étant fortement corrélés, nous n'avons conservé que les écarts-type dans l'analyse statistique (Annexe 1). Les variables explicatives des deux premiers axes de l'ACP « variabilité » renvoient aux mêmes indicateurs agrométéorologiques que les variables explicatives des deux premiers axes de l'ACP « moyenne » (sécheresses et étalement du printemps pour le premier axe ; précocité et gel printanier pour le second axe).

La CAH nous a permis de distinguer d'abord 3 classes, puis nous avons distingué deux sous-classes supplémentaires (Figure 72). Pour faciliter la comparaison avec l'ACP précédente, nous les présentons dans l'ordre dans lequel la CAH effectue le découpage des classes :

- Ce qui caractérise la classe 3 et la distingue des autres classes, ce sont une forte variabilité du niveau des sécheresses au printemps, en août, en juillet ainsi qu'une forte variabilité du nombre d'épisodes de gel automnal, et dans une moindre mesure un fort niveau de variabilité du niveau des sécheresses automnales et de l'étalement de la maturité. Les alpages de cette classe sont les mêmes individus que ceux de la classe 1 dans l'ACP « moyennes ». Il s'agit des alpages du versant « sec » des Ecrins. Ainsi les alpages exposés à un climat moyen sec sont aussi ceux qui subissent la plus forte variabilité climatique en termes de sécheresses. Ces alpages connaissent une diversité de situations en termes de variabilité de la précocité (second axe) de l'ACP.
- La classe 1 est constituée d'alpages caractérisés d'abord par une forte variabilité de la précocité, une faible variabilité de l'étalement de la maturité, et une forte variabilité du nombre d'épisodes de gel printanier subis. Ils sont également caractérisés par une faible variabilité dans le niveau des sécheresses d'août et d'automne. La classe 1 est constituée de tous les alpages de la Chartreuse et du Vercors. C'est un sous-groupe du groupe 3 de l'ACP « moyennes ». En résumé ce sont des alpages ne subissant pas de variabilité sur le plan de la sécheresse, mais qui subissent à l'inverse une forte variabilité dans la précocité des végétations, et dans l'exposition au gel printanier qui lui est associée.
- La classe 2 est caractérisée par une faible variabilité du nombre d'épisodes de gel subis au printemps et à l'automne, du niveau des sécheresses (juillet, printemps et août), une faible variabilité de l'exposition, et de la précocité des alpages. Cette classe rassemble les alpages de Vanoise, du versant Ouest et Nord-Ouest des Ecrins, et l'alpage GRI du Vercors. Il s'agit donc de la classe 2 de l'ACP « moyenne » et de l'autre partie de la classe 3. Comparativement aux autres classes, ce sont donc des alpages qui subissent moins de variabilité climatique vis-à-vis des critères qui nous intéressent. En poursuivant la partition effectuée par la CAH, on pourrait distinguer deux sous-classes dans la classe 2, correspondant aux alpages de deux zones géographiques différentes :
  - o 2.a Les alpages de Tarentaise (CHM, AVA, ROS PLA et BAL, ce dernier étant situé dans la vallée de la Maurienne mais dans le massif SAFRAN « Vanoise » majoritairement situé sur la vallée de la Tarentaise). Cette sous-classe est caractérisée principalement par une faible variabilité du niveau des sécheresses (juillet, printemps, et automne) et du nombre d'épisodes de gel au printemps. Ce sont globalement les alpages subissant le moins de variabilité climatique d'une année sur l'autre.

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

- 2.b Les autres alpages (alpages de Maurienne, Ouest et Nord-Ouest des Ecrins, Vercors), constituent une sous-classe qui se distingue principalement par un niveau de variabilité plus élevé que la moyenne (de l'ensemble des 25 alpages) pour les sécheresses d'automne, et par une variabilité moindre que la moyenne (des 25 alpages) pour la précocité des alpages.

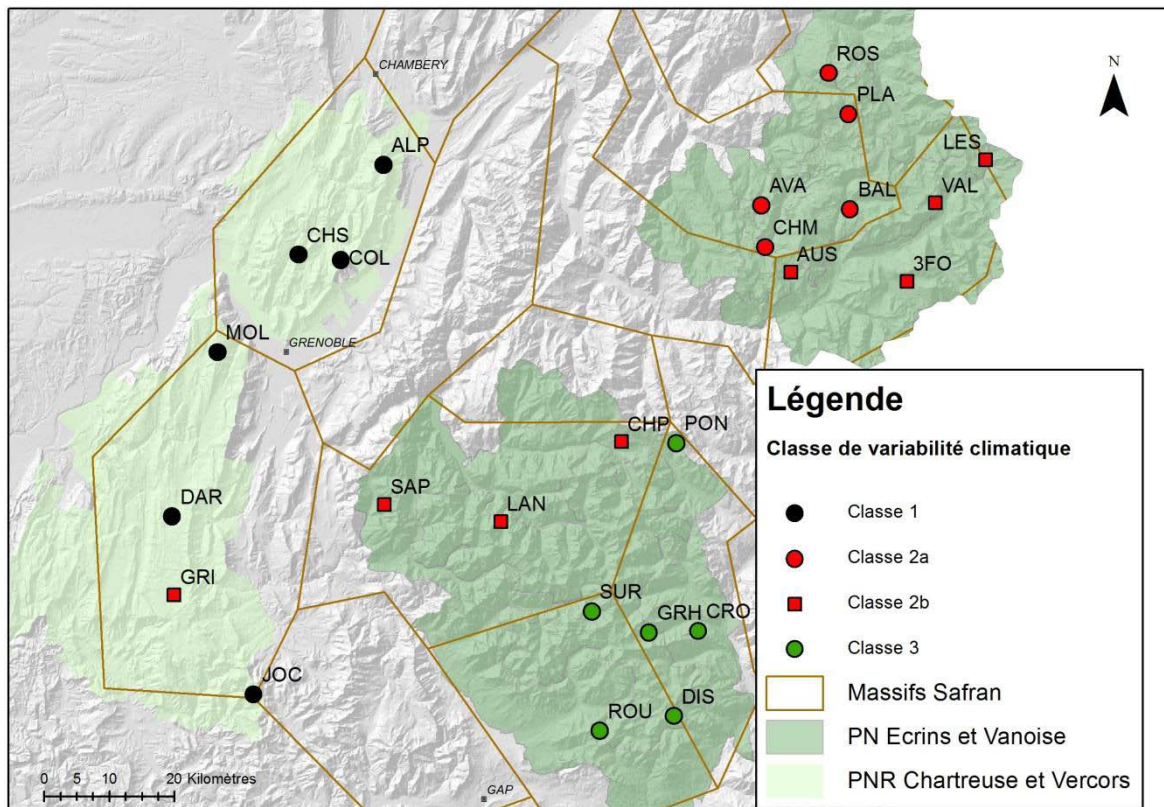
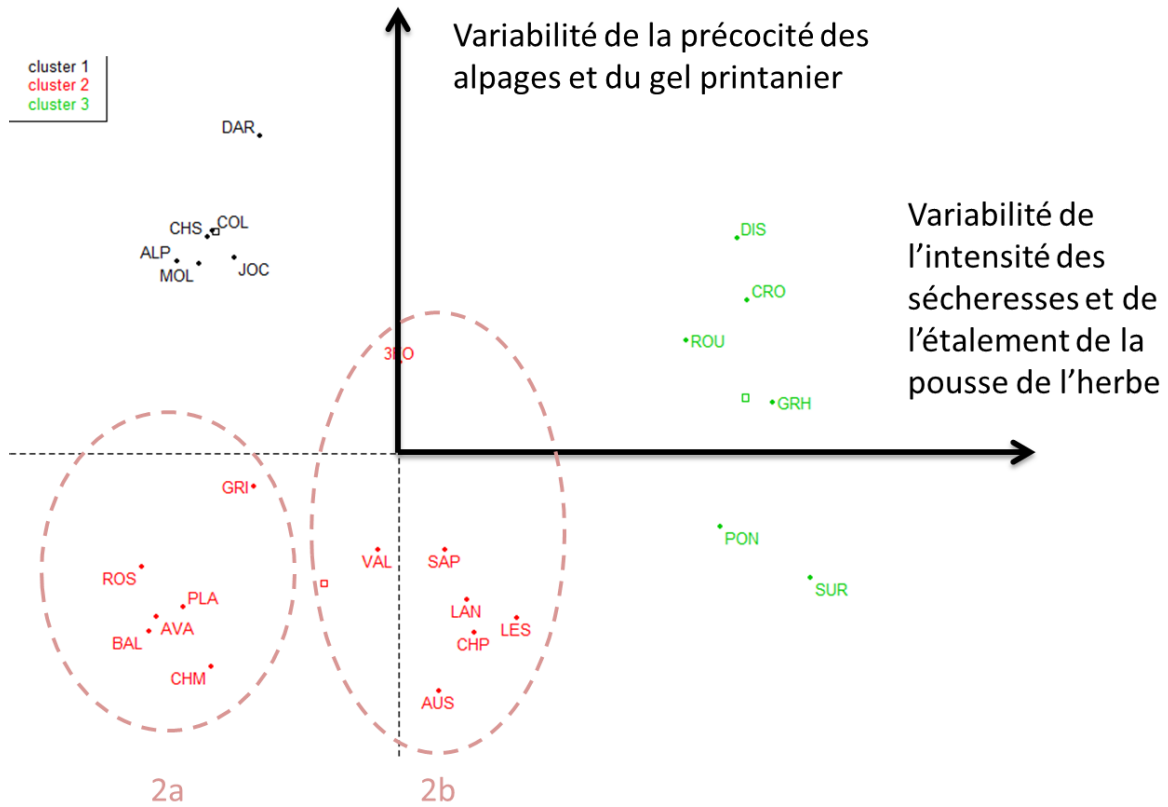


Figure 72 : Positionnement schématique des alpages selon leur classe de variabilité climatique, à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des alpages selon leurs classes dans la CAH

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Ainsi ce n'est pas tant dans le climat moyen que dans la variabilité climatique que se traduisent des différences entre les alpages de Tarentaise et de Maurienne : la variabilité du niveau des sécheresses se révèle un peu plus marquée en Maurienne qu'en Tarentaise.

Comme pour l'ACP « moyennes », on constate que l'alpage GRI du Vercors est éloigné des autres alpages du Vercors : dans cette classification il est même rattaché à une autre classe. L'alpage 3FO ressort lui aussi à nouveau, avec une position intermédiaire entre les classes 2 et 3 dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP.

Globalement les résultats des deux ACP sont assez proches, à la fois dans la contribution des différents indicateurs agrométéorologiques à la construction des axes et dans le positionnement relatif des différents alpages, même si les regroupements dans les CAH diffèrent un peu. Cela peut en partie s'expliquer par la construction des variables. Les indicateurs de sécheresse permettent de détecter les périodes sèches, mais pas les périodes avec des excédents d'eau. Dans ces conditions, il est logique que les alpages les plus exposés à la sécheresse soient aussi ceux qui présentent la plus forte variabilité sur le plan de la sécheresse : plus on subit fréquemment un phénomène, plus on est susceptible de le subir avec de la diversité. La variabilité dans les niveaux des bilans hydriques lorsqu'ils sont positifs est gommée par le calcul des variables (bilan hydriques positifs ramenés à 1 mm). De même, seuls les alpages subissant du gel printanier sont susceptibles d'avoir une variabilité interannuelle de cet aléa. Par contre, les indicateurs construits sur des dates de survenue d'un événement (ex : date de maturité de la végétation, étalement de la maturité) ne sont pas tributaires de ce genre de biais.

### 5.3.3.2.3 Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques des alpages (climat moyen et variabilité climatique)

Globalement il y a une certaine corrélation entre les valeurs moyennes et les écarts-types calculés sur les mêmes indicateurs agrométéorologiques. Néanmoins dans le détail certains alpages ne suivent pas ce constat : il apparaît donc intéressant de réaliser une ACP et une CAH en intégrant à la fois des caractéristiques moyennes et la variabilité interannuelle du climat, donc les variables des deux ACP précédentes, pour construire une typologie de l'exposition aux aléas climatiques des alpages.

La CAH nous a permis d'identifier quatre classes, présentées ici dans l'ordre dans lequel la CAH effectue le découpage des classes :

- Ce qui caractérise la classe 4 et la distingue des autres, c'est principalement une grande variabilité dans le niveau des sécheresses, et un niveau moyen des sécheresses élevé. Cette classe présente aussi une variabilité du nombre d'épisodes de gel automnal et de l'étalement de la maturité et de sécheresses significativement plus élevés que la moyenne. La classe 3 correspond aux alpages du côté peu arrosé des Ecrins.
- La classe 2 est caractérisée d'abord par la précocité de ses alpages, à la fois élevée en moyenne et très variable, et par une forte exposition moyenne aux sécheresses printanières ; dans une moindre mesure, elle est également caractérisée par une exposition à la sécheresse automnale inférieure à la moyenne et peu variable, et une variabilité de l'exposition au gel printanier importante. Cette classe regroupe tous les alpages situés dans les massifs du Vercors et de Chartreuse, sauf GRI.

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

- La classe 1 se distingue par les sécheresses de juillet, automne, et printemps faibles en moyenne et en variabilité, peu de gel printanier, sans variabilité. Ce sont les alpages de Tarentaise (et BAL), et GRI du Vercors.
- La classe 3 est caractérisée par son exposition aux sécheresses d'automne, plus fortes et plus variables que pour la moyenne des 25 alpages. Cette classe regroupe les alpages de Maurienne et ceux du versant arrosé des Ecrins. Cette classe occupe sur le plan factoriel 1-2 (75% de l'inertie) une position intermédiaire entre les trois premiers types, avec des caractéristiques climatiques intermédiaires en termes de climat moyen et de variabilité, qui font qu'il y a peu de variable très discriminante pour cette classe. C'est un groupe qui reste assez hétérogène, et qui rassemble, au-delà des alpages de Maurienne, presque tous les alpages qui occupaient déjà des situations intermédiaires dans les plans factoriels 1-2 des ACP précédentes : CHP, LAN et SAP, les alpages du côté arrosé des Ecrins (une exception cependant dans ces cas limites : GRI (Vercors) est dans cette analyse globale rattaché aux alpages de Tarentaise ; GRI est bien un alpage au climat « à part » pour le Vercors, et ressemble plutôt à ROS, PLA, BAL, AVA, CHM sur l'ensemble des variables retenues pour l'analyse.

Nous construisons une typologie d'exposition aux aléas climatiques des alpages à partir de ces 4 classes (Figure 73 et Tableau 10).

**Le type TARD**, regroupe les 6 alpages de la classe 1. Ce sont tous les alpages de Tarentaise (+ BAL), et GRI (Vercors). Ce sont des alpages **tardifs**, bien **arrosés**, et qui subissent de très **faibles niveaux de variabilité climatiques** (si ce n'est dans les excès de pluviométrie, que nous n'avons pas étudiés).

**Le type PREC** regroupe les 6 alpages de la classe 2. On trouve dans ce type les alpages du Vercors (sauf GRI) et de Chartreuse, **très précoces**, **peu exposés aux sécheresses**, mais subissant des **variations fortes dans la précocité** des végétations d'une année sur l'autre, et fortement exposés au **gel printanier**.

**Le type INTE** regroupe les 7 alpages de la classe 3. Ce sont les alpages de Maurienne et ceux du versant arrosé des Ecrins ; ils présentent des niveaux d'**exposition aux aléas climatiques intermédiaires** par rapport aux trois autres types ; leur exposition à la **sécheresse automnale** est ce qui les distingue le plus des autres alpages.

**Le type SECH** regroupe les 6 alpages de la classe 4. Ce sont les alpages du côté peu arrosé des Ecrins, connaissant les climats **les plus secs** et les plus fortes **variabilités en termes de sécheresse**. La **maturité s'étale** fortement dans le temps, et l'importance de cet **étalement varie** d'une année sur l'autre.



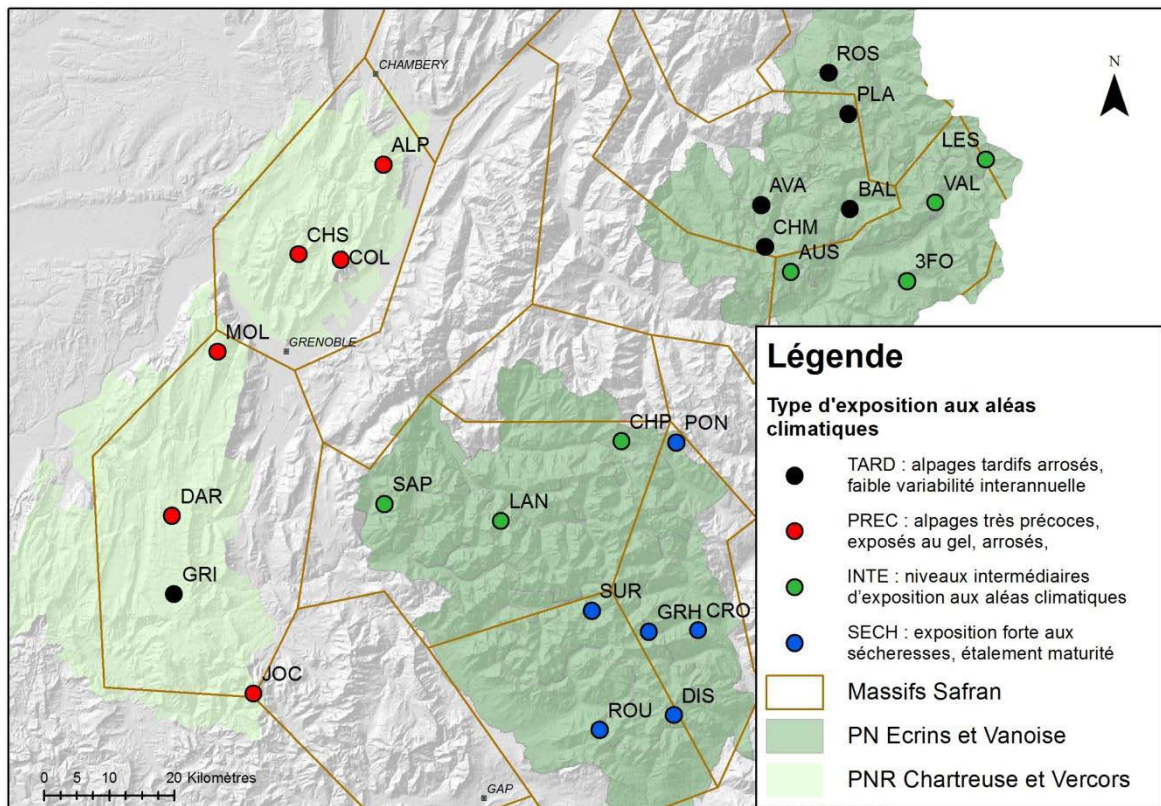
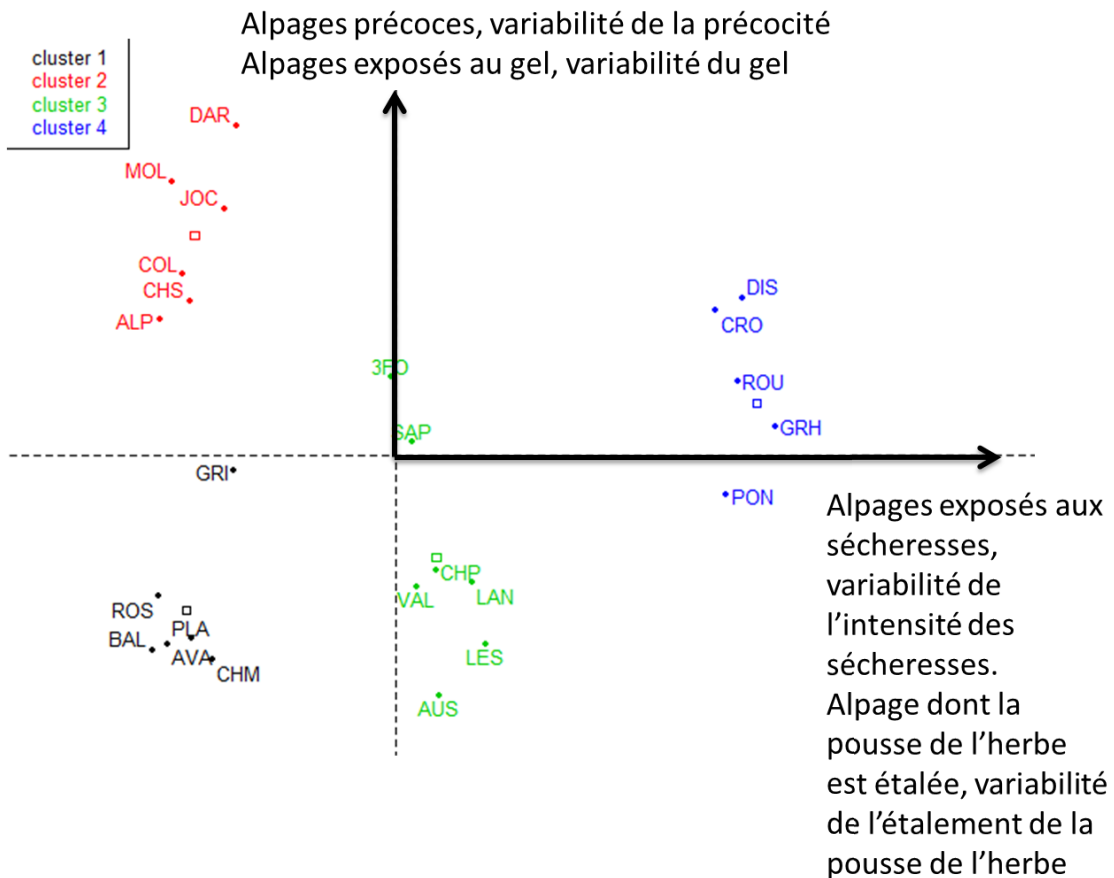


Figure 73 : Positionnement schématique des 4 types d'alpages à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des alpages selon la typologie.

		TARD : alpages tardifs arrosés, faible variabilité interannuelle	PREC : alpages très précoces, exposés au gel, arrosés,	INTE : niveaux intermédiaires d'exposition aux aléas climatiques	SECH : exposition forte aux sécheresses, étalement maturité
Précocité du printemps sur l'alpage	Moyenne	187	158	184	174
	Ecart-type	9	13	8	10
Étalement du printemps sur l'alpage	Moyenne	50	26	71	74
	Ecart-type	10	7	12	15
Exposition au gel printanier de l'alpage	Moyenne	0	5	2	1
	Ecart-type	1	5	2	3
Exposition au gel automnal sur l'alpage	Moyenne	4	5	5	5
	Ecart-type	4	4	4	6
Sécheresse de printemps	Moyenne	1	1	-1	-5
	Ecart-type	0	2	3	12
Sécheresse de juillet	Moyenne	-1	-6	-6	-16
	Ecart-type	4	14	12	20
Sécheresse d'août	Moyenne	1	1	-1	-11
	Ecart-type	1	0	4	17
Sécheresse de septembre	Moyenne	1	1	-1	-2
	Ecart-type	0	0	8	8

Tableau 10 : Valeur moyenne des variables d'exposition aux aléas climatiques au sein de chaque type

### 5.3.4 Caractérisation de l'exposition des exploitations aux aléas climatiques

Nous réalisons à présent un travail similaire pour les exploitations utilisatrices des alpages : il s'agit de caractériser et comparer leurs climats moyens et la variabilité de ces climats sur quelques indicateurs agrométéorologiques pertinents, pour caractériser leur exposition aux aléas climatiques. Nous mobilisons les mêmes méthodes statistiques (ACP, CAH) pour classer les exploitations les unes par rapport aux autres, mais adoptons néanmoins une démarche simplifiée. D'une part, contrairement au travail réalisé pour les alpages, ici il n'y a qu'un point de mesure par exploitation (utilisation de la grille SAFRAN 8 km) ; nous ne prenons donc pas en compte de l'hétérogénéité du climat au sein d'une exploitation, et ne recalculons pas d'indicateurs à l'échelle de l'unité de gestion à partir d'indicateurs à une échelle ponctuelle. D'autre part, parmi l'ensemble des aléas climatiques influençant la quantité ou la qualité de la ressource, ou la gestion de manière plus générale, nous avons effectué une sélection plus drastique, pour ne retenir que les indicateurs qui nous semblent les plus importants.

#### 5.3.4.1 Construction d'indicateurs agrométéorologiques sur les exploitations

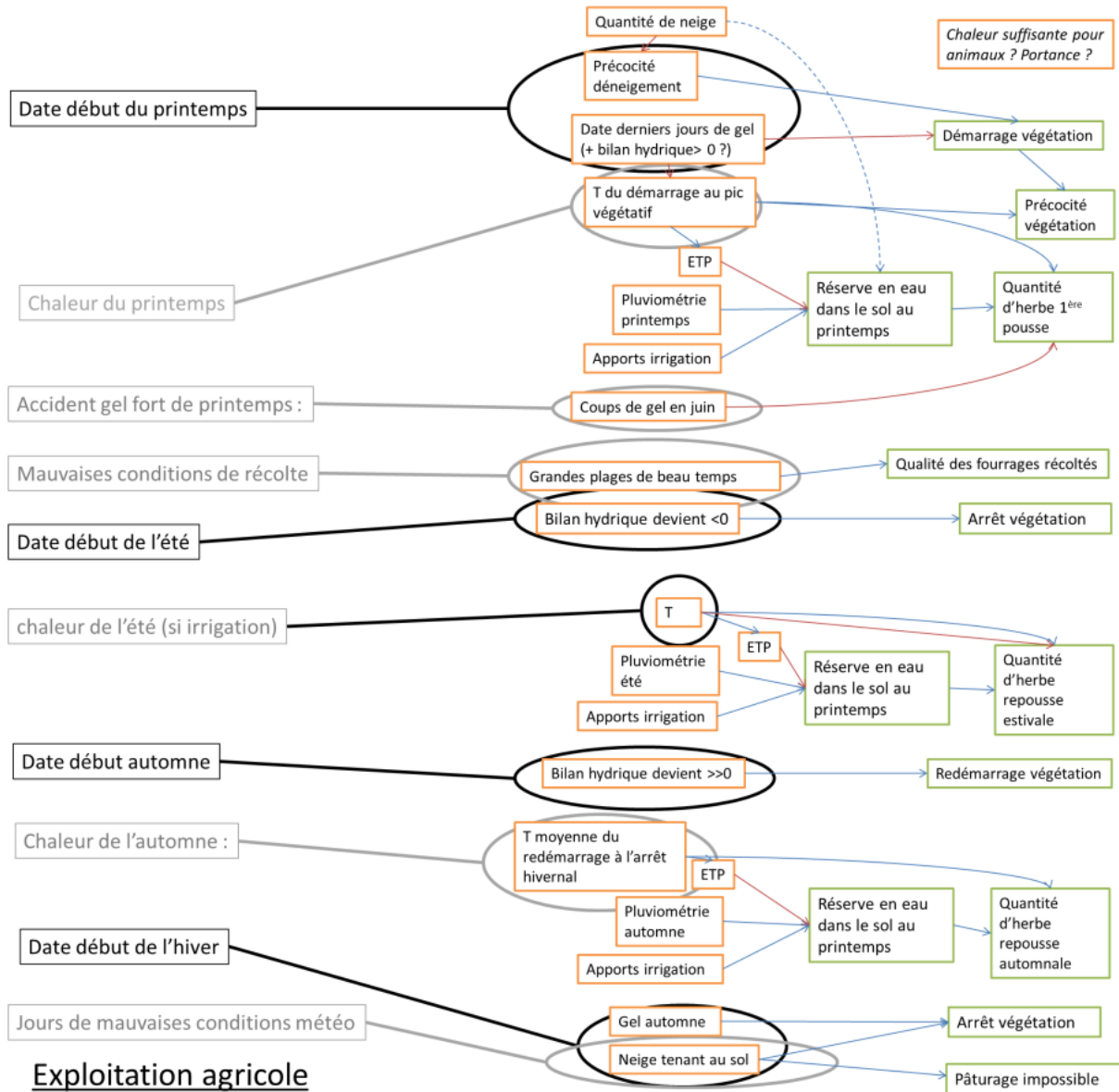
La carte causale a été construite pour les exploitations selon les mêmes principes que pour les alpages, en reliant des paramètres climatiques à leurs effets sur la végétation, la dynamique des végétations auxquelles nous nous sommes intéressés étant en lien avec le cadre d'analyse des saisons pratiques (Bellon et al. 1999) : démarrage et pousse printanière, pause durant la sécheresse estivale, reprise automnale, arrêt lié au froid hivernal. Ce qui va caractériser le climat des



Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

exploitations lorsqu'on se place dans ce cadre d'analyse, ce seront avant tout les dates de démarrage de ces saisons et leurs durées, ainsi que la variabilité interannuelle de ces dates et durées, qui constitueront les aléas majeurs (Figure 74).

- L'été correspond à la période où la réserve utile des sols est vide (sécheresse édaphique).
- L'hiver correspond à une période où la végétation ne pousse pas à cause du gel et/ou de l'enneigement du sol.
- Entre les deux se trouvent le printemps et l'automne où il y a de l'eau dans le sol et des températures positives, permettant la production de ressources fourragères.



## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

### Légende

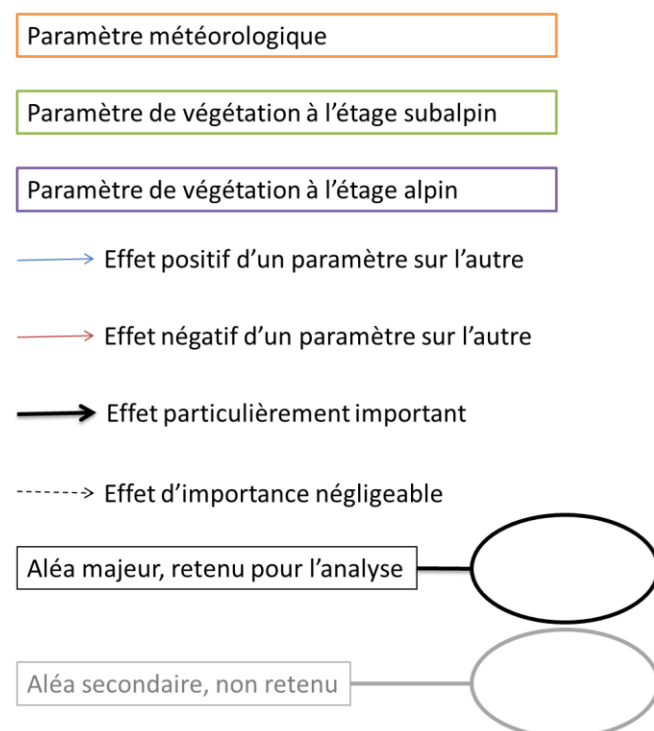


Figure 74 : Carte causale décrivant les effets de la météorologie sur la dynamique annuelle des ressources utilisées par les exploitations (hors alpages), et indicateurs agrométéorologiques associés

Pour déterminer ces dates, nous avons construit à dire d'expert les règles de décisions reportées dans le Tableau 11. On adopte ainsi une démarche assez proche de celle adoptée par Michel Etienne (Etienne M., com. pers., Favier 2014) pour l'analyse de la vulnérabilité des systèmes pastoraux méditerranéens, qui a aussi construit des indicateurs agrométéorologiques adaptés à ces systèmes, pour déterminer des dates de démarrage des différentes saisons de végétation à partir de données météorologiques quotidiennes. La démarche est également proche de celle de Sautier et al. (2013a, 2013b) qui ont défini les mêmes saisons-type dans différents contextes climatiques du Sud-Ouest de la France, non pas directement à partir de données météorologiques, mais à partir des sorties d'un modèle de croissance de la végétation (qui avait lui-même en entrée des données météorologiques).

Cela nous a conduits à adopter une démarche incrémentielle à partir de données quotidiennes, pour calculer jour après jour un bilan hydrique, suivre l'évolution du niveau de la réserve hydrique du sol et identifier le moment où cette réserve utile devient nulle (= début d'été) (Figure 75). Cela oblige à définir une valeur de réserve utile pour les sols. Or, comme sur les alpages, la diversité intra et inter exploitations est très importante. Mais contrairement aux alpages où mobiliser une valeur de réserve utile (RU) nous aurait servi à calculer un niveau de déficit hydrique, et où choisir une valeur de RU fautive nous aurait conduit à de mauvaises interprétations, ici il s'agit de déterminer une date où la réserve utile devient nulle et qu'il soit possible de comparer entre exploitations. Pour estimer l'exposition des exploitations et non leur sensibilité, il faut utiliser la même réserve utile pour toutes les exploitations. Que cette date ne soit pas la date exacte où la réserve utile devient nulle en moyenne sur tous les sols d'une exploitation n'est pas un problème. Nous avons donc posé l'hypothèse d'une réserve utile de 100 mm, qui est une valeur commune que l'on peut trouver pour l'ensemble de notre zone d'étude.

Nom de l'indicateur	Code de la variable	Mode de calcul de l'indicateur	Commentaires	Unité
Date début printemps	TTPS	Absence de neige et 7 jours successifs avec des températures minimales positives	Dans certaines situations il peut également ne pas y avoir d'hiver : on passe alors de l'automne au printemps le 1 <sup>er</sup> mars (printemps météorologique)	Jour julien
Date début été	TETE	7 premiers jours successifs de l'année civile avec une réserve utile (RU) nulle		Jour julien
Date début automne	TAUT	3 derniers jours successifs de l'année civile avec une réserve utile nulle	Dans certaines situations, il peut ne pas y avoir d'été (moins de 7 jours consécutifs avec une RU nulle : on passe alors directement du printemps à l'automne le 1 <sup>er</sup> septembre (automne météorologique)	Jour julien
Date début hiver	THIV	5 jours successifs avec de la neige tenant au sol ou des températures minimales négatives	Dans certaines situations l'hiver peut ne démarrer qu'en janvier ou février : on l'attribue alors à l'année antérieure. Par exemple pour un hiver démarrant le 15 janvier, la date de début hiver sera le jour 380 (381 si année bissextile)	Jour julien

Tableau 11 : règles de décision construites pour définir les dates de début de saison-pratiques

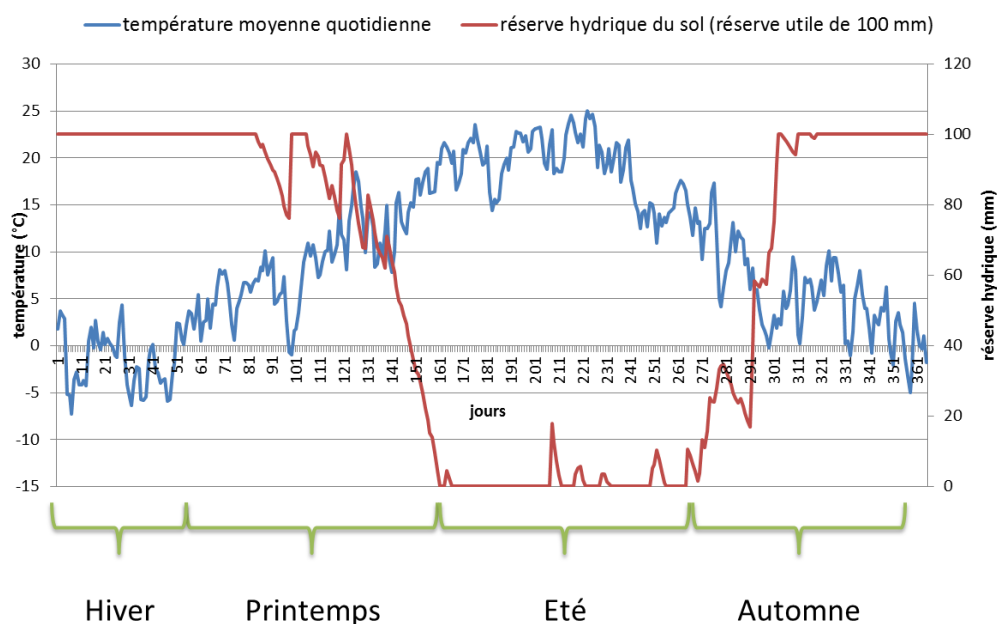


Figure 75 : Enchaînement des saisons-pratiques au cours d'une année civile en fonction de la température minimale et du bilan hydrique

D'autres indicateurs plus fins permettraient d'affiner la caractérisation des saisons-pratiques ou d'identifier des accidents climatiques en cours de saison ; par exemple construire des indicateurs s'appuyant sur les températures permettrait d'estimer la productivité sur une saison. Mais cela s'avérerait moins déterminant pour la gestion que la durée de ces saisons-pratiques. Nous n'avons pas non plus conservé les indicateurs qui ne présentent un intérêt que pour certaines exploitations (risque de fortes gelées sur les exploitations de haute montagne par exemple), ni les indicateurs impactant la gestion mais pas directement la dynamique de la végétation (mauvais temps, qui va contraindre la conduite du pâturage, et augmenter le risque de faire les récoltes dans de mauvaises conditions).

Les dates de début de saisons-pratiques servent de base pour définir des indicateurs agrométéorologiques permettant de caractériser le climat des exploitations et leur exposition aux aléas climatiques, et les variables associées servant pour les analyses multivariées (ACP, CAH sur composantes principales). On cherche à construire des indicateurs qui ont un sens par rapport à la gestion des aléas, tout en tenant compte de deux contraintes inhérentes au mode de calcul des indicateurs :

- Il n'y a pas nécessairement tous les ans et pour toutes les exploitations un début d'hiver et un début d'été, ce qui empêche de calculer sur ces dates une moyenne qui ait du sens.
- Lorsqu'il n'y a pas d'hiver ou pas d'été, la date respectivement de début de printemps ou de début d'automne est fixée arbitrairement à une date fixe. Cela risque de biaiser les calculs d'amplitude, car cela peut borner les valeurs minimales ou maximales dans de nombreux cas. Pour cette raison nous ne calculons que les écarts-type des indicateurs définis, et pas leur amplitude. Nous avons donc une estimation de la variabilité des indicateurs, mais pas des valeurs extrêmes qui peuvent être atteintes.

Nous définissons donc quatre indicateurs en lien avec ces saisons-pratiques, correspondant aux aléas considérés comme majeurs pour les exploitations, et qui vont jouer sur les capacités à ajuster les pratiques à l'interaction entre alpage et exploitation. Pour les saisons-pratiques d'été et d'hiver, nous choisissons de calculer les durées de ces saisons, ce qui correspond bien à la sévérité ressentie de la sécheresse estivale et à celle de la période de froid hivernal, autrement dit les durées sans production de ressource. Pour les saisons-pratiques de printemps et d'automne, où il y a production de ressource, nous utilisons les dates de début de saison, car en termes d'aléas il s'agit surtout de gérer la précocité (l'avance ou le retard) d'une saison et du développement de la végétation associé.

En règle générale, l'hiver est à cheval sur deux années civiles. Pour une année  $n$  donnée, nous attribuons à cette année  $n$  la durée de l'hiver à cheval sur la fin de l'année  $n$  et le début de l'année  $n+1$ , puisque durant cet hiver seront consommées des ressources produites pendant l'année  $n$ . Parfois, l'automne de l'année  $n$  peut aussi être à cheval sur la fin de l'année  $n$  et le début de l'année  $n+1$  : dans cette situation, l'hiver de l'année  $n$  (s'il y en a un) sera complètement situé sur le début de l'année  $n+1$ .

#### ***5.3.4.2 Analyse statistique et construction d'une typologie d'exposition aux aléas climatiques des exploitations***

Pour chaque exploitation, qui constitue un individu des analyses multivariées, nous calculons la moyenne et l'écart-type de ces quatre indicateurs (Tableau 12) sur la même période temporelle que celle mobilisée pour la caractérisation du climat des alpages, à savoir les 13 années de 2000 à 2012.

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Ces valeurs constituent les variables utilisées dans les ACP et les CAH. Ces analyses statistiques sont présentées de manière détaillée en annexe 1. Nous ne présentons ici que les principaux enseignements que nous en tirons, en particulier le classement des CAH.

Variable		Code de la variable	Unité	
Durée de la sécheresse estivale	Moyenne	moy_duree_secheresse_estivale	Nombre de jours Plus la valeur est élevée, plus la période dure longtemps (plus l'aléa est fort)	
	Ecart-type	var_duree_secheresse_estivale		
Durée de la période de froid hivernal	Moyenne	moy_duree_froid_hivernal		
	Ecart-type	var_duree_froid_hivernal		
Précocité de la date de démarrage printanier de la végétation	Moyenne	moy_precocite_printemps		Jours Julien Plus la valeur est élevée, moins la précocité est importante/plus la situation est tardive
	Ecart-type	var_precocite_printemps		
Précocité de la date de démarrage automnal de la végétation	Moyenne	moy_precocite_automne		
	Ecart-type	var_precocite_automne		

Tableau 12 : Variables définies pour les ACP de caractérisation de l'exposition aux aléas climatiques sur les 34 exploitations de l'échantillon

Une analyse des coefficients de corrélation linéaire entre les moyennes et les écarts-types de ces indicateurs pour les différentes exploitations fait apparaître que les indicateurs corrélés pour les moyennes et ceux corrélés pour la variabilité ne sont pas les mêmes (Annexe 1). Ainsi la durée moyenne de l'hiver et la précocité moyenne du printemps sont - assez logiquement - très fortement corrélés : les exploitations subissant en moyenne les hivers les plus longs sont celles qui ont en moyenne les printemps les plus tardifs et inversement. En revanche, les exploitations subissant des hivers de longueurs variables ne sont pas forcément celles qui ont les plus grandes variabilités dans la précocité du printemps : on peut supposer que dans les situations où la durée de l'hiver est variable, cela tient beaucoup à la variabilité de la date du démarrage de l'hiver. Enfin les corrélations sont fortes entre la durée de la sécheresse estivale et la précocité de l'automne, que ce soit en termes de moyenne ou de variabilité.

### 5.3.4.2.1 Comparaison des climats « moyens » des exploitations

L'intérêt d'une ACP lorsqu'il n'y a que quatre variables (dont certaines sont fortement corrélées) est sans doute assez limité ; néanmoins dans le souci d'adopter une méthode homogène pour tous les traitements statistiques nous associons systématiquement une ACP et une CAH sur composantes principales (Annexe 1).

LA CAH nous permet de distinguer les quatre classes suivantes (Figure 76) :

- la première classe rassemble 5 exploitations. Elle est caractérisée d'abord par une sécheresse estivale marquée en moyenne et un hiver assez court. Cette classe connaît aussi (assez logiquement) un printemps plus précoce que la moyenne de l'échantillon d'exploitation et un automne qui démarre plus tardivement. Ce groupe rassemble deux types de situations assez différentes : les exploitations méditerranéennes avec des étés très longs et des hivers réduits (GRI-ML, CHP-LA, LAN-PC), et deux exploitations situées l'une en moyenne montagne dans les Préalpes du sud (PON-LM) et l'autre en plaine au pied du Vercors (DAR-GR), et qui subissent des étés moins marqués et des hivers plus longs.
- La seconde classe rassemble 10 exploitations caractérisées par un printemps en moyenne plus précoce que pour l'ensemble de l'échantillon, un automne qui démarre plus tôt, et un

hiver plus court. Ce sont des exploitations de montagne situées sur le versant sec (vallée interne) du massif des Ecrins.

- La troisième classe est composée de 4 exploitations, qui se distinguent des autres par un automne qui démarre plus tardivement. Ces exploitations sont situées en plaine (COL-PV) ou sur les contreforts des massifs des Alpes du Nord (JOC-TL, CHS-BO, ALP-BP). Comparativement aux autres groupes, ces exploitations subissent à la fois des hivers de durée limitée et des sécheresses estivales limitées. On peut dire que c'est un groupe qui aura 4 saisons différentes bien marquées, en moyenne.
- La quatrième classe regroupe 15 exploitations, caractérisées par un hiver long, des sécheresses estivales courtes, et leurs corollaires que sont un printemps tardif et un automne précoce. Il est composé des exploitations situées en Vanoise, ou situées en montagne sur des massifs arrosés (Vercors, versants ouest et nord arrosé des Ecrins). A noter qu'une partition supplémentaire de ce groupe aurait conduit à distinguer les exploitations de Maurienne, vallée interne de Vanoise, aux sécheresses plus marquées) (BAL-FM, AUS-GL, AUS-JD, 3FO-DJ, BES-CB, VAL-SV), des autres.

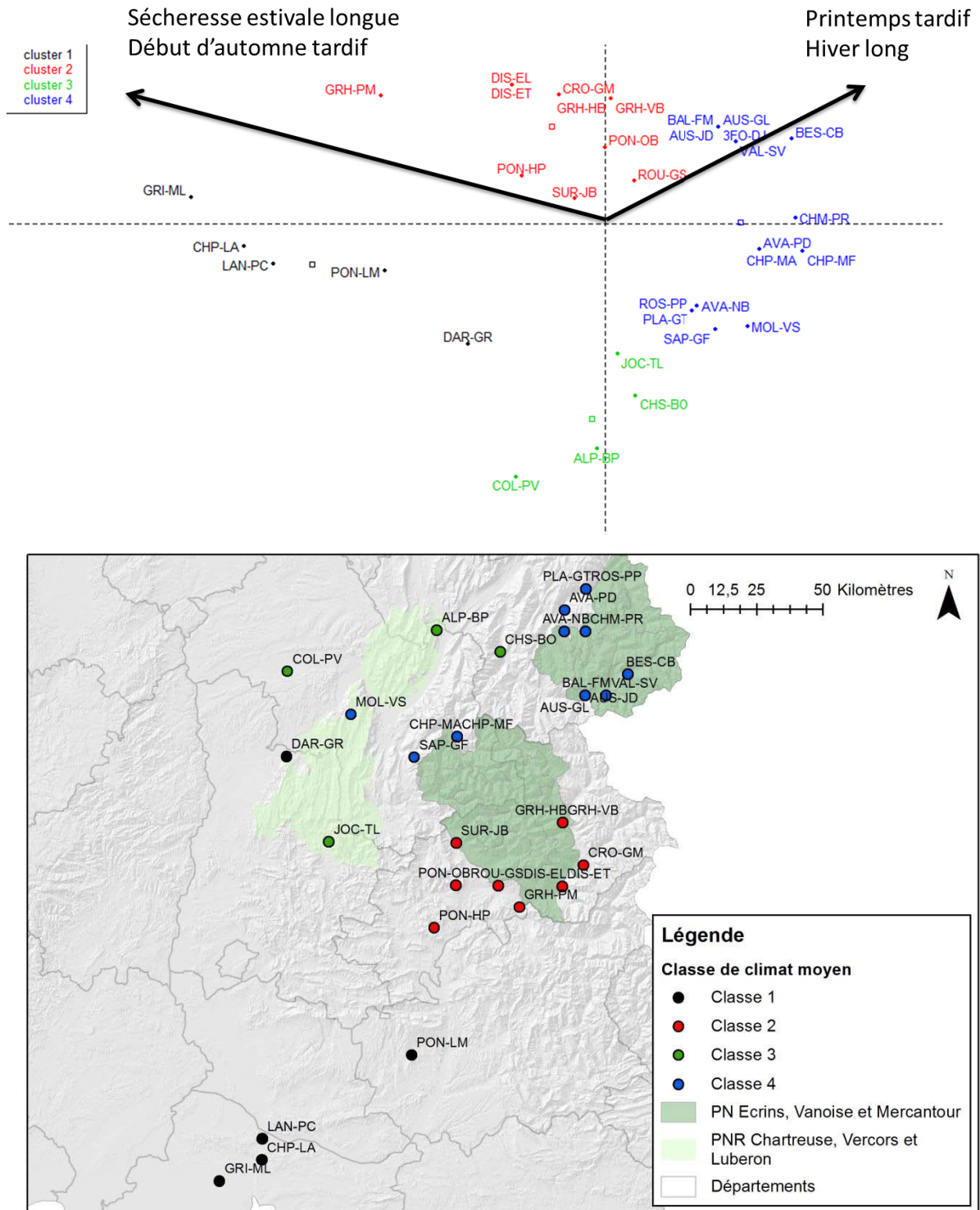


Figure 76 : Positionnement schématique des exploitations selon les 4 classes de climats moyens à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des exploitations selon leur classe dans la CAH (localisation du point SAFRAN retenu pour l'analyse)

Pour les exploitations situées au cœur des massifs, près des alpages, on retrouve des classements proches du classement du climat moyen des alpages (même si les regroupements peuvent être légèrement différents) : distinction forte entre l'Est et le Sud des Ecrins, sec et pas trop tardif au printemps, et les autres montagnes, plus arrosées. La précocité des alpages du Vercors et de



## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Chartreuse, qui s'explique pour beaucoup par une altitude moindre des alpages, ne se retrouve pas sur les exploitations, qui sont situées à différentes altitudes sur tous les territoires.

Différentes exploitations localisées en situation intermédiaire dans l'échantillon entre les exploitations montagnardes et les exploitations méditerranéennes (plaine en Rhône-Alpes, moyenne montagne, Préalpes du sud), et ayant un caractère assez pastoral (OB, HP, LM, TL, GR, BP, PV) apparaissent rattachées à des groupes différents. LM, en Provence et GR, dans le Royans à l'ouest du Vercors, sont rattachées aux 3 exploitations de Crau clairement méditerranéennes ; OB et HP, situées en moyenne montagne au sud-ouest des Hautes-Alpes, sont rapprochées des exploitations de montagne du versant sec des Ecrins, TL (contrefort Sud du Vercors dans le Diois), BP (Contrefort de Chartreuse) et PV (plaine en Isère) sont regroupées. On perçoit, au travers de ces cas, comment les variations d'altitude et de latitude peuvent jouer pour expliquer des différences climatiques. On voit aussi la limite de l'utilisation de la grille SAFRAN à 8 km et la non prise en compte du relief : OB et HP sont situées sur des adrets et subissent un climat plus chaud que s'ils étaient à plat. Au regard de leurs calendriers de pâturage on les aurait plutôt rattachées à LM. On voit enfin l'effet de la population utilisée dans l'analyse : PV est la seule exploitation de plaine au nord de la zone (GR, en plaine également un peu plus au sud, bénéficie d'un climat plus clément). Etant seul, il a été rattaché à la classe d'individus le plus semblable. Si nous avions eu plusieurs exploitations de plaine en Nord-Isère ou en Savoie, il est probable qu'une classe spécifique serait apparue.

Sur l'ACP si les tendances permettent clairement de distinguer un axe de classement lié à la longueur de l'hiver et un axe lié à la durée de la sécheresse estivale, le regroupement effectué tient beaucoup au choix et au nombre de variables retenues pour l'analyse. Au-delà du regroupement, on peut aussi s'intéresser au positionnement relatif des exploitations sur les axes et aux proximités entre exploitations sur le plan factoriel 1-2 (qui explique près de 100% de la variance) (Figure 76).

### 5.3.4.2.2 Comparaison de la variabilité climatique sur les exploitations

Si l'on s'intéresse à la variabilité climatique selon les mêmes indicateurs agrométéorologiques, on a là aussi des variables fortement corrélées deux à deux, mais ce ne sont pas les mêmes couples d'indicateurs agrométéorologiques que pour les moyennes. L'écart-type de la durée de la sécheresse automnale est corrélé à celui de la date de début d'automne, et l'écart-type de la durée de l'hiver est corrélé à celui de la date de début de printemps. Cela signifie que les exploitations dont la sécheresse estivale varie beaucoup ont également des dates de début d'automne qui varient beaucoup. Ces différences de corrélation entre valeurs moyennes et écarts-type des indicateurs agrométéorologiques sont assez logiques. Par exemple, dans le cas d'un climat moyen chaud, le printemps sera précoce, et l'été long. Dans le cas d'un climat où la durée de la sécheresse est variable, cette variabilité pourra se répercuter sur la date de début de l'été (que l'on n'a pas conservée comme indicateur) et sur la date de début de l'automne. Mais elle n'a pas de lien a priori avec la variabilité de la date de début de printemps.

Il est également intéressant de noter que les 4 variables ne sont pas toutes corrélées : les exploitations ne sont pas réparties sur un seul axe opposant des cas où tous les paramètres varient beaucoup et d'autres où aucun ne varie. Autrement dit il n'y a pas des climats stables et d'autres variables, mais des climats qui ne varient pas sur les mêmes aléas.

Lorsqu'on s'intéresse à la variabilité climatique, les positions relatives des exploitations apparaissent assez différentes des positions qu'elles ont en termes de climat moyen. Le graphique des gains



d'inertie suggère un classement en quatre classes (Figure 77). Des exploitations qui bien que très proches géographiquement, se retrouvent dans des classes différentes à l'issue de la CAH :

- La classe 1 regroupe 9 exploitations. Cette classe est caractérisée par une variabilité faible dans la date de début d'automne et dans la durée de la sécheresse estivale et une variabilité importante dans la durée de l'hiver et dans la précocité du printemps. Ce groupe est constitué de 8 exploitations de montagne arrosée (Vanoise, Ouest des Ecrins et Vercors) et une exploitation de plaine en Isère (COL-PV), qui subissent peu de variabilité sur le plan des sécheresses (il fait rarement sec, et jamais longtemps). Le mode de construction de l'indicateur de date de début d'automne peut accentuer la faible variabilité de cet indicateur (date fixe lorsqu'il n'y a pas de sécheresse estivale).
- la classe 2 comprend 4 exploitations. Elle est caractérisée par une faible variabilité de la date de début de l'automne et du printemps, et une faible variabilité dans la durée des sécheresses estivales. Ce sont 2 exploitations du Haut Oisans (Nord arrosé des Ecrins) et de deux exploitations de Tarentaise (versant arrosé de Vanoise) caractérisées par une très faible variabilité climatique, sauf pour la durée de l'hiver (donc la durée varie uniquement avec la variation des dates de fin de l'automne).
- La 3<sup>ème</sup> classe rassemble 5 exploitations caractérisées par une forte variabilité dans la date de démarrage du printemps et dans la longueur de l'hiver. Ce sont 4 exploitations de moyenne montagne plutôt au sud (Hautes-Alpes, Alpes de Haute Provence) et 1 exploitation de plaine plutôt au nord (Nord Drôme). Ces exploitations connaissent en fait de la variabilité pour tous les indicateurs, mais avec des niveaux de variabilité limités par rapport aux autres groupes.
- la 4<sup>ème</sup> classe rassemble 16 exploitations. Cette classe est caractérisée par une variabilité importante de la date du démarrage de l'automne et de la durée de la sécheresse estivale, deux variables liées, et par une variabilité faible de la précocité du printemps et de la durée de l'hiver. On a dans ces 17 exploitations les 3 exploitations de plaine méditerranéennes (qui constituent une sous-classe de la CAH si l'on poursuit la partition), subissant une très forte variabilité interannuelle dans la durée des sécheresses (qui sont toujours très longues, alors que l'hiver est très peu marqué), et 15 exploitations des vallées sèches internes de Vanoise (Maurienne) et des Ecrins, ainsi qu'une exploitation du Gapençais (vallée interne également), avec une variabilité moindre des sécheresses estivales (qui sont moins longues, avec des hivers plus marqués).

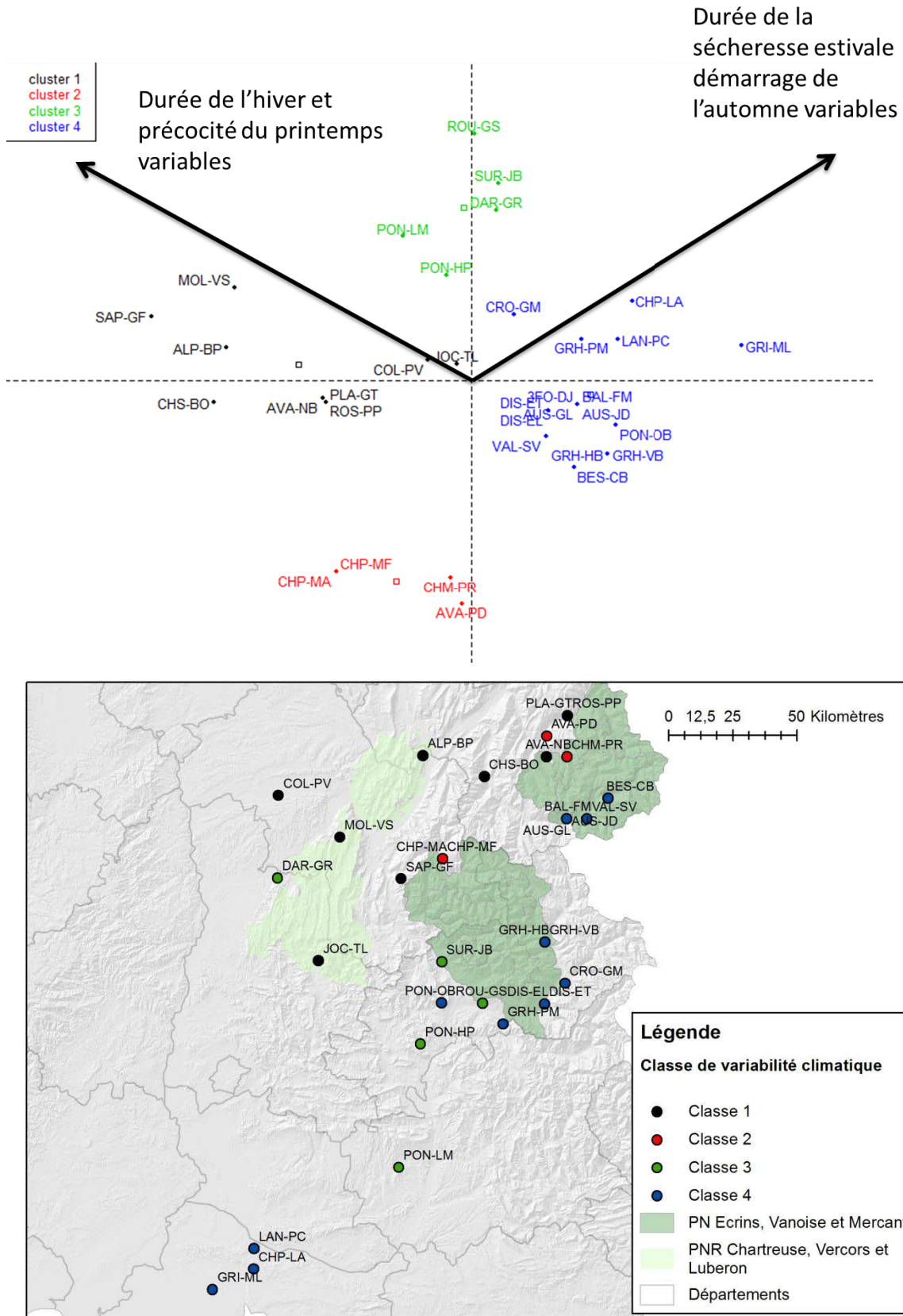


Figure 77 : Positionnement schématique des exploitations selon les 4 classes de variabilité climatique à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des exploitations selon leur classe dans la CAH (localisation du point SAFRAN retenu pour l'analyse)

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Il est intéressant de constater que ce qui regroupe les exploitations des différentes vallées internes des Alpes du Nord et du Sud, connues pour leur forte exposition à la sécheresse estivale, ce n'est pas tant le niveau moyen des sécheresses, qui est plus élevé au sud (Ecrins) qu'au nord (Vanoise) en termes de durée, que le niveau de variabilité climatique sur l'aléa sécheresse. Au sein des exploitations situées dans les massifs, pour des climats moyens proches, on observe de grandes différences dans la variabilité climatique.

Pour la plupart des exploitations, on retrouve assez bien dans le classement issu des deux CAH (moyenne et variabilité) les calendriers de pâturage et leur variabilité interannuelle et les perceptions qu'ont les agriculteurs de leurs climats, mais il existe quelques cas de dissonance. Ainsi les exploitations de la classe 2 de la CAH variabilité, correspondent bien à des exploitations pour lesquelles les calendriers de pâturage sont assez fixes d'une année sur l'autre (et les variations ne sont pas liées à des considérations climatiques). L'exploitation JB en revanche a été classée avec des exploitations subissant une variabilité importante ; or tant le calendrier de pâturage sur cette exploitation que la perception qu'a l'éleveur du climat traduisent une plus faible variabilité interannuelle, en particulier dans la précocité du printemps, et une proximité avec les exploitations au climat moins variables comme MA et MF. L'exploitation JB est située à une altitude relativement faible (1000 – 1100 m), mais au fond d'une vallée très encaissée, peu ensoleillée, avec des parcours en ubac, et où les conditions climatiques sont particulièrement fraîches (Valgaudemar). Cet exemple illustre bien la limite de la grille SAFRAN à 8Km en montagne : (1) dans la zone de l'exploitation JB, la plupart des points SAFRAN sont situés à très haute altitude, et nous avons dû choisir un point assez éloigné de l'exploitation pour être à l'altitude de l'exploitation, et ce point est moins au cœur de la vallée ; (2) la non prise en compte du relief dans la caractérisation du climat des exploitations (dans ce cas précis toutefois, le modèle SAFRAN Massif n'aurait peut-être pas fait mieux car les ombres portées des montagnes et la fraîcheur liée à l'encaissement ne sont pas modélisées).

L'éloignement de certains points de l'exploitation peut aussi expliquer le classement dans deux types différents les exploitations de Tarentaise dont les calendriers de pâturage sont assez proches tous les ans.

Ces différences de classement des exploitations selon que l'on regarde les valeurs moyennes ou la variabilité de leurs climats nous conduisent à réaliser des analyses multivariées de synthèse avec les 8 variables de caractérisation du climat (4 valeurs moyennes + 4 écarts-types).

### 5.3.4.2.3 Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques sur les exploitations

On notera dans l'ACP (Annexe 1) que les durées moyennes des sécheresses et l'écart-type de la durée des sécheresses sont très corrélées : les exploitations qui subissent les sécheresses les plus longues en moyenne sont aussi celles qui subissent le plus de variabilité dans la durée des sécheresses. En revanche la durée moyenne de l'hiver n'est pas corrélée à l'écart-type de la durée de l'hiver. La durée de l'hiver ne présage donc en rien de la variabilité interannuelle de cette durée.

Le graphique des gains d'inertie suggère un classement en cinq classes dans la CAH :

- La classe 1 rassemble 4 exploitations. Ces exploitations sont caractérisées par des dates de début d'automne et de printemps peu variables, des durées de sécheresses estivales peu variables et courtes en moyenne, et enfin un automne qui démarre tôt et un printemps qui

démarre tard. Cette classe rassemble des exploitations situées haut en altitude : celles du Haut Oisans et les plus hautes de Tarentaise.

- La classe 2 rassemble 9 exploitations caractérisées par un automne précoce dont la date de début varie peu, en lien (cf. biais probable de construction de l'indicateur de début d'automne évoqué plus haut) avec des sécheresses courtes et variant peu, et enfin par un printemps dont la date de démarrage varie plus que la moyenne de l'échantillon, tout comme la durée de l'hiver. Cette classe rassemble les exploitations de moyenne montagne des Alpes du Nord (Chartreuse, Vercors, Vanoise).
- La classe 3 est caractérisée par un printemps dont la date de début varie fortement d'une année sur l'autre, et qui est en moyenne tardif. La durée de l'hiver est longue, l'automne est tardif et son démarrage est variable. Cette classe regroupe 12 exploitations de montagne dans les vallées internes des Ecrins et de Vanoise (Maurienne).
- La classe 4 est caractérisé par une forte variabilité dans la durée de l'hiver, la date de démarrage du printemps, et de l'automne. Cette classe regroupe 6 exploitations situées dans les Alpes du Sud (y compris le Sud et le Sud-Ouest du massif des Ecrins) ou en plaine (Drôme).
- La classe 5 est caractérisée d'abord par des sécheresses longues et des hivers courts, avec leurs corollaires que sont des printemps précoces et des automnes tardifs en moyenne. ils sont enfin caractérisés par un niveau élevé de variabilité dans la durée de la sécheresse estivale et de l'hiver. Cette classe regroupe les 3 exploitations de plaine des Bouches du Rhône.

Par rapport aux deux analyses multivariées précédentes, cette dernière analyse fait davantage ressortir la particularité des exploitations méditerranéennes ; elle met aussi en avant la proximité du climat des différentes vallées internes. Elle interroge cependant le regroupement des exploitations situées au sud des Ecrins. Proches géographiquement, ces exploitations sont rattachées pour partie aux exploitations des vallées internes et pour parties à celles des Préalpes sous influence méditerranéennes, sans que des différences d'altitude ne paraissent expliquer le classement (voir commentaires dans les sections précédentes 5.3.3.2.1 et 5.3.3.2.2).

Nous construisons une typologie d'exposition aux aléas climatiques des alpages à partir de ces 4 classes (Figure 78 et Tableau 13).

**Le type *hiver++*** regroupe 4 exploitations de haute-montagne, exposées à des **hivers très longs**, des **printemps toujours tardifs**

**Le type *hiver-var*** regroupe 9 exploitations de moyenne montagne dans les Alpes du Nord. Les **hivers sont longs** (mais moins que pour le type CHM-PR), **la précocité du printemps est plus variable**.

**Le type *hiver+sech*** regroupe 12 exploitations des vallées internes. Le **printemps est de précocité variable, assez tardif** en moyenne néanmoins, et la **sécheresse estivale peut durer** sur l'automne. En termes de durée des **sécheresses**, ils occupent une position **intermédiaire** entre les exploitations arrosées des Alpes du Nord et celles plus sèches des alpes du sud et de méditerranée. Les sécheresses sont caractérisées par une variabilité interannuelle importante. La durée des saisons est donc variable.

**Le type *equi-var*** regroupe 6 exploitations situées au sud du massif Alpin (Préalpes du Sud) ou en plaine dans la Drôme. L'influence méditerranéenne se fait plus sentir qu'au cœur du massif ; ces

Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

exploitations connaissent ainsi **4 saisons équilibrées en moyenne**, avec une **forte variabilité interannuelle** en toute saison.

**Le type *sech++*** regroupe les 3 exploitations de plaine méditerranéenne, caractérisées par des **sécheresses de durée variable** mais toujours **bien marquées**, des **hivers très courts**.

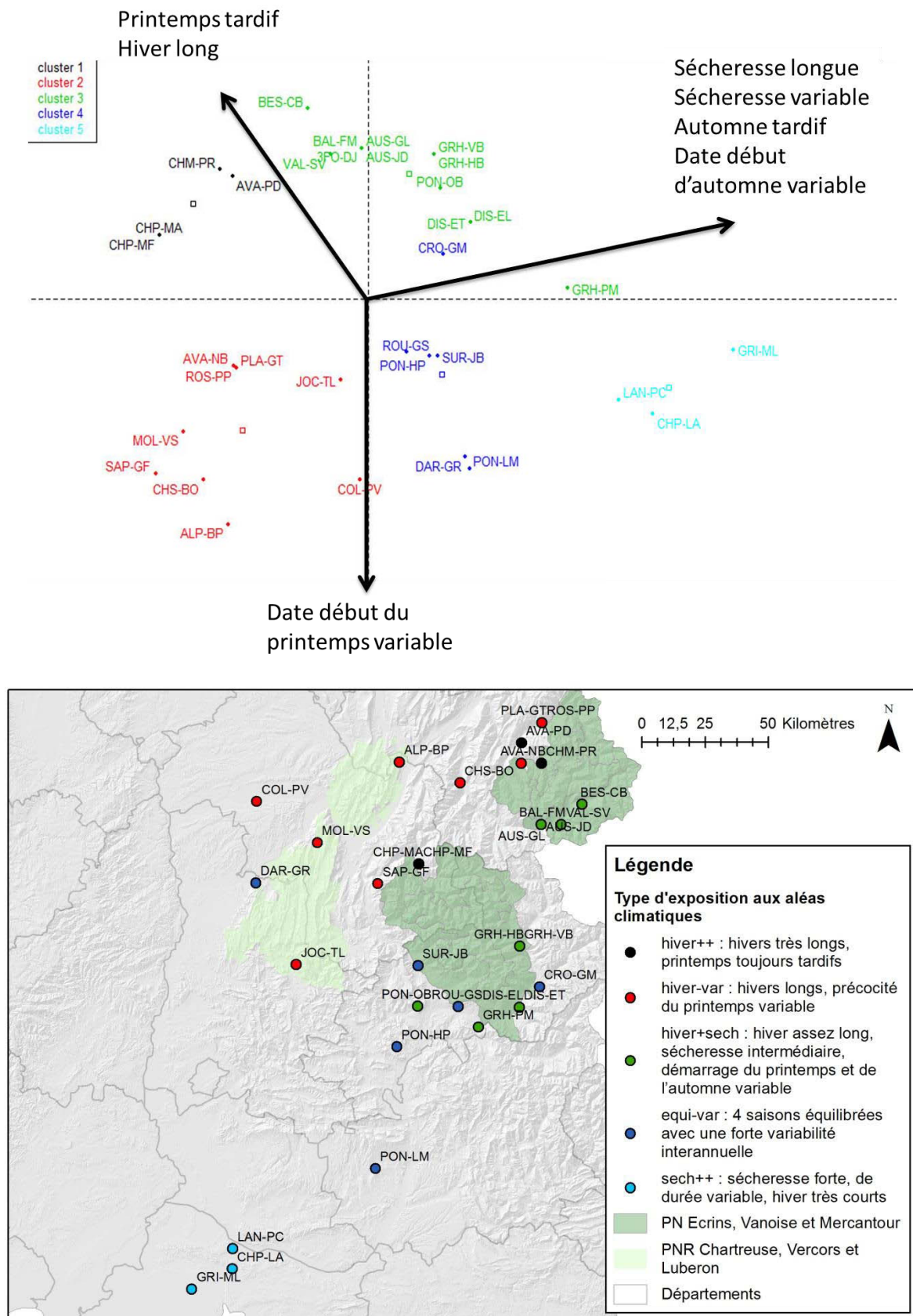


Figure 78 : Positionnement schématique des exploitations selon leur type d'exposition aux aléas climatiques à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des exploitations (localisation du point SAFRAN retenu pour l'analyse)

Type d'exposition	<i>hiver++</i> : hivers très longs, printemps toujours tardifs	<i>hiver-var</i> : hivers longs, précocité du printemps variable	<i>hiver+sech</i> : hiver assez long, sécheresse intermédiaire, démarrage du printemps et de l'automne variable	<i>equi-var</i> : 4 saisons équilibrées avec une forte variabilité interannuelle	<i>sech++</i> : sécheresse forte, de durée variable, hiver très courts
Variables					
Durée moyenne sécheresse estivale (nombre de jours)	5	10	57	69	147
Ecart-type durée sécheresse estivale (nombre de jours)	13	17	34	37	49
Moyenne durée froid hivernal (nombre de jours)	185	122	172	116	19
Ecart-type durée froid hivernal (nombre de jours)	19	30	21	32	13
Moyenne précocité printemps (jours juliens)	118	74	109	77	33
Ecart-type précocité printemps (jours juliens)	12	27	14	27	24
Moyenne précocité automne (jours juliens)	244	243	264	262	272
Ecart-type précocité automne (jours juliens)	8	10	22	24	24

Tableau 13 : Valeurs moyennes et écarts-types des variables par type d'exposition aux aléas climatiques des exploitations

### 5.3.5 Synthèse : vers une analyse de l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations

#### 5.3.5.1 Mise en regard des deux typologies d'exposition aux aléas climatiques

Le croisement de la typologie d'exposition aux aléas climatiques établie pour les alpages (Figure 73) avec celle établie pour les exploitations (Figure 78) fait ressortir plusieurs différences en termes de répartition spatiale dans les types :

Les alpages de type PREC sont tous situés dans les massifs subalpins des Alpes du Nord. Ils apparaissent bien distincts des autres alpages, de par leur précocité et le faible étalement de la maturité (lié à une altitude moindre et un moindre étalement altitudinal). Ces spécificités des alpages ne se retrouvent pas sur les exploitations situées sur ces mêmes territoires (ALP-BP, MOL-



## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

VS,JOC-TL), dont l'altitude n'est pas systématiquement plus basse que celle d'autres exploitations. Les caractéristiques des exploitations de ces massifs correspondant à un climat arrosé apparaissent alors proches de celles des exploitations de moyenne montagne des versants arrosés des Alpes du Nord (*hiver-var* : AVA-NB, PLA-GT, ROS-PP, CHS-BO). Ce type comprend aussi une exploitation de plaine du Nord-Isère (COL-PV), assez différente, mais rattachée à ce type qui reste le plus proche de sa situation.

Sur les alpages, la typologie que nous avons établie laisse apparaître par ailleurs un gradient d'intensité de la sécheresse entre (1) les types TARD et PREC, que l'on trouve en Tarentaise (vallée arrosée de Vanoise) et dans les massifs subalpins des Alpes du Nord (Chartreuse et Vercors) (niveaux d'expositions très proches entre les deux types), (2) le type INTE, que l'on trouve en Maurienne (vallée sèche de Vanoise) et sur le versant Nord-Ouest des Ecrins, et (3) le type SECH, que l'on trouve dans les vallées internes de l'Est et du Sud des Ecrins (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, en olonnes). Sur les exploitations, on retrouve un tel gradient, mais qui s'organise différemment selon les territoires au sein du massif alpin (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, en lignes) : (1) le type *iver++*, que l'on trouve dans le Haut Oisans (Nord arrosé des Ecrins) et en Haute Tarentaise, (2) le type *hiver-var*, évoqué précédemment, qui regroupe une grande diversité de situations de moyennes montagnes arrosées des Alpes du Nord (+ une exploitation de plaine du Nord-Isère), (3) le type *hiver+sech*, qui regroupe les situations de vallées internes de Vanoise (Haute Maurienne) et des Ecrins, (4) le type *equi-var*, qui regroupe les exploitations « du sud » (Alpes du Sud, plaine en Drôme, quelques exploitations du sud des Ecrins), et (5) le type *sech++*, que l'on trouve en plaine méditerranéenne (zone pour laquelle il n'y a évidemment pas d'alpage et de classement dans la typologie d'alpage : ce sont tous des grands transhumants). Ainsi à l'étage des alpages, la proximité géographique semble prédominer pour le classement des individus, ainsi que la configuration, qui n'est pas indépendante de la position géographique (altitude et étagement altitudinal liés au relief). Pour les exploitations à l'inverse, la distinction entre vallées externes arrosées et vallées internes sèches, d'une part, et l'influence méditerranéenne d'autre part, semblent prédominer.

Ces différences de classement entre alpages et exploitations peuvent en partie résulter de biais méthodologiques : données sources issues de deux sorties différentes de SAFRAN et surtout comme les aléas s'expriment différemment, ce ne sont pas les mêmes indicateurs qui sont calculés. Mais ces différences s'expliquent principalement par le fait qu'en Maurienne, où le niveau des précipitations est plus faible qu'en Tarentaise ou dans l'Oisans, à l'altitude des alpages ce niveau est suffisant pour que le bilan hydrique ne soit que très rarement négatif, ce qui atténue le caractère sec de vallée interne, et rend les alpages de Maurienne plus proches des alpages de Tarentaise que de ceux des vallées internes des Ecrins. De ce fait il semblerait qu'à haute altitude l'influence des caractéristiques locales du climat (exposition des vallées aux flux océaniques d'ouest notamment) soit atténuée au profit d'influences climatiques d'échelles plus vastes (Alpes du Nord vs. Alpes du Sud par exemple).

Analyser l'exposition aux aléas climatiques d'un système alpage-exploitations oblige bien à porter un regard à la fois sur le climat des alpages et sur celui des exploitations qui l'utilisent, même lorsque les exploitations sont situées à proximité immédiate des alpages. Les indicateurs agrométéorologiques peuvent être différents entre alpages et exploitations, et les grandes tendances des climats locaux peuvent avoir des conséquences agronomiques différentes selon les altitudes. Analyser l'exposition aux aléas climatiques d'un système alpage-exploitations oblige donc à croiser l'exposition aux aléas climatiques sur les alpages et l'exposition aux aléas climatiques sur les exploitations (Figure 79).



		Type d'exposition aux aléas climatiques en alpage					
		← Gradient de sécheresse ←					
Type d'exposition aux aléas climatiques sur les exploitations	→ Eté sec et variable →	← Hiver long (sauf 3 et 2 inversés) ←	<b>Type d'exposition, caractéristiques</b>	SECH : étalement maturité	INTE : niveaux intermédiaires d'exposition aux aléas climatiques	TARD : alpages tardifs arrosés, faible variabilité interannuelle	PREC : alpages très précoces, exposés au gel, arrosés
			Zone géographique	Vallées internes (E,S) des Ecrins	Maurienne, versant arrosé (NW) des Ecrins	Tarentaise	Vercors, Chartreuse
			<i>sech++</i>		CHP-LA LAN-PC	GRI-ML	CHS-X
			Plaine Méditerranéenne				
			<i>equi-var</i> : 4 saisons équilibrées forte variabilité interannuelle	CRO-GM PON-HP PON-LM ROU-GS SUR-JB /!\			DAR-GR GRH-X MOL-X
			Alpes du sud, plaine drômoise				
			<i>hiver+sech</i> : précocité printemps et l'automne variable	DIS-EL DIS-ET GRH-HB GRH-PM GRH-VB PON-OB /!\	3FO-DJ AUS-GL AUS-JD BES-CB VAL-SV	BAL-FM	
			Vallées internes (Maurienne, E et S Ecrins)				
			<i>hiver-var</i> : précocité printemps variable		SAP-GF	AVA-NB PLA-GT ROS-PP	ALP-BP CHS-BO COL-PV JOC-TL MOL-VS
			Moyenne montagne des Alpes du Nord				
	<i>hiver++</i> : printemps toujours tardifs		CHP-MA CHP-MF	AVA-PD CHM-PR			
	Haut-Oisans, Haute-Tarentaise						

Figure 79 : Positionnement des couples alpage-exploitations utilisatrices des alpages sentinelles dans la double typologie d'exposition aux aléas climatiques des alpages (en colonnes) et des exploitations (en ligne)

Les types d'exposition aux aléas climatiques des alpages et des exploitations sont classés dans le tableau selon un gradient de sécheresse pour les alpages, et selon un double gradient de sécheresse et de durée de l'hiver pour les exploitations. Les autres spécificités majeures des contraintes climatiques sont également précisées.

En couleur on trouve les exploitations utilisatrices d'un même alpage. Pour les cas où nous ne suivons pas toutes les exploitations (et où toutes les exploitations n'ont pas été intégrées dans l'analyse

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

*climatique), nous avons indiqué par des « X » et suivant le même code couleur le type d'exposition des autres exploitations s'il était différent de celui des exploitations suivies. Nous avons estimé ces climats par proximité géographique avec les exploitations de notre échantillon.*

*Les deux exploitations dont on soupçonne que le climat a été mal évalué dans notre analyse sont suivies du symbole : /!\.*

Le premier constat que l'on peut faire lorsqu'on croise les types d'exposition aux aléas climatiques des alpages et des exploitations de notre échantillon, est celui de l'existence de cases vides (**Erreur ! source du renvoi introuvable.**). L'absence de certaines situations dans notre échantillon correspond à des situations effectivement rares (Figure 80) : exploitations des Alpes du Nord transhumant dans les Alpes du sud (exposition sur les exploitations de type *hiver++* ou *hiver-var* et exposition sur les alpages de type SECH) ; exploitations de haute-montagne au cœur du massif transhumant sur les massifs subalpins (exposition sur les exploitations de type *hiver++* ou *hiver+sech* et exposition sur les alpages de type PREC). Si ce type de système alpage-exploitations n'existe pratiquement pas, c'est probablement lié à un décalage entre les effectifs animaux et les surfaces d'alpage des différentes régions, et aux contraintes climatiques spécifiques des différentes régions. Les troupeaux en Provence sont nombreux et les surfaces d'alpage peu nombreuses, alors que le climat incite fortement à estiver. Au cœur du massif alpin les effectifs sont moins nombreux et les surfaces d'alpages immenses. En conséquence les exploitations au Sud du massif sont poussées à estiver loin au Nord, mais les exploitations situées au sein du massif n'ont pas à descendre au Sud pour trouver des alpages. D'ailleurs les exploitations de montagne de notre échantillon situées dans des secteurs où il y a des alpages transhumant toutes sur des alpages situés à proximité<sup>21</sup>. Quant aux exploitations de plaine au Nord du massif, elles n'ont pas la même nécessité d'échapper à une longue sécheresse estivale et n'iront pas transhumer sur des alpages trop éloignés.

En revanche d'autres situations peuvent être assez courantes et ne sont pas représentées dans notre échantillon : exploitations de plaine méditerranéenne (type d'exposition *sech++*) transhumant vers les vallées internes des Ecrins (types d'exposition SECH ou vers les massif subalpins des Alpes du Nord<sup>22</sup> (type d'exposition PREC) ou des exploitations de plaine ou des Alpes du sud (type d'exposition *equi-var*) transhumant vers des zones d'exposition de type INTE ou TARD.

Malgré l'absence de ces cas de figure dans notre échantillon de systèmes alpage-exploitations, nous pouvons dans une certaine mesure réfléchir à l'exposition aux aléas climatiques de tels systèmes.

---

<sup>21</sup> On peut nuancer le propos avec un cas limite : HP conduisait auparavant son troupeau sur une estive proche de son exploitation, située à une altitude assez faible, mais qu'on peut qualifier d'alpage en termes de logique de gestion et de fonction dans le système fourrager, et qui ne permettait pas de disposer d'un décalage phénologique suffisant et d'atténuer suffisamment la sécheresse estivale par rapport à l'exploitation.

<sup>22</sup> En fait l'exploitation GRI-ML transhume bien dans le Vercors, mais l'alpage GRI est très différent des autres alpages du Vercors, avec une exposition de type AVA (à cause de son caractère tardif principalement)

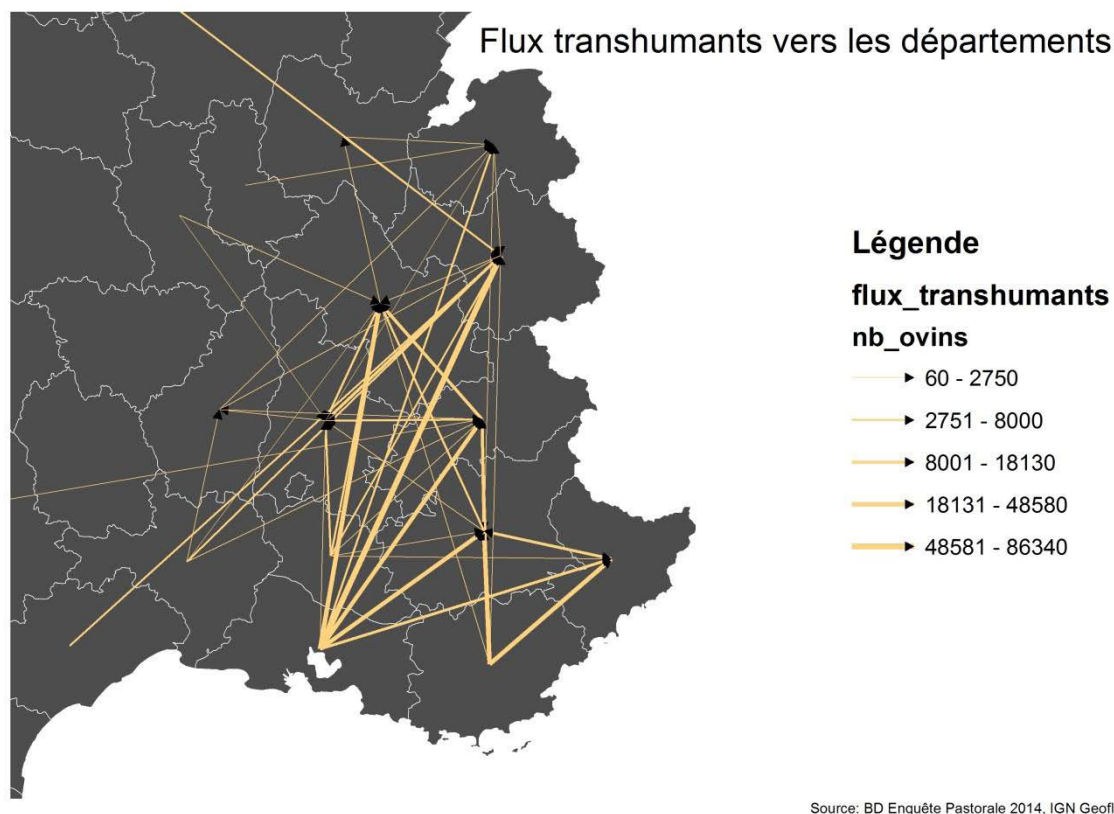


Figure 80 : flux d'ovins transhumants vers les différents départements - Source : enquête pastorale 2014

### 5.3.5.2 *Quels enseignements génériques sur l'exposition aux aléas climatiques tirer de l'analyse d'une diversité de systèmes alpage-exploitations ?*

Nous avons caractérisé séparément l'exposition aux aléas climatiques sur les alpages et sur les exploitations. Il aurait été difficile de construire des indicateurs agrométéorologiques valables pour l'ensemble du système, tant les logiques de fonctionnement peuvent être différentes entre l'alpage et les exploitations. En complément à cette analyse quantitative de l'exposition aux aléas climatiques des alpages et des exploitations utilisatrices, nous allons adopter une démarche plus qualitative dans cette dernière partie, afin de dépasser la juxtaposition de deux typologies et essayer de réfléchir à ce que pourrait être une analyse systémique de l'exposition à l'échelle du système alpage-exploitations.

En restant sur le registre de l'exposition aux aléas climatiques sans aborder la question de la sensibilité du système (chapitre suivant), il est effectivement possible d'aller un peu plus loin. Tout d'abord nous nous demandons en quoi les différents aléas climatiques subis sont susceptibles d'atténuer ou au contraire d'amplifier les contraintes climatiques entre un alpage et une ou plusieurs exploitations en interaction. Puis nous nous appuyons sur notre connaissance de l'échantillon de systèmes alpage-exploitations suivis dans le dispositif Alpes Sentinelles, en particulier la connaissance des pratiques, qui peuvent parfois révéler des éléments sur l'exposition aux aléas climatiques.

Il est effectivement possible d'identifier, sans se référer à des situations précises, des complémentarités potentielles entre espaces exposés à des types de climats différents permettant

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

une atténuation des aléas à l'échelle du système alpage-exploitations, et au contraire des aléas qui potentiellement peuvent s'amplifier (Figure 81). Néanmoins, au travers de l'approche adoptée dans ce tableau, on en reste à une analyse à l'échelle du couple alpage-exploitation, et on ne traite pas le cas des alpages collectifs où les exploitations seraient exposées à des types d'aléas différents.

Type d'exposition aux aléas climatiques en alpage							
← Gradient de sécheresse ←							
Type d'exposition aux aléas climatiques sur les exploitations	→ Eté sec et variable →	← Hiver long (sauf 3 et 2 inversés) ←	<b>Type d'exposition, caractéristiques</b>	SECH : étalement maturité	INTE : niveaux intermédiaires d'exposition aux aléas climatiques	TARD : alpages tardifs arrosés, faible variabilité interannuelle	PREC : alpages très précoces, exposés au gel, arrosés
			Zone géographique	Vallées internes (E,S) des Ecrins	Maurienne, versant arrosé (NW) des Ecrins	Tarentaise	Vercors, Chartreuse
			<i>sech++</i> Plaine Méditerranéenne	Sécheresse estivale marquée sur l'ensemble du système alpage-exploitations. Pas de compensation d'un espace par un autre. Etalement de la pousse de l'herbe limite le risque en cours d'estive, les difficultés majeures seront liées aux ajustements alpages-exploitations en début ou en fin d'estive, respectivement si la sécheresse est marquée sur les exploitations alors que le bas de l'alpage n'est pas mûr, et si la sécheresse est marquée sur l'alpage en cours et fin de saison, et qu'elle n'est pas terminée sur l'exploitation.	Bonne compensation entre sécheresse estivale sur l'exploitation et alpage arrosé ; cependant les années où la sécheresse démarre tôt, difficultés potentielles pour faire la jointure (alpage tardif).	Bonne compensation entre sécheresse estivale sur l'exploitation et alpage arrosé. En année moyenne, la précocité des alpages peut faciliter l'évitement de la sécheresse ; par contre le caractère variable de la durée des sécheresses sur les exploitations et de la précocité sur les alpages peut conduire à des difficultés d'ajustements, d'autant plus que les exploitations sont éloignées des alpages, ce qui contraint les mouvements d'animaux.	
			<i>equi-var</i> : 4 saisons équilibrées forte variabilité interannuelle Alpes du sud, plaine drômoise	Variabilité globale sur les exploitations et variabilité de la sécheresse en alpage, qui peuvent conduire à des difficultés d'ajustements ; selon les cas les exploitations peuvent être proches ou éloignées des alpages, conduisant à des niveaux de contraintes différents pour les mouvements d'animaux.	La stabilité du climat des alpages peut faciliter la gestion de la variabilité sur les exploitations, sauf les années où la sécheresse est précoce (difficultés potentielles pour faire la jointure sur les alpages tardifs).	La forte variabilité sur les exploitations et en alpage peut conduire à des difficultés d'ajustement. Grâce à une faible exposition à la sécheresse et à sa précocité, l'alpage peut compenser une sécheresse sur l'exploitation au printemps.	

↓ ↑	<p><i>hiver+sech</i> : précocité printemps et l'automne variable</p> <p>Vallées internes (Maurienne, E et S Ecrins)</p>	<p>Sécheresse potentiellement ressentie sur l'ensemble du système alpage-exploitations et qui peut poser des difficultés fortes d'adaptation, la longueur de l'hiver obligeant à la constitution de stocks importants.</p>	<p>La sécheresse estivale bien marquée, dont les effets peuvent se ressentir en hiver (besoins en fourrage importants), est atténuée par l'utilisation d'alpages peu exposés au sec. Toutefois leur caractère tardif peut conduire à des difficultés en cas de sécheresse précoce</p>	<p><b>Cas rare</b></p> <p>L'exposition à la sécheresse et à des printemps tardifs des exploitations peut être atténuée par l'utilisation d'alpages arrosés et précoces, d'autant plus qu'il faut assurer la constitution des stocks pour l'hiver. La variabilité de la précocité peut toutefois poser des difficultés d'ajustements.</p>
	<p><i>hiver-var</i> : précocité printemps variable</p> <p>Moyenne montagne des Alpes du Nord</p>	<p>L'exposition à la sécheresse sur l'alpage peut être compensée par la faible exposition sur les exploitations. En revanche l'hiver long (besoin de fourrage) limite les capacités à conserver les animaux en été.</p> <p>La variabilité de la précocité sur les exploitations, face à la variabilité des sécheresses sur les alpages peut conduire à des difficultés d'ajustement si les deux aléas varient indépendamment l'un de l'autre.</p>	<p>La variabilité forte sur les exploitations et la moindre variabilité sur les alpages peuvent selon les situations être un atout ou un handicap : le caractère variable de la précocité du printemps peut conduire à des difficultés d'ajustement avec les alpages, en particulier.</p>	<p>La variabilité de la précocité des saisons sur les exploitations et en alpage constituera la principale difficulté, avec des ajustements importants à effectuer d'une année sur l'autre.</p>
	<p><i>hiver++</i> : printemps toujours tardifs</p> <p>Haut-Oisans, Haute-Tarentaise</p>	<p><b>Cas rare</b></p> <p>La faible exposition à la sécheresse sur les exploitations pourrait compenser la forte exposition sur les alpages, si ce n'est que l'hiver extrêmement long peut obliger à conserver les ressources pour la constitution des stocks hivernaux.</p>	<p>L'hiver long constitue la principale difficulté pour ces systèmes alpage-exploitations ; la faible variabilité climatique sur les exploitations et les alpages limite les besoins d'ajustements interannuels.</p>	<p><b>Cas rare</b></p> <p>La variabilité de la précocité des alpages face au caractère peu variable du climat des exploitations est susceptible de poser des difficultés pour l'ajustement (montée trop précoces ou trop tardives selon les années.</p>

Figure 81 : caractérisation des principaux aléas climatiques auxquels sont exposés les couples alpage-exploitation et auxquels les systèmes alpage-exploitations sont susceptibles d'être sensibles. Les types CHP et AVA ont été regroupés

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

Pour aller plus loin, sans effectuer une analyse exhaustive de tout l'échantillon, nous analysons la situation de plusieurs cas, en allant des cas les plus simples aux cas les plus complexes : alpages individuels avec des exploitations locales ou avec des exploitations éloignées, alpages collectifs avec exclusivement des exploitations locales ou avec exclusivement des exploitations éloignées, et alpages collectifs mixant des exploitations locales et éloignées.

Dans le cas où les systèmes alpage-exploitations sont composés d'un alpage utilisé par une seule exploitation (qui éventuellement utilise d'autres alpages en complément), située à proximité immédiate de l'alpage, qui correspond dans notre échantillon à des systèmes alpage-exploitations de Vanoise (3FO, BAL, BES, CHM, ROS, VAL) et un système alpage-exploitation des Ecrins (ROU), l'analyse de l'exposition climatique du système alpage-exploitation pourrait parfois s'en tenir à une analyse simple des complémentarités ou des antagonismes entre types d'aléas subis (Figure 81). Pour les exploitations de Tarentaise (exposition type *hiver++* ou *hiver-var*), il s'agit de gérer un hiver long dans un contexte où les variations interannuelles sont assez limitées, sauf pour le démarrage du printemps. En Maurienne et dans les Ecrins (exposition type *hiver+sech* et *equi-var*), en plus de l'hiver long, les exploitations subissent aussi la sécheresse estivale, la montée en alpage permet alors d'éviter cette sécheresse (faible exposition aux sécheresses sur les alpages de Maurienne – type INTE ; étalement de la maturité sur les alpages des Ecrins – type SECH).

Néanmoins le parcellaire de certaines de ces exploitations révèle lui aussi un fort étagement altitudinal ou une diversité d'expositions, que notre analyse climatique ponctuelle ne peut prendre en compte et que nous ne pouvons donc quantifier, mais qui permet d'avoir un étalement dans le démarrage des saisons (voir l'exemple du système ROS, en Figure 82). Ces sept exploitations locales qui estivent sur des alpages individuels pratiquent également toutes la mise en pension hivernale ou la transhumance hivernale dans le sud. Cette délocalisation d'une partie du troupeau qui vise notamment à réduire l'exposition à l'hiver, permet de mobiliser des ressources subissant un climat légèrement (mise en pension en bas de la vallée) ou franchement (transhumance hivernale dans des pare-feux méditerranéens) différent (Figure 82).

D'autres alpages individuels sont utilisés par des éleveurs dits « locaux » mais qui sont situés de fait à quelques dizaines de kilomètres, et qui permettent à ces exploitations de subir un climat différent de celui des alpages. C'est le cas du système alpage-exploitations DAR, dans le Vercors, dont l'exploitation située dans le Royans, sur les contreforts Ouest du Vercors, est de type *equi-var*, avec 4 saisons bien marquées, quand l'alpage subit une exposition de type PREC arrosé et précoce. C'est aussi le cas pour le système alpage-exploitation CRO, dont l'exploitation subit aussi une exposition type *equi-var*, alors que l'alpage subit un climat de Haute-Montagne sèche de type SECH. Ces différences changent la combinaison des aléas auxquels les systèmes alpage-exploitations sont exposés, ce qui pourra avoir des répercussions importantes sur les capacités d'adaptation.

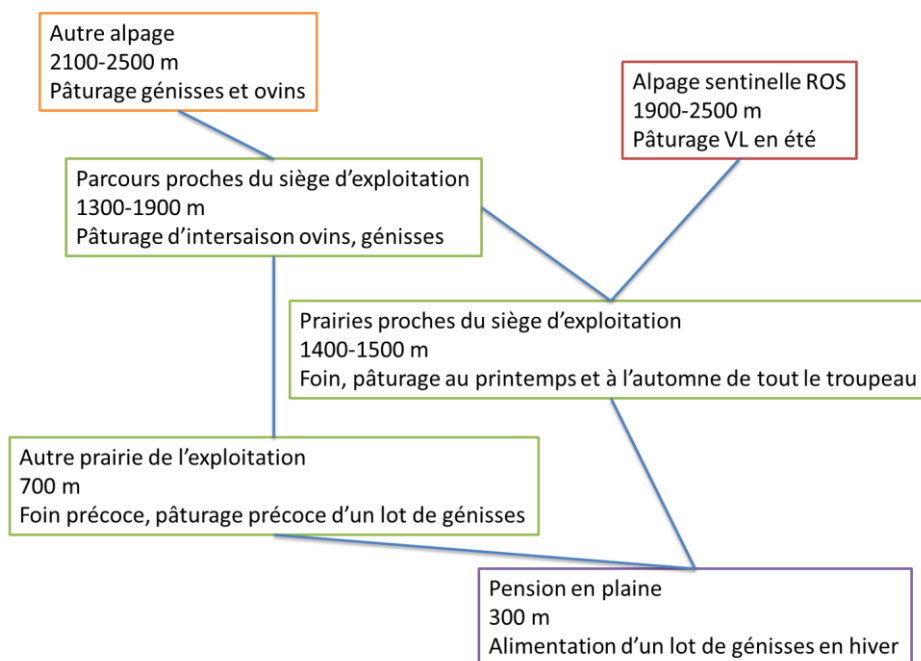


Figure 82 : représentation schématique de l'étagement altitudinal des espaces utilisée par le système alpage-exploitation ROS

Enfin, d'autres alpages individuels sont utilisés par des grands transhumants des plaines méditerranéennes (LAN et GRI). Là, les types d'aléas subis entre l'alpage et l'exploitation sont nettement différents et les deux espaces s'avèrent clairement complémentaires.

Dans le cas de système alpage-exploitations collectifs, lorsque les exploitations sont toutes situées dans le même secteur à proximité immédiate de l'alpage (ALP, AUS, DIS, SAP, SUR, situés en Vanoise et dans les Ecrins et dont les sièges d'exploitation sont situés dans la commune de l'alpage) on se trouve dans la même situation que pour les exploitations locales des alpages individuels : il n'y a pas de différence d'exposition climatique marquée entre les exploitations, hormis dans le cas de mises en pension ou de transhumance hivernale. Dans cette situation une diversité d'expositions aux aléas climatiques peut apparaître au sein des exploitations (Figure 83) ou au travers de l'utilisation de plusieurs alpages situés dans des zones géographiques différentes, et/ou à des altitudes et avec des expositions différentes (Figure 84).



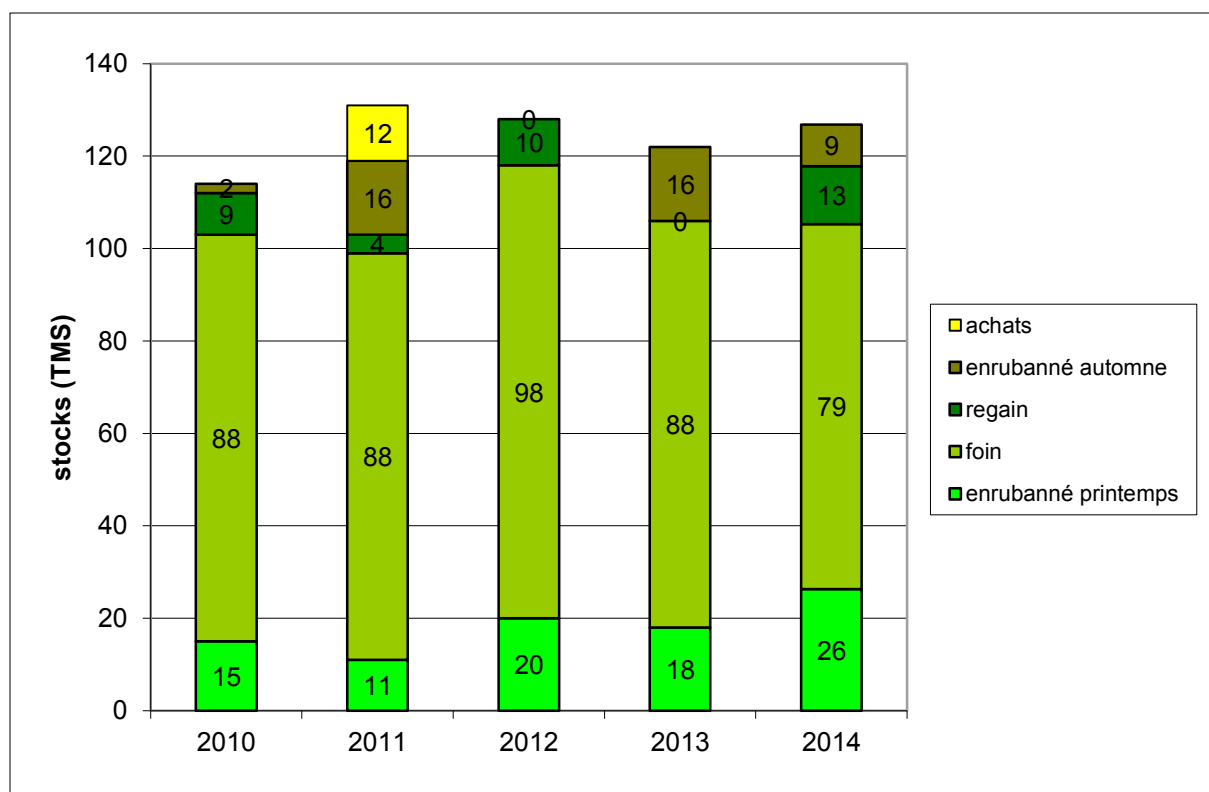


Figure 83 : Récoltes et achats de fourrage sur l'exploitation GF, de 2010 à 2014

Les prairies de fauche de l'exploitation GF sont étagées de 900 à 1400 m d'altitude. Il en résulte un décalage phénologique, qui permet à toutes les prairies de ne pas subir les mêmes aléas. Au travers de la composition des stocks, et avec les explications de l'éleveur, il est possible de reconstituer les aléas subis. Les prairies les plus précoces sont enrubannées, puis fauchées en regain, et parfois enrubannées à l'automne (à partir de septembre, il n'est plus possible de sécher du foin au sol). Les prairies plus tardives sont uniquement fauchées. En 2011 par exemple, les aléas subis sur les différents prés de fauche ont été différents. Le début du printemps ayant été sec, peu d'enrubannage a été fait (rendement faible sur les prairies précoces). Les premières prairies récoltées en sec ont également subi cette sécheresse. L'été a ensuite été très arrosé, et les prairies tardives n'ont pas subi cette sécheresse précoce, et le stock de foin de 1<sup>ère</sup> coupe est resté correct. Beaucoup de regain a également pu être fait (en sec ou en enrubanné). En 2013, à l'inverse, le printemps très tardif s'est répercuté sur l'ensemble des prés et le retard n'a jamais pu être rattrapé. Peu de regain a pu être fait, et uniquement en enrubannage.

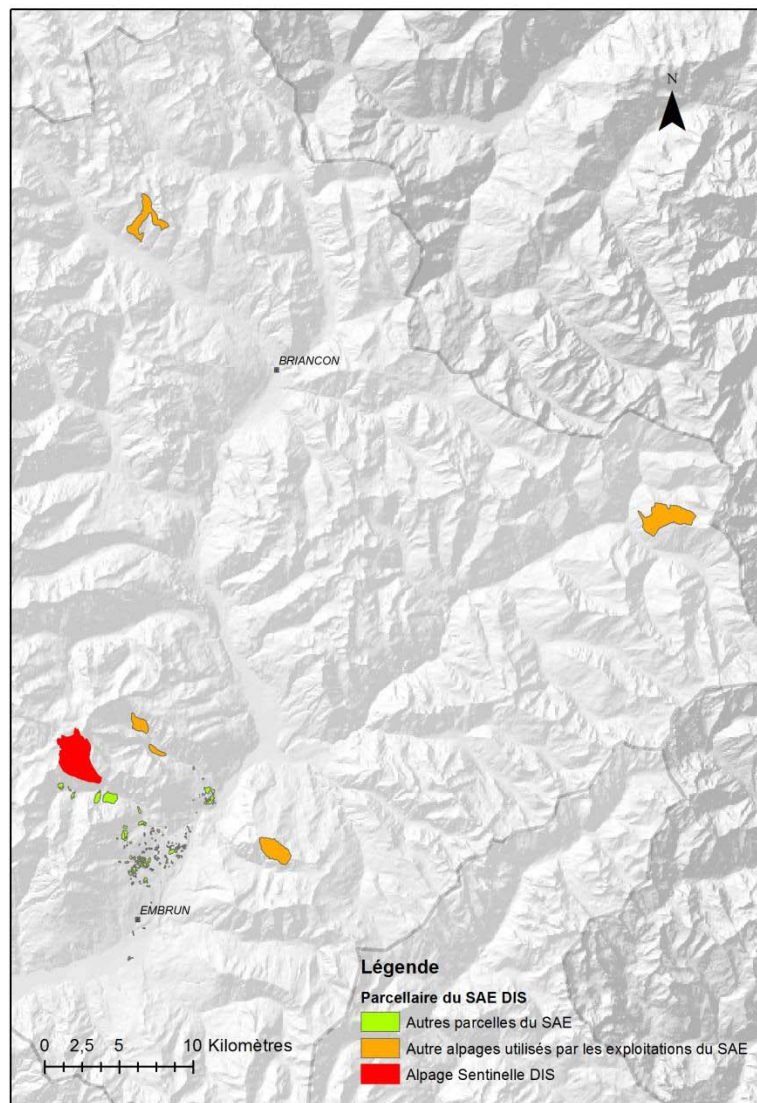


Figure 84 : Parcelle utilisé par les exploitations EL et ET du système alpage-exploitation DIS.

*Au sein du système alpage-exploitation DIS, les exploitations EL et ET mobilisent différents alpages dans un rayon de plusieurs dizaines de kilomètres, et bénéficiant de différentes expositions*

Lorsque les exploitations sont situées dans la même région que l'alpage, mais plus dispersées géographiquement (PLA, JOC, COL) cette diversité géographique peut se traduire en une diversité d'exposition aux aléas climatiques, avec deux situations différentes. Par exemple au sein du système alpage-exploitations JOC toutes les exploitations situées dans la même vallée peuvent vraisemblablement être rattachées à l'exposition aux aléas climatiques de type *hiver-var* que subit l'exploitation JOC-TL. Bien que les climats soient similaires sur ces exploitations, la répartition des exploitations à différents niveaux dans la vallée les expose au quotidien de manière différenciée aux phénomènes météorologiques locaux tels que les orages. Ainsi lors de la sécheresse de l'été 2003, l'exploitation TL a pu bénéficier de précipitations orageuses que l'alpage et les autres exploitations n'ont pas eues. TL a pu redescendre ses animaux en avance, et permettre aux autres exploitations de continuer à utiliser l'alpage.

Enfin on trouve des systèmes alpage-exploitations avec des éleveurs locaux et des grands transhumants, à une complémentarité très claire entre alpages et exploitations s'ajoute alors une complémentarité nette entre les exploitations (cas CHP, où l'on a une exploitation subissant un climat méditerranéen – type *sech++*, et des exploitations de haute montagne – type *hiver++*). Reste aux exploitants à savoir en tirer parti.

Dans le triptyque « exposition, sensibilité, capacités d'adaptation », l'exposition peut paraître comme l'élément figé, sur lequel il n'est pas possible d'agir. Pourtant nous avons dans notre échantillon plusieurs exemples de système alpage-exploitations pour lesquels l'exposition a évolué, non pas du fait des modifications climatiques, mais du fait d'évolutions du système. Cette évolution peut concerner l'alpage : par exemple l'alpage JOC s'est agrandi avec un nouveau quartier bénéficiant d'une exposition différente<sup>23</sup>. Cela peut aussi concerner les exploitations lorsqu'on a mise en place ou arrêt de la transhumance hivernale par exemple. Cela peut enfin concerner le système alpage-exploitations dans sa globalité lorsqu'il y a un changement des exploitations utilisatrices.

L'analyse de cette collection de cas nous enseigne donc que l'éloignement géographique entre l'alpage et les exploitations, entre les différentes exploitations, et la dispersion géographique des parcelles au sein d'une exploitation, est bien un élément clé dans l'analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'un système alpage-exploitations. Un éloignement même modéré permet d'être exposé à une diversité de petits aléas comme les orages « salvateurs » en été et d'atténuer l'effet des aléas à l'échelle du système. Un éloignement plus important permet d'être exposé à des types de climat différents, qui seront généralement complémentaires. L'étagement altitudinal, au sein d'une exploitation comme entre plusieurs exploitations et a fortiori avec l'alpage, se révèle sans surprise aussi être un élément clé sur les systèmes étudiés. Le décalage phénologique permet que les végétations ne subissent pas les mêmes aléas à leurs stades clés de développement. Enfin nous avons vu au travers de la présentation de ces cas que l'exposition se révèle bien comme un élément qui peut évoluer et sur lesquels les éleveurs peuvent (ou pourraient) jouer, au même titre que la sensibilité ou les capacités d'adaptation, par exemple lorsqu'ils reconfigurent les contours des alpages, ou lorsqu'il y a des changements dans le collectif d'exploitations.

#### **5.4 Conclusion : quels enseignements tirer de l'analyse de l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations**

Le travail que nous avons conduit a permis d'identifier les paramètres climatiques jugés pertinents par un groupe d'experts pour caractériser l'exposition aux aléas climatiques d'un alpage ou d'une exploitation.

Face à l'impossibilité de collecter des données météorologiques à une échelle spatiale suffisamment fine en montagne, nous avons mobilisé des données de télédétection satellitaire et des données issues d'un modèle climatique déclinant le climat en fonction du relief à une échelle suffisamment fine pour représenter la diversité interne à un alpage. Nous avons pu aboutir à une caractérisation du

---

<sup>23</sup> Dans ce cas précis, cela a cependant très peu joué sur les caractéristiques de l'exposition climatique de l'alpage. Cela a permis d'augmenter la diversité des végétations de l'alpage et de modifier sa sensibilité aux aléas climatiques (cf. chapitre suivant).

## Chapitre 5 : Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations

climat qui ait un sens pour la gestion pastorale. L'analyse de la variabilité spatiale interne à une unité de gestion et la construction d'indicateurs agrométéorologiques à cette échelle ont permis de révéler des éléments clés de l'exposition aux aléas climatiques des alpages (cf. par exemple l'étalement du printemps des alpages secs des Ecrins), et d'apporter des éléments nouveaux sur la gestion des alpages, qui étaient jusque-là des espaces oubliés dans les travaux sur l'analyse des conséquences du changement climatique sur les ressources fourragères. Ne pas avoir été en mesure de le faire pour les exploitations s'est avéré être une limite importante de l'analyse effectuée, pour des exploitations dont le territoire est très diversifié.

En illustrant nos propos sur quelques exemples, nous avons aussi vu qu'il pouvait être possible de dépasser la simple juxtaposition des analyses quantitatives de données climatiques réalisés séparément sur l'alpage et sur la ou les exploitation(s) utilisatrice(s), pour essayer de considérer globalement l'exposition aux aléas climatique du système alpage-exploitations dans son ensemble. Nous avons pour cela adopté une approche plus qualitative. Très vite, lorsqu'on s'intéresse à des questions de complémentarité entre différents espaces exposés différemment aux aléas climatiques, on est amené à s'intéresser aux pratiques mises en œuvre, confirmant que les limites entre analyse de l'exposition, de la sensibilité et des capacités d'adaptation, que nous avons essayé de ne pas franchir dans ce chapitre, sont parfois ténues.

En complément de l'analyse que nous avons effectuée, deux pistes d'approfondissement pourraient être explorées :

- Indépendamment du type d'exposition aux aléas climatiques des alpages et des exploitations, il serait intéressant d'analyser les complémentarités en termes d'influences climatiques à l'intérieur d'un système alpage-exploitations. Un peu comme nous avons vu que les exploitations utilisatrices de l'alpage JOC, qui appartiennent au même type d'exposition aux aléas, ne subissent pas les mêmes orages aux mêmes moments, les aléas comme les sécheresses ne touchent pas toujours toutes les exploitations d'un système la même année. Par exemple la saison de végétation 2004 est marquée par une sécheresse record à Embrun, qui n'a pas été qu'une sécheresse moyenne à Bourg St Maurice (Figure 8 page 25).
- Nous pourrions aussi analyser la façon dont l'exposition aux aléas climatiques a évolué sur un pas de temps plus long. Il est possible en effet que le changement climatique ne se traduise pas partout par la même évolution du climat et de sa variabilité. Certains systèmes alpage-exploitations ont pu connaître des changements plus importants que d'autres. Comme la configuration actuelle de ces systèmes dépend aussi de leur histoire, il serait intéressant d'adopter cette approche historique, qui pourrait expliquer des différences dans la sensibilité et les capacités d'adaptation aux aléas actuels.

Nous allons à présent compléter l'analyse de la vulnérabilité et nous intéresser à la sensibilité et aux capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques. Nous mobiliserons pour cela les résultats de l'analyse de l'exposition, qui font partie des facteurs explicatifs des capacités d'adaptation.



## **6 Analyse de la sensibilité et des capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations**



## 6.1 Rappel des objectifs et précisions méthodologiques

### 6.1.1 Objectifs et structuration du chapitre

Nous mobilisons le cadre d'analyse de la vulnérabilité pour tester la capacité du modèle que nous avons construit à analyser l'adaptation d'une diversité de cas de systèmes alpage-exploitations à la recrudescence des aléas climatiques. Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 2, nous plaçons les capacités d'adaptation au cœur de l'analyse de la vulnérabilité, en analysant au préalable l'exposition du système aux aléas climatiques (chapitre précédent) et la sensibilité de ses composantes aux aléas climatiques (Figure 31, page 98). Nous adoptons une approche qualitative et compréhensive : nous ne cherchons pas à évaluer si un système est ou non vulnérable, ni à mesurer un niveau de vulnérabilité, mais nous cherchons à comprendre ce qui, dans ce système, est source de vulnérabilité en termes d'exposition, de sensibilité et de capacités d'adaptation, et ce qui au contraire favorise l'adaptation. Dans cet objectif, nous nous appuyons sur une analyse des pratiques mises en œuvre (Teissier 1979, Landais et Balent 1995), et nous nous attachons en particulier à comprendre les ajustements de pratiques face aux aléas, qui sont des manifestations des capacités d'adaptation (Smit et Wandel 2006).

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur la sensibilité et les capacités d'adaptation aux aléas climatiques des systèmes alpage-exploitations. Nous effectuons un travail en deux temps :

- Dans un premier temps (section 6.2), pour démontrer la capacité du modèle à analyser le fonctionnement et l'adaptation des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques, nous présentons en détail une analyse de l'exposition, de la sensibilité et des capacités d'adaptation aux aléas climatiques, de six cas choisis parmi les 25 systèmes suivis dans le programme Alpes Sentinelles, et soumis à une diversité d'expositions aux aléas climatiques des alpages. Ces cas nous serviront préférentiellement de support pour illustrer ou argumenter nos analyses dans la suite du chapitre et dans les chapitres suivants.
- Dans un second temps (section 6.3) nous dépassons cette approche par monographies et testons la capacité du modèle à permettre de tirer des enseignements génériques sur l'adaptation des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques à partir de la diversité des cas analysés, en élargissant l'analyse à l'ensemble de l'échantillon de systèmes alpage-exploitations suivis. Après avoir identifié les leviers activés à l'échelle des 25 systèmes suivis pour les repositionner par rapport aux leviers identifiés au cours de travaux antérieurs (cf. sections 1.3.4 et 1.4.1), nous construisons une typologie centrée sur l'analyse des capacités d'adaptation, reflétant différentes logiques dans l'adaptation aux aléas climatiques à l'échelle des systèmes alpage-exploitations et qui dépasse l'ajustement à tel ou tel aléa ; nous recherchons enfin des explications aux ressemblances et aux dissemblances identifiées.

### 6.1.2 Analyses réalisées

L'analyse de l'exposition aux aléas climatiques a déjà été effectuée dans le chapitre précédent. Dans ce chapitre, nous n'apportons que quelques précisions dans l'analyse détaillée des six cas, lorsque des nuances peuvent être apportées par rapport au classement par type d'exposition aux aléas climatiques des alpages et des exploitations.

Pour analyser la sensibilité des systèmes aux aléas climatiques, nous mobilisons les cartes causales, qui précisent quels sont les effets des paramètres climatiques sur le sol et les végétations, et la typologie des végétations. Nous les confrontons aux cas suivis au travers des informations contenues dans les diagnostics pastoraux réalisés sur les alpages (description des végétations) et au travers des descriptions que font les



éleveurs et bergers des végétations, et nous identifions les principales caractéristiques des végétations conférant une sensibilité particulière aux aléas. Cette analyse est plus approfondie pour les alpages que pour les exploitations, où nous ne disposons que du dire des éleveurs pour qualifier les végétations, avec des niveaux de précision très hétérogènes d'une exploitation à l'autre. Nous nous concentrons essentiellement sur la sensibilité des végétations, sur lequel notre modèle conceptuel est lui-même focalisé ; nous n'étudions donc pas la sensibilité directe de la ressource en eau d'abreuvement ou des animaux, sauf si ponctuellement cela apparaît comme un élément essentiel pour expliquer les capacités d'adaptation.

Pour analyser les capacités d'adaptation nous mobilisons le modèle de gestion comme grille d'analyse des pratiques (Landais et Balent 1995) et décrivons le fonctionnement des exploitations en termes de saisons-pratiques (Bellon et al. 1999). Nous nous intéressons en particulier aux pratiques observées (ou envisagées) d'ajustements face à différents aléas, et nous nous attachons à déterminer les raisons de ces ajustements : contraintes techniques diverses ; objectifs techniques, économiques, de qualité de vie des éleveurs et bergers.

### 6.1.3 Choix des systèmes présentés

Le choix des six cas décrits de manière détaillée dans cette partie proviennent d'un sous-échantillonnage effectué a posteriori après analyse des cas (Tableau 14). Le choix de ces systèmes vise à avoir une diversité d'expositions aux aléas climatiques des alpages (qu'auparavant nous ne pouvions qu'approximer par la dispersion géographique de l'échantillon). Il vise aussi à illustrer la diversité des ajustements mis en œuvre et des changements structurels survenus au cours des années de suivi. Nous avons cherché à conserver une diversité de caractéristiques entre des alpages individuels et collectifs, des alpages utilisés par des éleveurs de la commune, du département et des grands transhumants, une diversité de configurations et de combinaisons des types de végétation (donc une diversité de sensibilité aux aléas). Nous avons enfin choisi préférentiellement des alpages avec un nombre d'années de suivi important, permettant une description plus riche. Cela explique la surreprésentation du territoire des Ecrins et des systèmes ovins parmi les six cas. La surreprésentation des alpages ovins permet aussi de faciliter la comparaison des cas, dans ce chapitre mais aussi dans le chapitre suivant, où nous comparons la résilience de plusieurs cas face au changement climatique. Nous décrivons tout de même le fonctionnement d'une exploitation laitière, car le fonctionnement des systèmes laitiers présente un certain nombre de spécificités qu'il n'est pas possible de trouver sur les alpages ovins.

code	Intitulé du Système alpage-exploitations	Type d'exposition des alpages
CHP	Système ovin collectif, éleveurs locaux et grands transhumants	Niveaux intermédiaires d'exposition aux aléas climatiques (type INTE)
CRO	Système ovin individuel, éleveur du département	Exposition forte aux sécheresses, étalement maturité (type SECH)
DAR	Système ovin individuel, éleveur du département	Alpages très précoces, exposés au gel, arrosés (type PREC)
PON	Système ovin collectif, éleveur du département et éleveurs grands transhumants	Exposition forte aux sécheresses, étalement maturité (type SECH)
ROS	Système bovin laitier individuel, éleveur de la commune	Alpages tardifs arrosés, faible variabilité interannuelle (type TARD)
SUR	Système ovin collectif, éleveurs de la commune	Exposition forte aux sécheresses, étalement maturité –type SECH)

Tableau 14 : Choix des systèmes alpage-exploitations dont nous présentons en détail une analyse de la vulnérabilité.

## 6.2 Analyse détaillée de la vulnérabilité de six systèmes alpage-exploitations différents

### 6.2.1 CHP: alpage ovin collectif dans l'Oisans (Ecrins), éleveurs locaux et grands transhumants

#### 6.2.1.1 Présentation

L'alpage ovin collectif CHP, situé dans l'Oisans (Ecrins) est suivi depuis 2008. C'est un alpage qui accueille des troupeaux d'éleveurs de la commune et des troupeaux transhumants. Il y a un gardiennage permanent avec un berger, et un aide-berger depuis l'été 2015 (prédation).

En 2008, 5 exploitations de la commune estivaient sur cet alpage, dont deux seulement avec des effectifs supérieurs à 100 brebis : exploitations MA (130 brebis) et MF (150 brebis), deux exploitations suivies ; une exploitation transhumante, qui n'était pas la même chaque année, apportait l'essentiel des effectifs, sans adhérer au groupement pastoral (GP), et sans avoir de poids dans les décisions. Suite à des évolutions progressives (départ en retraites de « petits » éleveurs de la commune, départ sur un autre alpage de MA, stabilisation d'un éleveur transhumant de la Crau dans les Bouches du Rhône (LA, suivi depuis 2014), le GP est aujourd'hui constitué de 3 éleveurs : MF, dont l'effectif ovin a diminué (85 brebis), un second éleveur de la commune qui a 50 brebis, et LA (2500 brebis dont 1450 sur l'alpage CHP) (voir carte du système Figure 33, page 106). L'adhésion de LA au GP a un peu changé la donne, mais jusque-là l'ensemble des décisions étaient prises par le collectif d'éleveurs de la commune, et les éleveurs transhumants devaient s'y conformer et s'adapter sur leurs exploitations. Ainsi en 2013, malgré un retard important de la végétation sur l'alpage, les éleveurs locaux ont souhaité monter rapidement sur l'alpage. LA, pour qui les alpages sont une ressource estivale indispensable, a alors choisi de retarder sa venue, pour être sûr de disposer de suffisamment de ressource durant l'ensemble de la saison d'alpage (LA utilise aussi deux autres alpages).

Les exploitations MA (un couple d'éleveurs) et MF (1 éleveuse et main d'œuvre familiale bénévole importante) ont deux périodes de mise-bas assez équilibrées (automne et printemps) ; toutes deux ont

aussi un atelier d'élevage de génisses (élevage pour le compte d'exploitations laitières de Savoie). LA (un couple d'éleveurs, aidés par un berger salarié à l'année et un retraité)) a une période de mise-bas principale à l'automne ; au printemps il y a uniquement des mise-bas de rattrapage.

### 6.2.1.2 Exposition

L'alpage CHP subit une exposition aux aléas climatique que nous avons qualifiée d'intermédiaire (type INTE, regroupant les alpages du versant arrosé des Ecrins et les alpages de Maurienne). Les alpages de ce type connaissent les différents types d'aléas, mais qui sont atténués par rapport aux autres des variations de phénologies : variations de précocité, sécheresses. L'alpage CHP est particulièrement peu exposé au gel printanier.

Les exploitations MA et MF, avec leurs sièges à 1600 m d'altitude, connaissent une exposition de type *hiver++*, caractéristique de la haute-montagne, avec des hivers très longs, des printemps très tardifs avec une faible variabilité. Ils sont peu exposés aux sécheresses.

L'exploitation LA subit un climat méditerranéen (type *sech++*), avec des sécheresses fortes de durée variable, des hivers très courts. En termes d'exposition, on peut dire que c'est l'opposé de ce que subissent MF et MA.

### 6.2.1.3 Sensibilité

Le quartier bas de l'alpage est un queyrellin (formation à Fétuque paniculée), végétation très précoce et peu souple d'exploitation, donc sensible aux printemps précoces, mais peu sensible à la sécheresse. Le reste de l'alpage est constitué de pelouses intermédiaires subalpines et alpines assez productives, peu souples d'exploitation pour des pelouses intermédiaires (beaucoup de graminées productives), mais on reste loin du type de végétation « productif ». De par l'homogénéité du type de végétation et une exposition sur un seul versant sud, le décalage phénologique entre les différents quartiers sera assez limité dans les faits, ce qui accentue l'effet de la faible souplesse d'exploitation.

Sur les exploitations MF et MA, on trouve (1) des pâtures constituées d'anciennes prairies de fauche qui sont trop en pente pour être fauchées aujourd'hui, mais qui sont assez productives et peu souples d'exploitation pour des surfaces pastorales (elles sont pâturées deux fois dans l'année). Pour une bonne partie ces pâtures sont situées sur des sols assez profonds et plutôt hydromorphes, et sont assez peu sensibles à la sécheresse. Elles sont plus sensibles aux printemps froids et humides (la précocité du printemps est peu variable sur ces exploitations, mais le caractère tardif du printemps 2013 a été fortement ressenti). On trouve également (2) des prés de fauche situés sur d'anciennes terrasses, productifs et très souples d'exploitation (importante diversité fonctionnelle) (Quétier 2006). Ils sont plus sensibles au sec (sols filtrants) ; si les conditions s'y prêtent (première pousse précoce et pas de sécheresse estivale) ils peuvent être fauchés deux fois. Enfin, on trouve des prairies de fauche d'altitude (aux alentours de 2000 m d'altitude), très tardives, qui sont notamment sensibles (et exposées) aux aléas de gel printanier d'après les éleveurs.

Sur l'exploitation LA, on a (1) des prés de fauche irrigués, ressource peu sensible au principal aléa auquel l'exploitation est exposé qu'est la sécheresse. Ces ressources qui peuvent théoriquement être utilisées toute l'année sont toutefois sensibles au mauvais temps, qui ne joue pas directement sur les végétations mais empêche de laisser les animaux au pâturage. On trouve également différents types de parcours : des « coussouls » (pelouses steppiques très précoces et très sensibles au sec), des parcours embroussaillés qui présentent une bonne aptitude pour le report sur pied mais qui sont également sensibles aux sécheresses,



La priorité est donnée à un pâturage complet du queyrellin sur le premier quartier, pour préserver la qualité de cette ressource et les enjeux environnementaux associés. Ce pâturage complet est rendu possible par une conduite en parcs quotidiens. Sur ce premier quartier il n'y a donc pratiquement pas de régulation : toute la ressource présente à l'arrivée du troupeau doit être consommée. Si le troupeau arrive trop tard il risque d'y avoir des refus, s'il arrive trop tôt, la quantité pâturée sera moindre (mais le pâturage précoce est possible -et même conseillé- sur ce type de végétation). Souvent, sur les alpages, le queyrellin est peu consommé en année « normale, mais il peut servir de soudure entre les exploitations et l'alpage, en cas de retard de la végétation sur l'alpage, ou s'il faut monter plus tôt parce qu'il n'y a plus de ressource sur l'exploitation ; ici ce n'est pas le cas puisqu'il est entièrement consommé tous les ans.

Sur les autres quartiers, comme il y a peu de décalage phénologique (pour un alpage des Ecrins), il est difficile de faire consommer toute la ressource (peu souple d'exploitation) au moment optimal, et le taux de consommation de la ressource est globalement assez faible (chargement très inférieur à la quantité de ressource globalement présente). La cabane est excentrée et les équipements d'abreuvement insuffisants, ce qui ajoute à la difficulté de bien exploiter l'ensemble de la ressource (taux de consommation compris le plus souvent entre 40 et 60% partout sur les pelouses intermédiaires). Ce surdimensionnement global des ressources constitue une régulation très importante face à tous types d'aléas sur chaque quartier, quitte à consommer une herbe en partie sèche. Il permet aussi de gérer le pâturage sur chaque quartier de manière autonome, sans trop se préoccuper de l'articulation entre les quartiers. Cette régulation compense l'absence de régulation sur le premier quartier. La principale limite à cette régulation serait une canicule et une sécheresse estivales fortes, qui accéléreraient la sénescence de la végétation sans permettre de repousses. L'alpage y est peu exposé.

Sur les exploitations :

- MA et MF :

Les exploitations locales, dont le siège est à 1600m d'altitude, fonctionnent toutes suivant le même schéma. Les mises-bas sont réparties de manière assez équilibrée entre printemps et automne. L'utilisation du territoire est très planifiée : l'attribution des parcelles aux différents lots, et le calendrier de pâturage de ces parcelles sont assez rigides et ne varient pratiquement pas d'une année sur l'autre (sauf à l'automne où des échanges de parcelles entre éleveurs sont parfois effectués pour simplifier le travail). Cela paraît cohérent avec la faible variabilité climatique observée. Au printemps, qui est une saison très courte (mise à l'herbe vers le 5 mai pour les ovins et vers le 25 mai pour les bovins, avec des variations de 3-4 jours maximum en général d'une année sur l'autre), les animaux pâturent en différents lots les prés non mécanisables individuellement sur chaque exploitation. Ces surfaces sont surdimensionnées et permettent de faire face à la plupart des aléas rencontrés (exposition limitée). Ainsi en 2010, les éleveurs ont dû retarder la montée en alpage car ils n'avaient pas de bergers ; ils ont pu sans problème rester sur leurs pâtures une dizaine de jours de plus. Lors du printemps tardif de 2013 par contre les éleveurs n'ont pas pu retarder la montée en alpage malgré un manque de ressource sur l'alpage car ils auraient dû sinon faire pâture des prairies destinées à la fauche, or un des enjeux pour ces exploitations de haute montagne avec un hiver très long (six mois) est de récolter suffisamment de foin pour éviter des achats. Ils considèrent aussi qu'il y a suffisamment de régulation sur l'alpage pour effectuer ce genre de pratiques. L'été tout le troupeau monte en alpage, sauf les béliers. A la descente d'alpage les troupeaux pâturent sur chaque exploitation les repousses des prés de fauche et repassent sur les zones pastorales. Ils restent au pâturage tant que le temps le permet (un peu plus longtemps pour les brebis sans agneaux que pour les mères

allaitantes et les agneaux de l'automne). C'est l'arrivée des conditions hivernales qui provoque la fin de la séquence de pâturage, jamais un manque de ressource.

La séquence hivernale, en bâtiment, dure environ six mois. En cas de manque de ressource en hiver la régulation se fait presque exclusivement par des achats de fourrage (sécheresse estivale, ou, à l'inverse, mauvaises conditions estivales qui ont compliqué les récoltes, gel sur les prés d'altitude ; et hiver précoce ou printemps tardif). Ces achats peuvent fragiliser les exploitations s'ils se répètent trop fréquemment, comme ce fut le cas entre 2003 et 2011 (Figure 86). De manière marginale, la régulation se fait aussi par la fauche de surfaces difficilement mécanisables, un peu d'achat d'herbe sur pied. MF dispose également d'une possibilité de soudure entre l'hiver et le printemps pour une partie de ses génisses, qu'elle peut mettre à l'herbe plus tôt chez un agriculteur plus bas dans la vallée (donc avec des végétations plus précoces). Cette soudure a toutefois tendance à devenir une séquence à part entière et ne plus servir d'ajustement<sup>24</sup>.

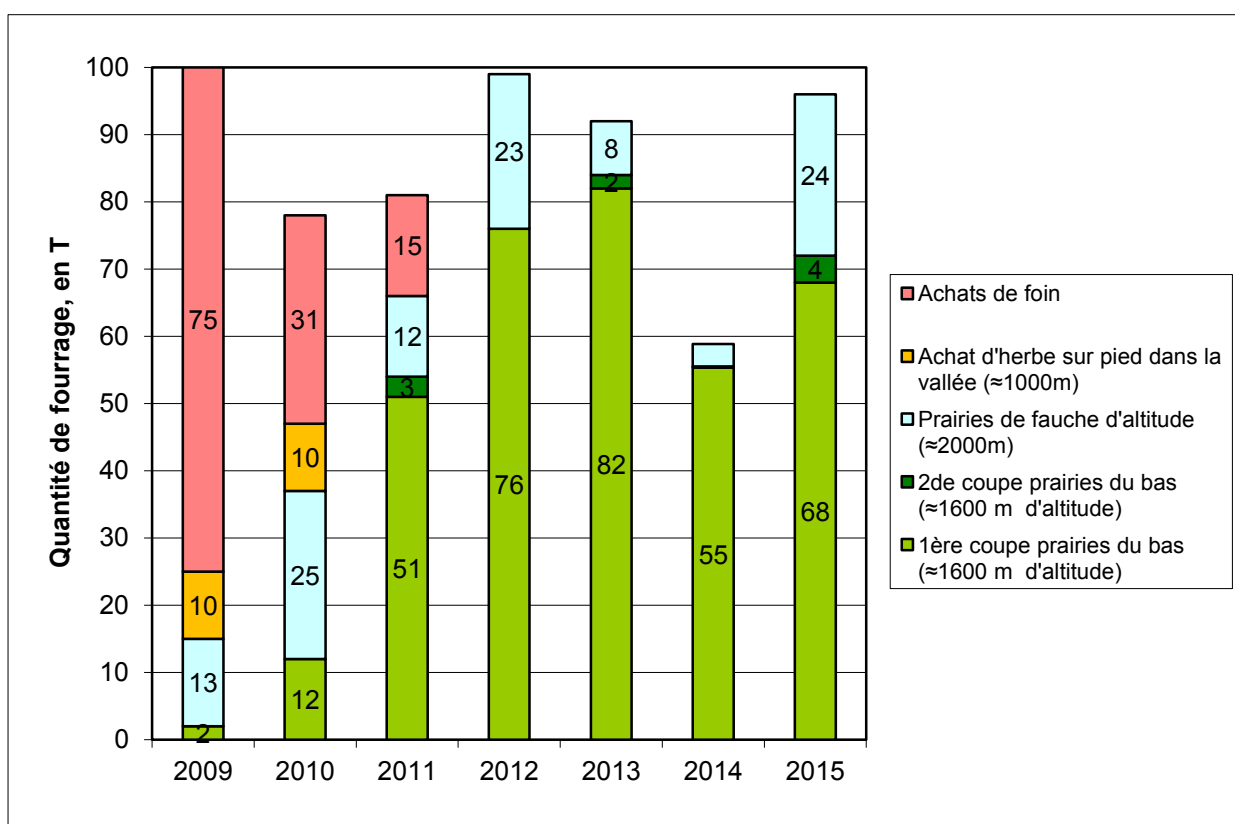


Figure 86 : Composition des stocks annuels sur l'exploitation MF

Les besoins annuels en fourrage sur l'exploitation MF sont d'environ 90 T jusqu'en 2012, et d'environ 70 T depuis 2013 (réduction des effectifs). En 2009 se sont cumulés une forte sécheresse et des dégâts importants de campagnols terrestres. En 2010 et 2011 les arrière-effets des dégâts de campagnols se sont encore faits ressentir sur certains prés ; par contre il a été possible de faire des regains grâce à une avance phénologique de la première pousse (cela faisait 10 ans qu'il n'y avait pas eu de regains, selon l'exploitant) Une partie des prés d'altitude a subi du gel. En 2013, une partie des prés d'altitude a été laissée à un autre

<sup>24</sup> En 2015 avec la fermeture de la route nationale suite à l'écroulement du tunnel du Chambon, MF n'a pas pu disposer de cette soudure.

*éleveur, compte tenu des bons rendements sur les autres prés et de la diminution des besoins. En 2014, certains secteurs n'ont pas pu être fauchés, à cause du climat pluvieux tout l'été. Des reports de stocks de 2013 ont permis de passer sans recourir aux achats. 2015 enfin a été une très bonne année.*

- LA :

L'exploitation LA produit des agneaux et du foin de Crau. Le cycle de production commence à l'automne. Dans les grandes lignes le fonctionnement est typique des systèmes ovins de Crau, avec des prés de fauche pâturés à l'automne et en hiver et des surfaces pastorales pour le printemps.

A la descente d'alpage, et jusque vers la fin février, les animaux pâturent les repousses des prés de fauche irrigués de l'exploitation et de plusieurs exploitations voisines (plein automne, fin d'automne, rarement de réel saison-pratique hiver). La régulation se fait par l'irrigation, possible, si besoin, par de nombreux prés disponibles au pâturage chez des voisins qui n'ont pas d'animaux. Lorsque l'automne est « poussant » les éleveurs saisissent aussi l'opportunité de pâturer les espaces pastoraux (soudure répondant à une problématique d'organisation du travail, pas à un manque de ressource fourragère). Durant cette période les animaux ne sont en bâtiment que quelques jours à la mise-bas et en cas de mauvais temps, ce qui constitue une sorte de soudure qui peut être répartie sur plusieurs séquences. Par ailleurs sur cette période d'octobre à février, un petit lot à faibles besoins est envoyé en colline (régulation par le surdimensionnement des ressources en colline et la capacité des animaux à supporter une sous-alimentation).

Au printemps, différents lots sont ensuite répartis sur différentes surfaces pastorales : coussoul (steppe), collines, campas (anciennes cultures). En cas de manque de ressource sur les parcours (printemps tardif ou sec), les éleveurs ont la possibilité de faire la soudure en restant sur leurs prés de fauche (jusque fin mai en dernier recours) alors que redémarre la pousse printanière, normalement réservée à la première coupe de foin d'après les règles de l'AOC.

En été, l'ensemble du troupeau est réparti sur 3 alpages différents dans les Alpes, dont CHP.

Bien que le fonctionnement des systèmes de Crau soit en principe très contraint par les règles du cahier des charges de l'AOC foin de Crau et les usages traditionnels des coussouls au printemps, les éleveurs réalisent de nombreux ajustements à partir de ce fonctionnement de base pour s'adapter aux aléas ou profiter d'opportunités : pâturage de surfaces pastorales à l'automne (exemple : coussouls à l'automne 2014, pour profiter d'une repousse exceptionnelle et faciliter l'organisation du travail) ; pâturage des prés de fauche jusque fin mai, en cas de sécheresse printanière ; distribution de fourrage en cas de mauvais temps, ajustement des effectifs entre les trois types de ressources pastorales selon la dynamique des ressources dans chacune...

Sur les trois alpages collectifs où ils estivent, le couple d'éleveurs de l'exploitation LA n'est pas en position de force dans les collectifs et doit globalement s'adapter aux décisions prises par les éleveurs locaux (les choses évoluent sur CHP en 2014). A l'interaction entre l'alpage CHP et l'exploitation, les éleveurs ont su trouver des régulations en 2013 : en profitant d'une ressource excédentaire sur les parcours ce printemps-là ; ils ont ainsi choisi de retarder leur montée sur l'alpage et ont pu compenser le fait que les éleveurs

locaux n'ont pas retardé la montée de leurs troupeaux<sup>25</sup>. Mais cette ressource présente en 2013 n'est pas garantie et ne peut constituer une régulation sûre. En dernier recours la soudure pourrait se faire en distribuant du fourrage ou en faisant pâturer les prés de fauche. Mais les éleveurs ne semblent pas très disposés à activer cette soudure (réduction des ventes de foin, charge de travail supplémentaire à assumer sur l'exploitation à une période déjà tendue).

La complémentarité entre les exploitations MF et LA en termes d'exposition semble jouer à plein pour permettre ces ajustements différenciés : les printemps froids et tardifs pour la haute-montagne, correspondent à des printemps doux et pas trop secs pour les exploitations méditerranéennes (cf. 2013).

## **6.2.2 CRO : alpage ovin individuel du Briançonnais (Ecrins), éleveur originaire du département**

### **6.2.2.1 Présentation**

L'alpage ovin individuel CRO, situé dans le Briançonnais (Ecrins) est suivi depuis 2008. C'est un alpage qui accueille le troupeau d'une exploitation d'une commune voisine. Il y a un gardiennage permanent, avec le même berger depuis plus de 20 ans.

L'exploitation utilisatrice (CRO-GM) est une exploitation ovine (700 brebis environ), qui commercialise des agneaux de boucherie et des agnelles de renouvellement. Les mise-bas sont réparties assez équitablement en deux périodes : printemps et automne. Aujourd'hui le collectif de travail est constitué principalement par le chef d'exploitation, un berger employé durant les périodes de pâturage, le père de l'exploitant qui assure aussi le gardiennage du troupeau, et de la main d'œuvre familiale qui intervient plus ponctuellement. En dehors de la période hivernale, il y a en permanence deux lots au pâturage sur l'exploitation, qui doivent la plupart du temps être gardés. L'exploitation est dans une zone de présence permanente du loup.

### **6.2.2.2 Exposition**

L'alpage CRO connaît une exposition de type SECH: exposition forte aux sécheresses, étalement de la maturité important. Il est assez bas en altitude mais situé en ubac, et a donc une précocité similaire aux autres alpages de son groupe.

L'exploitation connaît une exposition de type *equi-var*, avec 4 saisons différentes toutes marquées, et une forte variabilité interannuelle dans la durée de ces saisons.

### **6.2.2.3 Sensibilité**

L'alpage est composé de plusieurs quartiers bas constitués de Mélézin (végétation de type forestier pâturé), au sein duquel on trouve des clairières d'anciens prés de fauche (végétation de type productif). Le quartier haut, à l'étage alpin, est constitué principalement de pelouses intermédiaires alpines.

En termes de sensibilité sur les quartiers bas les végétations sont complémentaires : les végétations productives seront sensibles aux printemps précoces (végétation trop avancée à l'arrivée du troupeau) mais pourront être pâturées précocement en cas de printemps tardif ; c'est l'inverse pour les pelouses forestières, peu précoces mais très souples d'exploitation. Ce sont deux végétations relativement peu

---

<sup>25</sup> Il est difficile de savoir si au final cette régulation était nécessaire ou s'il s'agissait d'un excès de prudence ; la suite de la saison s'est montrée très favorable et la ressource n'a pas manqué.



sensibles à la sécheresse (sol profond pour le productif, et protection des arbres pour le forestier), sauf que les printemps secs sont aussi souvent chauds et précoces, ce qui est défavorable au type productif.

Les pelouses intermédiaires de l'étage alpin sont très souples d'exploitation et seront peu sensibles aux printemps précoces. Par contre elles seront sensibles aux printemps tardifs. C'est aussi une ressource qui peut être sensible au sec (juillet-août).

Sur l'exploitation, on trouve :

- Des prairies, temporaires pour la plupart (beaucoup de luzerne), irriguées, donc peu sensibles aux aléas de type sécheresse ; elles seront plus sensibles aux variations de précocité des saisons, fortes sur cette exploitation qui connaît une exposition de type *equi-var*. Ces prairies peuvent être pâturées au printemps, à l'automne, et elles sont fauchées durant l'été.
- Une diversité de parcours plus ou moins embroussaillés, depuis d'anciens prés de fauche assez productifs jusqu'à des surfaces avec un sol très superficiel (cône de déjection d'un torrent), ainsi qu'une multitude d'espaces pastoraux interstitiels : gravière de torrent, base de loisirs, fossés d'un fort Vauban... Dans l'ensemble ces ressources sont assez sensibles au sec, auquel elles sont exposées, surtout en comparaison des prairies. Elles sont plus souples d'exploitation que les prairies et moins sensibles aux variations de précocité du printemps. Elles sont également pâturées au printemps et à l'automne.

#### 6.2.2.4 *Gestion et capacités d'adaptation*

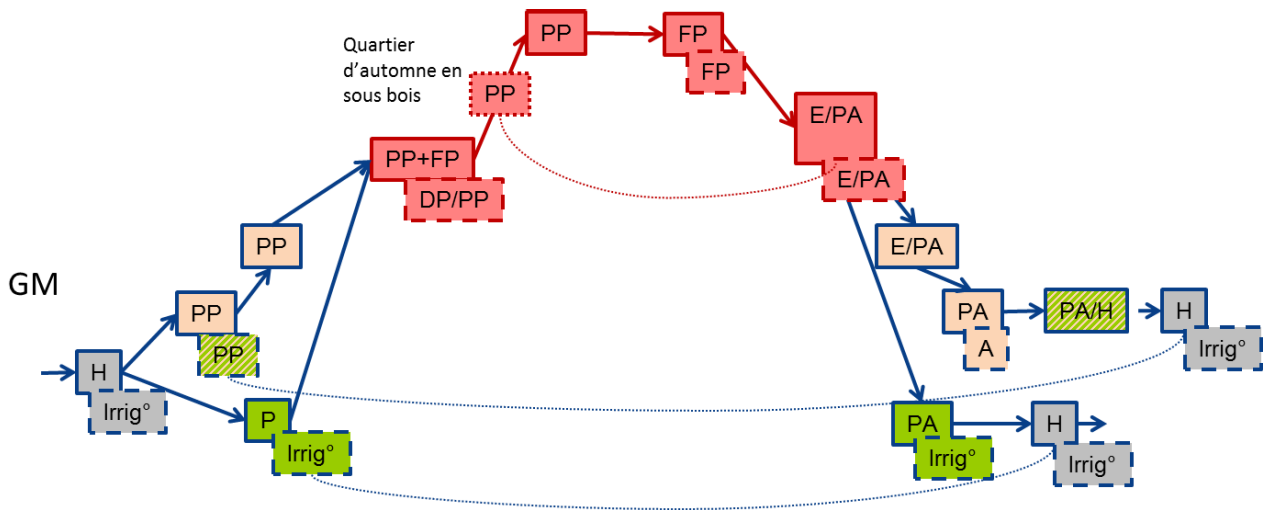
La Figure 87 rend compte de l'enchaînement des saisons-pratiques.

Sur l'alpage :

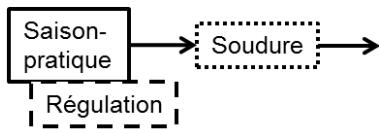
Les dates de montée en alpage varient très peu d'une année sur l'autre et ne peuvent être décalées, l'éleveur participant à une fête de la transhumance (par ailleurs la ressource est limitée au printemps sur l'exploitation et il est compliqué de retarder la montée en alpage). Les dates de descente peuvent éventuellement être un peu décalées (pour profiter de l'excédent des ressources sur le bas de l'alpage, abrité, avec les brebis vides et les agnelles de renouvellement), mais en général il y a aussi des ressources sur l'exploitation.

Sur le quartier bas, le troupeau pâture les faciès productifs en plein printemps, en complément des ressources en sous-bois. L'utilisation dans un même circuit de pâturage des deux types de ressources permet d'avoir une ration équilibrée ; le faciès forestier facilite la consommation des graminées trop avancées du productif (au fur et à mesure de la séquence, la part du forestier augmente). Le berger veille à bien faire consommer les végétations productives en début de saison d'alpage, car leur appétence diminue vite, et car leur qualité pourrait se dégrader en quelques années sinon. Cette séquence dispose de deux régulations : les végétations productives peuvent être pâturées à un stade précoce si nécessaire (mais cela compromet leur productivité sur la saison d'alpage), et les surface de Mélézin sont largement surdimensionnées, permettant d'assurer d'avoir suffisamment de ressources, d'autant plus qu'en dernier recours, un quartier de Mélézin normalement réservé pour l'automne (en raison d'enjeux environnementaux) permet de faire la soudure avec le quartier d'août : soudure activée uniquement l'année 2013 très tardive, où le troupeau est monté sur l'alpage à la date habituelle, a pu pâturer les végétations productives à un stade précoce, mais n'a pas pu monter au quartier d'août à la date habituelle (pas de végétation précoce au quartier d'août). Si la ressource est surdimensionnée en sous-bois, sa

mobilisation n'est pas aisé, car il y a de nombreuses règles de restriction d'accès à certains secteurs (enjeux environnementaux, zones de régénération des arbres, exploitation forestière).



Légende



Séquences liées (la consommation de la ressource dans une séquence limitera la disponibilité dans une séquence ultérieure)

DP: début printemps; PP: plein printemps; FP: fin de printemps; E: Eté; DA: début automne; PA: plein automne; FA: Fin d'automne; H: Hiver; P: printemps; A : automne

€: achats

MAJ vs. min : régulation importante vs. limitée

- Pâturage sur l'alpage sentinelle
- Pâturage sur d'autres alpages
- Transhumance hivernale
- Pâturage de ressources pastorales sur l'exploitation
- Pâturage de prés de fauche
- Alimentation sur stock
- Mise en pension hivernale

Figure 87 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitation CRO

Le quartier d'août est légèrement surdimensionné ce qui peut permettre de supporter une sécheresse modérée. Sinon il faut redescendre dans le forestier pour attaquer précocement la séquence automnale.

A l'automne la ressource est abondante, et il y a moins de contraintes d'usage des secteurs en sous-bois ; ce sont les premières mise-bas qui conduisent à descendre une partie du troupeau (tri progressif), puis la dégradation du temps. Sous le couvert forestier, le troupeau est relativement abrité, mais comme il y a aussi des ressources abondantes à faire pâturer sur l'exploitation à l'automne, la date de descente définitive n'est que très rarement retardée.

Sur l'exploitation, au printemps comme à l'automne, les brebis d'agneaux et les brebis à l'entretien sont conduites en deux lots distincts. Au fur et à mesure que les brebis allaitantes sont taries elles rejoignent le lot des brebis à l'entretien (les « turges »).

Au printemps, le lot des turges pâture principalement des zones pastorales, au cours d'une succession de séquences de plusieurs secteurs de pâturage en suivant l'étagement altitudinal de ces secteurs. Ce sont les

séquences les plus tendues ; chaque jour de pâturage est compté, parce que la production de ces ressources pastorales est très variable d'une année sur l'autre (exposition forte aux sécheresses), qu'il y a très peu de régulation sur ces surfaces (pratiquement tout est consommé), et que la disponibilité des surfaces interstitielles, utilisées durant la première séquence, peut varier d'une année à l'autre (absence de maîtrise foncière). L'exploitation se trouve au carrefour de deux axes routiers importants, en bordure d'un gros torrent et le long d'un axe ferroviaire. Il est presque toujours possible de trouver quelques surfaces tampons, mais au prix de grandes difficultés d'accès ; c'est pourquoi le pâturage en filet sur des prés de fauche sert également de régulation, autant pour des questions d'organisation du travail que de réel manque de ressources (quand il n'y a personne pour assurer le gardiennage, ou pas assez de monde pour faire traverser le troupeau). Sur les séquences suivantes pratiquement toute la ressource est consommée, et il n'y a donc pas de régulation (sur la Figure 87, par souci de lisibilité, seules deux séquences sont distinguées : une première autour de l'exploitation, et une seconde correspondant à l'enchaînement des différents autres secteurs, qui suivent la même conduite). Progressivement l'éleveur essaie de conforter ces différents secteurs pour limiter le temps à devoir passer sur les espaces interstitiels, et être moins contraint de monter rapidement en alpage. Ainsi depuis 2014, il a acquis quelques anciens prés de fauche qui servent de point d'appui pour explorer de nouvelles zones pastorales.

Au printemps le second lot pâture principalement des prés de fauche, irrigués. La conduite est plus simple. En cas de mauvais temps, de printemps tardif, la régulation se fait en laissant les animaux en bâtiment (prolongement de l'hiver). L'irrigation limite la variabilité quantitative de la ressource en cas de sécheresse ; il est par ailleurs possible de pâturer plus de prés si besoin.

A l'automne c'est la même logique : les brebis avec agneaux pâturent les prés, et les vides enchainent les différents secteurs pastoraux en redescendant. La situation est moins tendue qu'au printemps car il y a un secteur de pâturage supplémentaire récupéré en 2009 (il s'agit du cône de déjection d'un torrent, à cheval sur deux communes, pâture au printemps par des éleveurs de l'autre commune et à l'automne par GM), et les repousses de prés de fauche peuvent toutes être mobilisées pour le pâturage.

L'hiver, l'exploitation ne manque jamais de fourrages, même si l'irrigation n'est pas toujours mise en œuvre de façon optimale (comme cela représente une grosse charge de travail, les exploitants limitent parfois l'irrigation). L'exploitation vend du fourrage tous les ans. Elle peut en vendre moins si besoin (cela permet aussi de sécuriser la régulation du printemps par le pâturage de prés de fauche).

### **6.2.3 DAR : alpage ovin individuel des Hauts Plateaux du Vercors, éleveur du département**

#### **6.2.3.1 Présentation**

L'alpage ovin individuel DAR, situé sur la Réserve naturelle des Hauts Plateaux du Vercors est suivi depuis 2012. C'est un alpage qui accueille le troupeau d'une exploitation du Royans, au pied du massif du Vercors. Il y a un gardiennage permanent, assuré par les éleveurs de l'exploitation (un couple d'éleveurs et leur fils). C'est la même exploitation qui utilise cet alpage depuis plus de vingt ans ; elle y estive 1000 brebis. Des suivis plus anciens de ce système nous permettent d'avoir quelques éléments sur les pratiques antérieures. C'est un alpage assez bas en altitude, composé de deux quartiers ouverts (une combe et une crête) séparés par une forêt et distants d'environ 1H30 de marche avec des brebis. Il est utilisé de mi-juillet à début octobre. Suite à l'arrivée du loup, et dans une moindre mesure à l'augmentation de la taille du troupeau, de nombreuses modifications structurelles ont été faites dans la gestion de l'alpage : réduction de la durée d'estive d'un mois et demi, arrêt de l'engraissement des agneaux en alpage, moindre utilisation des sous-bois, mobilisation de la crête (pas utilisée auparavant).

L'exploitation ovine qui utilise DAR conduit environ 1000 brebis, avec deux périodes principales de mise bas (novembre-décembre, et avril-mai, avec un rattrapage en juin).

### 6.2.3.2 Exposition

L'alpage DAR subit une exposition de type PREC : alpage très précoce et avec une variabilité interannuelle importante de la précocité, exposé au gel (l'alpage DAR est le plus exposé des 25 alpages suivis), et peu exposé aux sécheresses.

L'exploitation est en plaine ; elle appartient au type *equi-var*, avec 4 saisons différentes toutes marquées, et une forte variabilité interannuelle dans la durée de ces saisons.

### 6.2.3.3 Sensibilité

L'alpage : le quartier bas est composé (1) d'une grande combe ouverte de pelouses intermédiaires, avec un mélange de faciès très grossiers (dominance de nard raide (*Nardus Stricta*) et carex (*Carex Sempervirens*), précoces et très peu appétents) et de faciès plus diversifiés et appétents), et (2) de nombreuses pelouses intraforestières tout autour de la combe. Le sol est très superficiel, et si l'alpage est peu exposé au sec, les pelouses intermédiaires sont très sensibles au moindre épisode de sécheresse. Elles sont également très sensibles aux variations de phénologie, en particulier les faciès grossiers qui sont rapidement difficiles à faire consommer au printemps. La ressource des pelouses intraforestières est moins sensible aux variations de précocité et aux sécheresses (effet d'atténuation du couvert forestier). Sur la crête on trouve aussi une végétation de type intermédiaire, avec une dominance du carex, et en termes de sensibilité, des similitudes avec le quartier bas.

La sensibilité de la ressource en eau d'abreuvement aux aléas climatiques est un élément majeur qu'il nous faut aborder sur cet alpage. En raison d'un sous-sol karstique, les ressources en eau sont très sensibles à la pluviométrie estivale sur l'alpage. En 2015 un impluvium a été mis en service sur le quartier bas, qui sécurise cette ressource. Sur le quartier haut il n'y a pas d'eau, ce qui oblige à redescendre régulièrement le troupeau.

Sur l'exploitation, on trouve de nombreuses prairies temporaires, sensibles au sec et aux variations phénologiques, aux printemps très froids ou très chauds en particulier (faible souplesse d'exploitation comparativement aux espaces pastoraux, même si les éleveurs choisissent des mélanges prairiaux souples d'exploitation). Les surfaces pastorales seront plus souples d'exploitation globalement, mais aussi plus sensibles au sec. On peut toutefois nuancer : on trouve notamment un parcours précoce utilisé au printemps qui est assez sensible aux printemps précoces (chauds) ; des parcours en moyenne montagne utilisés entre la plaine et l'alpage, constitués pour une bonne partie d'anciens prés de fauche, sont assez peu souples d'exploitation et sensibles aux variations phénologiques également.

### 6.2.3.4 Gestion et capacités d'adaptation

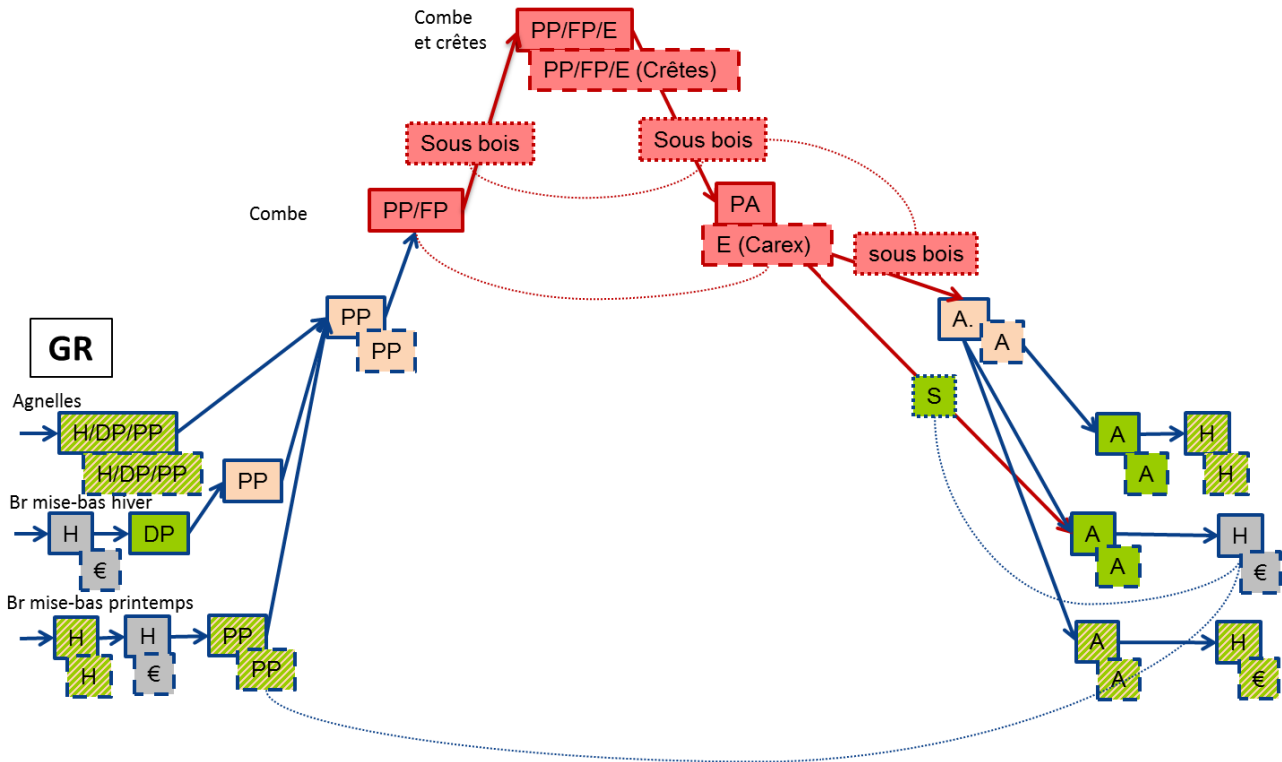
La Figure 88 rend compte de l'enchaînement des saisons-pratiques.

Sur l'alpage :

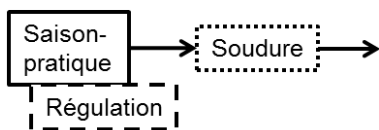
- La première séquence de pâturage se fait dans la combe au stade plein printemps ou fin de printemps (si année précoce ; plus la montée est retardée, plus le pâturage en fin de printemps est fréquent). Il n'y a pas vraiment de régulation sur cette séquence. Le pâturage se fait jusqu'à ce qu'il soit possible de passer à la séquence suivante, et de toutes façons il faut garder de la ressource sur

ped dans la combe pour les séquences suivantes (la repousse automnale n'est pas assurée à cause de la sensibilité au moindre épisode de sec).

- La séquence suivante (crête en alternance avec la combe) est plus souple. La ressource en crête peut être plus ou moins pâturée selon les besoins (selon les ressources présentes en bas), ce qui constitue une régulation potentiellement importante. L'absence d'eau en crête limite cependant l'intérêt de ce levier ; les allers-retours nombreux entre crête et combe représentent une consommation d'énergie importante pour les animaux.



Légende



Séquences liées (la consommation de la ressource dans une séquence limitera la disponibilité dans une séquence ultérieure)

DP: début printemps; PP: plein printemps; FP: fin de printemps; E: Eté; DA: début automne; PA: plein automne; FA: Fin d'automne; H: Hiver; P: printemps; A : automne  
 €: achats  
 MAJ vs. min : régulation importante vs. limitée

- Pâturage sur l'alpage sentinelle
- Pâturage sur d'autres alpages
- Transhumance hivernale
- Pâturage de ressources pastorales sur l'exploitation
- Pâturage de prés de fauche
- Alimentation sur stock
- Mise en pension hivernale

Figure 88 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitation DAR

- A l'automne, sur l'alpage le pâturage des repousses (plein automne) est régulé, selon la quantité de repousses, par un pâturage en parallèle plus ou moins important du report sur pied de la première

pousse, notamment des espèces peu appétentes (qui n'ont pas été touchées au printemps et constituent un stock sur pied, saison-pratique été). Pour faciliter le pâturage de cette ressource, les éleveurs jouent sur le gel automnal, qui fait changer l'appétence relative des différentes espèces. La gestion de cette régulation se fait sur un pas de temps pluriannuel : ces espèces, en particulier le carex, sont sensibles au pâturage et peuvent régresser rapidement si elles sont trop fortement pâturées. Les éleveurs veillent à ne pas trop fréquemment mettre la pression sur ces espèces, à ne pas les consommer tous les ans au même endroit.

- Enfin les sous-bois, immenses et qui constituaient la majeure partie de la ressource avant l'arrivée du loup, ne sont plus que très peu pâturés aujourd'hui (seules quelques clairières facilement accessibles sont pâturées). Les éleveurs, très marqués par des attaques sur leurs troupeaux, mobilisent très peu cette ressource. En dernier recours, les sous-bois peuvent quand-même constituer une soudure intéressante à n'importe quel moment dans la saison.

L'eau d'abreuvement est un élément majeur dans les régulations sur cet alpage : problématique de l'abreuvement en crête, consommation des espèces peu appétentes ou des végétations sèches (stade « Eté ») fortement conditionnée par la possibilité d'abreuver les troupeaux. Le manque d'eau jusqu'en 2014 constituait un frein autant que le manque de ressources. Il est arrivé (avant les suivis) que les éleveurs fassent monter de l'eau sur l'alpage.

Sur l'exploitation le système fourrager est assez tendu, avec un manque structurel de ressources compensé par de nombreux achats sur pied (herbe fauchée et pâturée, maïs ensilé). Une grande diversité de ressources est mobilisée, de manière différente d'une année sur l'autre, en fonction des aléas climatiques. Les éleveurs essaient de laisser au maximum les animaux au pâturage ; le pâturage permet de mobiliser une plus grande diversité de ressources en dehors du parcellaire de l'exploitation (pâturage sous les noyers des exploitations voisines, sur des vieux prés et parcours peu ou pas utilisés par leurs exploitants officiels...). Ils peuvent conduire des lots d'animaux (agnelles notamment) à plusieurs dizaines de km du siège d'exploitation. Différents ajustements sont mis en œuvre :

- De nombreuses régulations sont mises en œuvre au sein de chaque séquence de pâturage, où la plupart du temps sont combinées différents types de ressources pastorales et des prés de fauche. Les régulations correspondront à des modifications dans la part des différents types de végétation, en fonction de l'état des ressources et des opportunités que pourront saisir les éleveurs.
- Des séquences pastorales sont réalisés sur parcours à des altitudes intermédiaires, qui ont progressivement été développées en réponse aux contraintes importantes sur l'alpage. Un certain surdimensionnement semble laisser des marges de manœuvre (régulation) pour tenir juste avant et juste après l'alpage ; la conduite du pâturage en parcs quotidiens permet d'assurer la consommation de la ressource malgré sa sensibilité aux variations de précocité du printemps.
- A l'automne, une partie des brebis qui vont mettre bas descend précocement de l'alpage, et sans passer par les parcours des étages intermédiaires. Normalement ce sont les brebis gestantes qui portent deux agneaux, mais les éleveurs peuvent descendre plus de brebis si nécessaire pour décharger l'alpage et les parcours pâturés à la descente d'alpage. Cela peut être assimilé à une soudure (pâturage de prés de fauche pour des brebis qui sont rattachées à un autre lot que celui dans lequel elles devraient logiquement être).

DAR est un système alpage-exploitations où de nombreuses modifications structurelles sont effectuées régulièrement. Souvent des soudures mises en place de manière conjoncturelles servent de test et deviennent rapidement des saisons-pratiques de base. Ainsi auparavant l'ensemble du troupeau montait sur l'alpage à partir de mi-juin. Suite au développement de la prédation, et à l'augmentation progressive de la taille du troupeau (de 700 brebis en 2007 à environ 1000 brebis aujourd'hui), la montée a été progressivement décalée. La descente est généralement avancée aussi. Les agneaux ne montent plus sur l'alpage. Les éleveurs ont trouvé différentes ressources entre l'exploitation et l'alpage pour faire la soudure entre les différentes séquences : ils pâturent ainsi différents espaces à des altitudes intermédiaires, qui représentent un mois de pâturage au printemps et presque autant en automne. L'accès à ces espaces est néanmoins relativement précaire (locations verbales) et le système fourrager est fragile. Les éleveurs essaient de conforter progressivement le système dès que des opportunités s'offrent à eux ; ils ont ainsi pu acquérir un nouveau parcours en 2013, qui sécurise un peu la fin du printemps.

Au final sur ce système, même si l'exposition aux sécheresses est faible en alpage, les sécheresses sont les aléas qui menacent le plus le système, parce que les milieux d'alpages sont très sensibles à la moindre sécheresse, et parce que la sécheresse joue sur la quantité de ressource, premier facteur limitant sur cette exploitation, qui par ailleurs sait très bien jouer sur les variations phénologiques en mobilisant la diversité des ressources à disposition.

### **6.2.4 PON : alpage ovin collectif du Briançonnais (Ecrins), éleveur du département et éleveurs grands transhumants**

#### **6.2.4.1 Présentation**

L'alpage ovin collectif PON, situé dans le Briançonnais (Ecrins) est suivi depuis 2009. C'est un alpage qui accueille des troupeaux transhumants venant de régions de moyenne montagne des Alpes du Sud. Il y a un gardiennage permanent, assuré par plusieurs éleveurs-bergers qui se relaient.

Le système alpage-exploitations est caractérisé par de nombreuses évolutions structurelles. Jusqu'en 2011, l'alpage était utilisé par les exploitations LM (environ 270 brebis, département 04), OB (210 brebis, département 05, et dont nous ne détaillerons pas ici la gestion) et DC (non suivi, département 05). Ces trois exploitations ont aussi utilisé en commun un pare-feu dans les Bouches-du-Rhône durant les hivers 2011 et 2012. En 2012 OB et DC ont quitté le groupement pastoral pour aller sur un nouvel alpage, suite à l'augmentation de la taille du troupeau de DC et à des problèmes de prédation rencontrés sur l'alpage. HP (100 brebis, département 05, suivi depuis 2013) et BX (non suivi, département 26) ont alors rejoint le groupement.

L'exploitation LM est une communauté d'agriculteurs fédérés en coopérative sur une même exploitation agricole. Il y a plusieurs ateliers sur l'exploitation, mais ils sont gérés en très forte autonomie les uns par rapport aux autres. La principale période de mise-bas est au printemps ; jusqu'en 2012 il y avait une seconde période de mise-bas en automne.

L'exploitation HP est constituée d'un couple d'éleveurs avec un système encore peu stabilisé (bergerie non achevée) et très pastoral (très peu de foin récolté).

#### **6.2.4.2 Exposition**

L'alpage PON connaît une exposition de type SECH : exposition forte aux sécheresses, étalement de la maturité important.



Les deux exploitations appartiennent au type *equi-var* avec 4 saisons différentes toutes marquées, et une forte variabilité interannuelle dans la durée de ces saisons.

Un second alpage est utilisé, qui est situé dans la même zone d'exposition climatique que l'alpage PON, mais est plus bas en altitude et plus précoce (pâturage de pistes de ski) : exposition à la sécheresse sans doute similaire, mais alpage plus précoce, et étalement de la maturité moindre.

Le pare-feu qui a été utilisé en 2011 et 2012 était situé en climat méditerranéen.

### 6.2.4.3 Sensibilité

L'alpage est constitué presque exclusivement de végétation intermédiaire subalpine et alpine, et de pelouses nivales. Ces pelouses sont très souples d'exploitation et peuvent être pâturées tardivement sans qu'il y ait une perte en qualité. Elles sont donc peu sensibles aux printemps précoces. En revanche, du fait de l'absence de végétations précoces (queyrellin ou type productif – configuration assez rare dans les Ecrins), l'alpage est très sensible aux printemps tardifs ; de par l'absence de ressource en sous-bois ou embroussaillée, il est également assez sensible aux sécheresses estivales, auxquelles il est fortement exposé. Cette sensibilité à la sécheresse, notamment d'août, est quand-même atténuée en pratique par la bonne aptitude au report sur pied des pelouses intermédiaires de l'alpage, par la présence des pelouses nivales très tardives, et par l'étagement altitudinal.

L'exploitation HP est située sur un adret et est constituée principalement de parcours embroussaillés sur sols assez superficiels. Ces parcours sont très précoces et assez souples d'exploitation, donc peu sensibles aux variations de précocité des saisons ; par contre ils sont très sensibles aux sécheresses. Les surfaces en prés de fauche sont très limitées sur l'exploitation ; ce sont des prés assez peu productifs et également assez sensibles aux sécheresses aux dires de l'éleveur.

Sur l'exploitation LM la situation est très similaire : les parcours ont une très bonne aptitude au report sur pied pour le pâturage hivernal (présence d'aphyllanthe de Montpellier). Les prairies de fauche semblent plus productives, mais ne vont pas en priorité à l'alimentation des ovins.

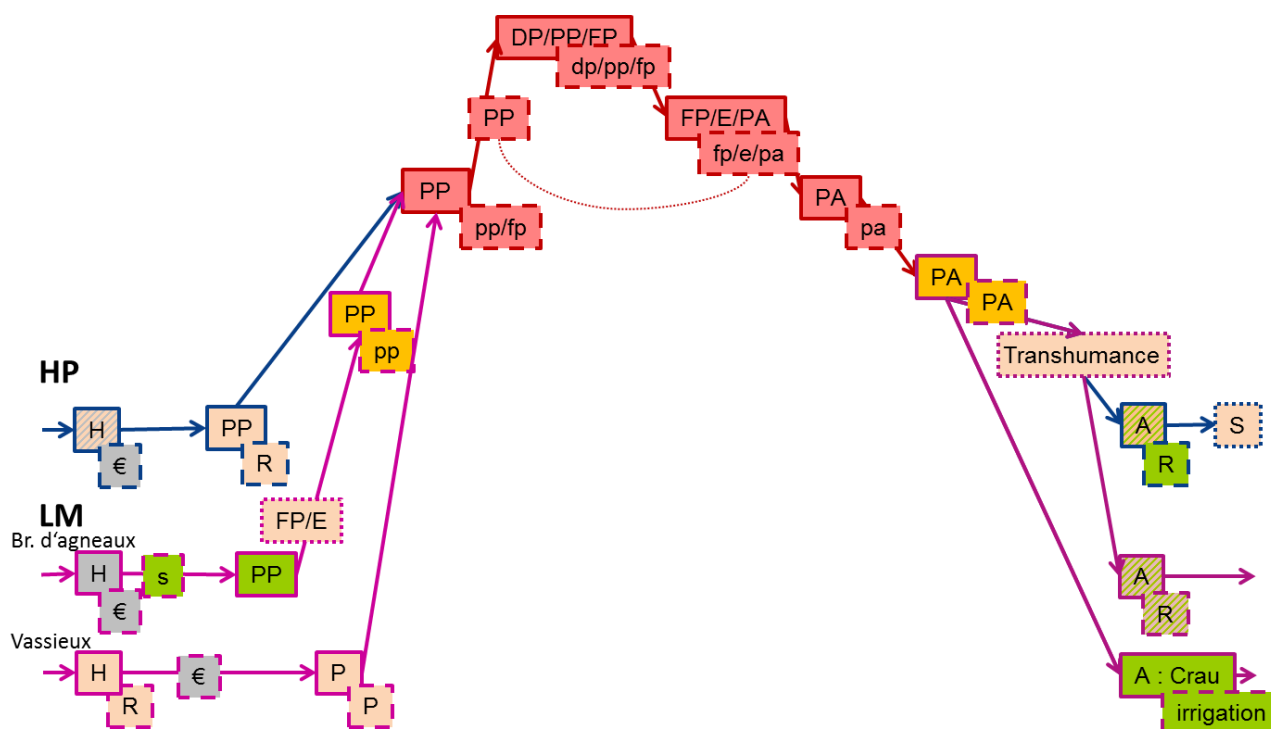
Les ressources sur la zone de transhumance hivernale utilisée en 2011 et 2012 étaient particulièrement sensibles aux sécheresses estivales et automnales (pâturage de stock sur pied dans l'hiver), ainsi qu'aux épisodes de froid dans l'hiver (pas d'abris pour les troupeaux).

A noter enfin sur ces exploitations, les glands qui peuvent constituer une ressource pastorale importante à l'automne et dans l'hiver. La productivité de cette ressource est très variable d'une année sur l'autre. Notre modèle ne prend pas en compte cette ressource ; l'effet des conditions climatiques sur cette ressource reste difficile à déterminer ; aucun des acteurs interrogés (éleveurs, bergers, techniciens) n'est en mesure de proposer des hypothèses.

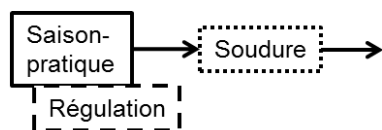
### 6.2.4.4 Gestion et capacités d'adaptation

La Figure 89 rend compte de l'enchaînement des saisons-pratiques. Les dates d'utilisation de l'alpage varient très peu. La montée a lieu dans les derniers jours de juin. La descente a lieu dans les premiers jours d'octobre. De par sa configuration, il y a peu de marges de manœuvre sur l'alpage. Il y a un déséquilibre dans les ressources entre un quartier bas petit (et sans végétations précoce) et des quartiers hauts assez grands, qu'il est difficile de mobiliser comme ressource tampon (voir ci-dessous). C'est à cause de ce manque de souplesse sur l'alpage que la montée a été retardée suite à la sécheresse de 2003 (elle avait lieu mi-juin auparavant). Et c'est donc sur les autres espaces qu'il a fallu trouver des marges de manœuvre.





### Légende



Séquences liées (la consommation de la ressource dans une séquence limitera la disponibilité dans une séquence ultérieure)

**DP**: début printemps; **PP**: plein printemps; **FP**: fin de printemps; **E**: Été; **DA**: début automne; **PA**: plein automne; **FA**: Fin d'automne; **H**: Hiver; **P**: printemps; **A** : automne  
**€**: achats  
**MAJ** vs. **min** : régulation importante vs. limitée



Figure 89 : Représentation schématisée de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitations PON

Dans le détail :

- Sur le premier quartier il n'y a pratiquement aucune marge de manœuvre au printemps (quartier de dimension réduite, végétation tardive sans étalement de la phénologie). Un secteur qui doit être laissé pour les bouquetins (Mesure Agri-Environnementale) pourrait être pâturé en dernier recours.
- Sur le quartier d'août la ressource est plus abondante. Mais c'est le climat qui limite les possibilités. Même si de belles journées permettraient de pâturer en septembre, l'aller-retour est difficilement faisable sur la journée et cette ressource ne peut pas vraiment être mobilisée davantage.
- Un quartier intermédiaire de l'alpage sert surtout à l'automne ; il pourrait servir de soudure fin juillet si nécessaire, avec le risque d'un manque de ressource en automne. Ici aussi la ressource est abondante ; en septembre il s'agit surtout de consommer la pousse de printemps sur pied, plus qu'une pousse automnale généralement absente (étage alpin). L'arrivée du loup sur cet alpage en

2011 a également limité la possibilité de mobiliser ce quartier en soudure en juillet et en régulation en septembre (absence de cabane jusqu'en 2014 ; une cabane d'appoint héliportée en 2015).

Sur l'exploitation LM :

- La fin de la gestation et les mises-bas ont lieu en bâtiment en fin d'hiver ; sinon le troupeau est en principe toujours au pâturage, sauf mauvais temps prolongé : peu de stocks fourragers pour les ovins, et régulation par des achats.
- Au printemps, la mise à l'herbe des brebis d'agneaux est effectuée sur prairies dès que la végétation est suffisamment avancée (d'une année sur l'autre la date peut varier entre le 10 et le 25 avril, cf. exposition à une forte variabilité climatique ; une période plus ou moins longue de transition avec distribution de fourrage en bâtiment permet de tamponner les variations). C'est la principale fragilité du système fourrager: si le printemps tarde, la régulation par les achats de foin peut être importante, alors que les besoins animaux sont forts à cette période. Certaines années, il est possible de faire une soudure par le pâturage de couverts hivernaux en sortie d'hiver, voire de céréales avant montaison ; mais à cause du manque de coordination entre ateliers ce n'est pas systématique.
- Depuis que la montée sur l'alpage PON a été retardée, un autre alpage est utilisé avant et après PON (pistes de ski sur une station de ski à quelques kilomètres), qui constitue comme un quartier bas pour l'alpage (si ce n'est l'éloignement entre les deux alpages qui interdit les allers-retours). Conçu au départ comme une soudure entre l'alpage et l'exploitation, cette séquence est devenue une séquence indispensable. La régulation se fait par le surdimensionnement de la ressource sur ce quartier. Au printemps la régulation est limitée, car les pistes sont partagées avec un troupeau bovin ; à l'automne la ressource est très excédentaire.
- Sur toutes les autres séquences, les régulations sont importantes, par la mobilisation de surfaces-tampons, une grande mobilité et la capacité à adapter les pratiques pour saisir des opportunités.
- Une soudure importante est effectuée à l'automne entre les séquences d'alpage (y compris les pistes de ski) et les séquences sur l'exploitation, par la réalisation d'une transhumance à pied, qui peut durer de 3 semaines à plus d'un mois selon l'état des ressources sur l'exploitation à l'automne. Cette soudure n'est que rarement nécessaire (elle l'est de moins en moins car les éleveurs ont conforté une nouvelle place de pâturage sur une exploitation voisine à l'automne). Elle est néanmoins réalisée presque systématiquement (toutes les années de suivi sauf 2014) afin d'assurer le maintien de « places » tout au long du parcours.
- En hiver et au printemps, le « vassieux » (animaux à faible besoins : brebis vides, agnelles, béliers...) enchaîne des séquences sur des surfaces pastorales. Durant les années de suivi ces surfaces pastorales ont beaucoup évolué. La distribution de fourrage peut servir de soudure en dernier recours si les stocks sur pieds des parcours ont été entièrement consommés et que la pousse de printemps tarde à venir, ou en cas de très mauvais temps. A l'automne une partie du Vassieux est envoyé depuis 2013 sur des repousses de prés irrigués en Crau (opportunité saisie, non prévue). Les éleveurs se posent la question de réintroduire une période de mise-bas d'automne, pour mieux valoriser cette ressource et alléger la tension au printemps.

L'exploitation HP a une logique de fonctionnement assez similaire à celle de LM et nous ne la détaillerons pas autant. Nous mettons simplement l'accent sur les éléments suivants :

- L'utilisation des pistes de ski et la transhumance à pied organisée par les éleveurs de LM profitent aussi à HP à l'automne. On pourrait s'interroger sur le caractère de soudure de cette séquence, dans la mesure où HP n'a pas la main.
- Sinon l'exploitation active des régulations, qui sont assez réduites, surtout à l'automne et l'hiver car les surfaces de l'exploitation doivent permettre de tenir au maximum (pour économiser du fourrage) alors que la pousse est très limitée.
- En dernier recours des surfaces pastorales éloignées, exposées à la prédation, pourraient être mobilisées.

Sur ce système alpage-exploitations, contrairement au cas CHP, il n'y a pas de complémentarité entre les exploitations LM et HP (et OB auparavant), exposées aux mêmes types d'aléas, et fonctionnant de manière similaire (même types de ressources, même calendrier zootechnique). Par contre cette similarité de fonctionnement permet de mettre en œuvre une certaine solidarité en prolongeant le fonctionnement collectif au-delà de la séquence d'alpage.

## **6.2.5 ROS : bovin laitier individuel de Tarentaise (Vanoise), éleveur de la commune**

### **6.2.5.1 Présentation**

L'alpage laitier individuel ROS, situé en Tarentaise (Vanoise), est suivi depuis 2011. Il est utilisé par l'exploitation PP, qui y monte l'ensemble de ses 200 vaches laitières, taries et en production, ainsi que des vaches prises en pension depuis 2014.

Pour les quatre éleveurs membres du GAEC familial, l'alpage est central dans l'exploitation. C'est là que se fait la majeure partie du revenu (production de fromage Beaufort Chalet d'alpage), et c'est aussi l'image de l'exploitation, et de la filière dans son ensemble. L'attachement est aussi sentimental, l'alpage était déjà utilisé par les parents et grands-parents des exploitants. Une bonne gestion de l'alpage prime sur tout. L'alpage est géré de manière (1) à limiter les baisses de production laitière et (2) à limiter le sous-pâturage pour assurer un renouvellement, voire une amélioration de la ressource année après année. Le troupeau est conduit au fil, la machine à traire régulièrement déplacée, les bouses étalées. La taille du troupeau de l'exploitation est calée sur la taille de l'alpage, pour que celui-ci soit pâturé presque complètement en année normale, ce qui empêche de disposer de marges de manœuvre significatives. Un des éleveurs, trois salariés et une main d'œuvre familiale bénévole (proche de 2 ETP) sont mobilisés sur l'alpage laitier.

### **6.2.5.2 Exposition**

L'exposition aux aléas climatique de l'alpage ROS est de type TARD : alpage tardif, arrosé, avec une faible variabilité interannuelle du climat.

L'exposition de l'exploitation est de type hiver-var, avec des hivers longs, et une précocité du printemps assez variable. L'exposition aux sécheresses est limitée.

### **6.2.5.3 Sensibilité**

L'alpage est constitué sur le bas d'importants secteurs de végétation productive. Précoce, cette végétation permet de compenser le climat tardif de l'alpage. Elle est peu souple d'exploitation et ne peut être consommée tardivement (d'autant moins que les éleveurs visent un haut niveau de production et un bon entretien des végétations). Le reste de l'alpage est constitué de pelouses intermédiaires subalpines et alpines d'assez bonne qualité (avec toutefois une présence assez importante pour un alpage laitier du nard raide sur les secteurs excentrés en pente). Cette végétation est plus souple d'exploitation et est moins

sensible aux variations de précocité (limitées de toutes façons) ; elle peut être plus sensible aux sécheresses (elles aussi limitées) que les végétations productives (sols moins profonds).

Sur l'exploitation, les prairies sont productives et peu souples d'exploitation comparativement aux surfaces pastorales. Elles sont étagées de 700 à 1500 m, ce qui permet d'atténuer l'effet des variations de précocité du printemps (la variabilité de phénologie interne aux prairies est supérieure à la variabilité interannuelle de phénologie due au climat). Certaines des surfaces pastorales sont très embroussaillées, assez souples d'exploitation. Elles sont pour une part assez sensibles aux sécheresses (adrets, pentes et sols superficiels localement).

#### 6.2.5.4 *Gestion et capacités d'adaptation*

La Figure 90 rend compte de l'enchaînement des saisons-pratiques :

- Sur l'alpage : la montée n'a lieu que lorsque la ressource est jugée suffisante (retour sur l'exploitation impossible, nécessité d'assurer la production laitière). Les vaches, conduites au fil, consomment l'ensemble de l'herbe selon un circuit qui est le même chaque année, et sans jamais manquer d'herbe. Dans ces conditions les régulations sur l'alpage sont très faibles ; sur chaque quartier un tout petit peu de pâturage peut être gagné sur les marges (l'alpage est situé dans un vallon et ses bordures sont un peu moins explorées).
- La seule possibilité en cas de manque de ressource pendant la saison d'alpage (sécheresse estivale) serait de réaliser une soudure en redescendant sur l'exploitation pour distribuer du fourrage (soudure jamais activée mais envisagée durant l'épisode de sécheresse de l'été 2015), en attendant que la végétation redémarre sur les surfaces de l'exploitation.

C'est donc sur l'exploitation PP que l'on trouve les marges de manœuvre.

- Pour réguler un manque de ressources durant l'hiver (sécheresse estivale ou été pluvieux et mauvaise qualité des fourrages – la durée en bâtiment étant stable), les exploitants achètent des fourrages supplémentaires. La mise à l'herbe a lieu à dates fixes (15 mai pour les vaches laitières) ; elle n'est pas retardée lorsque le printemps est tardif (comme en 2013), pour limiter la consommation de fourrages.
- Le pâturage de printemps encaisse donc la majeure partie des variations de précocité (principal aléa auquel l'exploitation est exposée). Tant que la ressource n'est pas au rendez-vous sur les alpages, le troupeau laitier reste au pâturage sur des prés de fauche supplémentaires (régulation par des surfaces-tampon, qui de ce fait ne seront pas fauchées ou auront une coupe de moins), et les génisses restent sur des parcours (régulation par un surdimensionnement des parcours).
- A l'automne la ressource est abondante avec les repousses (régulation par un surdimensionnement). C'est le rafraîchissement du climat qui conduit à rentrer les animaux (d'abord les laitières, plus sensibles). Une séquence de transition se détache pour les laitières. Elle correspond au pâturage de parcours productifs autour du bâtiment. Cette séquence est incompressible, sans régulation, et dépend uniquement des ressources sur ces parcours bien délimités.

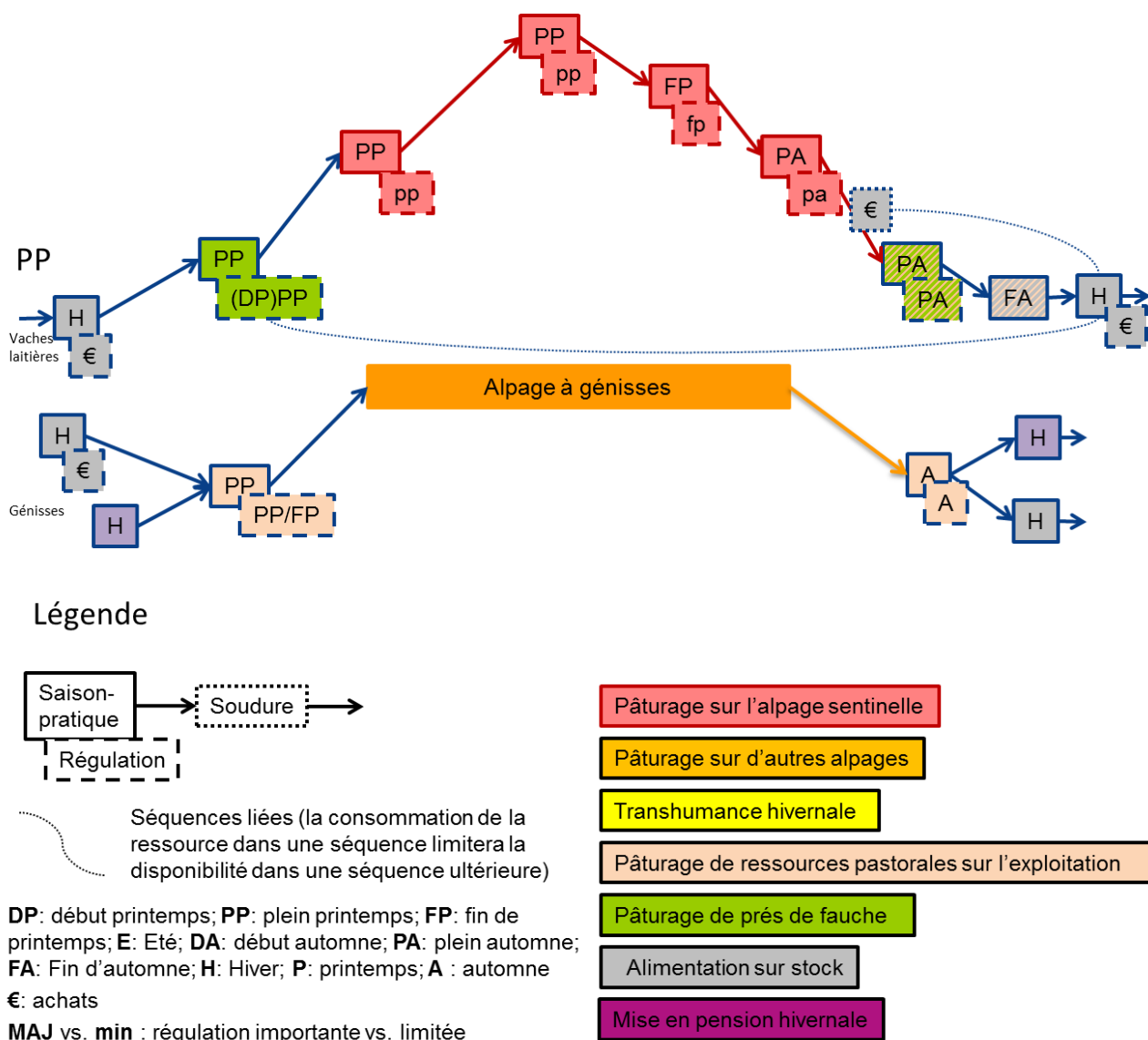


Figure 90 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitations

L'exploitation est loin de produire suffisamment de fourrages (près de la moitié du fourrage est acheté). Economiquement les achats de fourrage ne constituent pas une grosse difficulté ; par contre, l'exploitation est à la limite de ce qui est autorisé dans le cahier des charges de l'AOP Beaufort. Or pratiquement tous les ajustements face aux aléas climatiques conduisent à augmenter les achats, directement ou indirectement : achats de fourrage pour compenser une moindre production ou une mauvaise qualité du foin, pâturage de prés normalement destinés à la fauche pour compenser un manque de ressource sur l'alpage, distribution de fourrage en cas de manque de ressource en alpage ou au pâturage sur l'exploitation (levier envisagé, mais pas activé durant les années de suivi).

Pour limiter ces achats de fourrage, depuis 2014 les exploitants ont réduit la taille du troupeau laitier et du troupeau de génisse, et ils prennent des vaches laitières en pension l'été. Cela permet de réduire la pression sur les surfaces de l'exploitation sans réduire celle sur l'alpage. Les éleveurs regrettent d'avoir à faire cela, et de devoir prendre des risques sur le plan sanitaire. Enfin ils souhaiteraient pouvoir développer l'irrigation ; mais cela nécessiterait une action territoriale concertée, qui est difficilement envisageable à l'heure actuelle.

Pour les génisses le raisonnement est différent. Les animaux peuvent supporter une sous-alimentation temporaire, et le maintien de la qualité des surfaces exploitées est secondaire. Ainsi les surfaces pastorales d'intersaison sont largement surdimensionnées (les éleveurs déplorent que ces surfaces, plus basses que les alpages, s'enrichissent rapidement, mais ils estiment ne pas pouvoir tout bien entretenir). Sur l'alpage à génisses de l'exploitation, où sont pris en pension d'autres animaux, il y a également suffisamment de ressources pour faire face aux aléas. Une partie des génisses est mise en pension en hiver ; si cela améliore le ratio d'autonomie fourragère à respecter (et allège les charges de travail), cela ne donne pas de marges de manœuvre face aux aléas car l'effectif et les durées de mise en pension sont fixes.

### 6.2.6 SUR : alpage ovin collectif du Valgaudemar (Ecrins), éleveurs de la commune

#### 6.2.6.1 Présentation

L'alpage ovin collectif SUR, situé dans le Valgaudemar (Ecrins), est suivi depuis 2008. C'est un alpage qui accueille les troupeaux de trois exploitations de la commune. Il y a un gardiennage permanent jusque début octobre, puis les animaux sont surveillés par les éleveurs jusque fin octobre, période durant laquelle se déroule la lutte d'automne. La même bergère a gardé cet alpage pendant une vingtaine d'années et est partie après la saison 2012. Depuis, plusieurs bergers se sont succédés. Les exploitations utilisatrices ont toutes un fonctionnement assez proche ; seule l'exploitation JB est suivie.

JB est une exploitation individuelle d'un jeune agriculteur installé en 2005. Les mises-bas sont réparties en deux périodes (printemps et automne).

#### 6.2.6.2 Exposition

L'alpage subit une exposition aux aléas climatiques de type SECH, avec une exposition forte aux sécheresses, un étalement de la maturité sur l'alpage (étalement altitudinal).

L'exploitation a été classée avec les exploitations du type *equi-var*, qui subissent 4 saisons bien marquées et de durées variables. S'il nous semble, d'après les pratiques et les perceptions de l'éleveur, que les sécheresses peuvent effectivement être marquées et sont variables, les variations de précocité au printemps sur cette exploitation semblent moindres que pour les autres exploitations de ce type, et l'hiver est nettement plus long, vraisemblablement en lien avec la localisation de l'exploitation au fond d'une vallée encaissée et avec un parcellaire en grande partie en ubac.

#### 6.2.6.3 Sensibilité

Sur le bas d'alpage on trouve des végétations productives, précoces et peu souples d'exploitation, qui seront sensibles aux printemps précoces (végétation trop avancée à l'arrivée des troupeaux). Le reste de l'alpage est constitué de pelouses intermédiaires subalpines et alpines, très souples d'exploitation mais qui seront assez sensibles au sec, auquel elles sont fortement exposées. Des faciès embroussaillés sont également présents sur l'alpage: peu constitués d'espèces d'intérêt pastoral, l'effet d'ombrage des ligneux atténue un peu la sécheresse.

Sur l'exploitation, les prés de fauche sont irrigués pour une bonne partie. Ils sont donc en principe peu sensibles aux sécheresses. Dans les faits, l'irrigation n'est pas toujours efficace (irrigation gravitaire qui impose des corvées d'entretien et une charge de travail importante à l'éleveur).

Les parcours, en ubac, sont plus sensibles au sec (sols superficiels).

6.2.6.4 Gestion et capacités d'adaptation

La Figure 91 rend compte de l'enchaînement des saisons-pratiques. Les dates d'utilisation de l'alpage varient assez peu. Les éleveurs parviennent -difficilement- à décaler de quelques jours la montée si nécessaire, ou à étaler un peu la montée des différents lots (montée retardée de 5 jours en 2013, et montée plus échelonnée). Comme pour les éleveurs de montagne de CHP (section 6.2.1), les prés de fauche sont conservés pour la constitution des stocks. La charge de travail en été pousse les éleveurs à se décharger dès que possible des soins aux troupeaux, sur un alpage où ils ont l'impression que « ça passe toujours ». Globalement, en cas d'aléa qui touche l'alpage, le berger doit donc trouver les marges de manœuvre sur l'alpage.

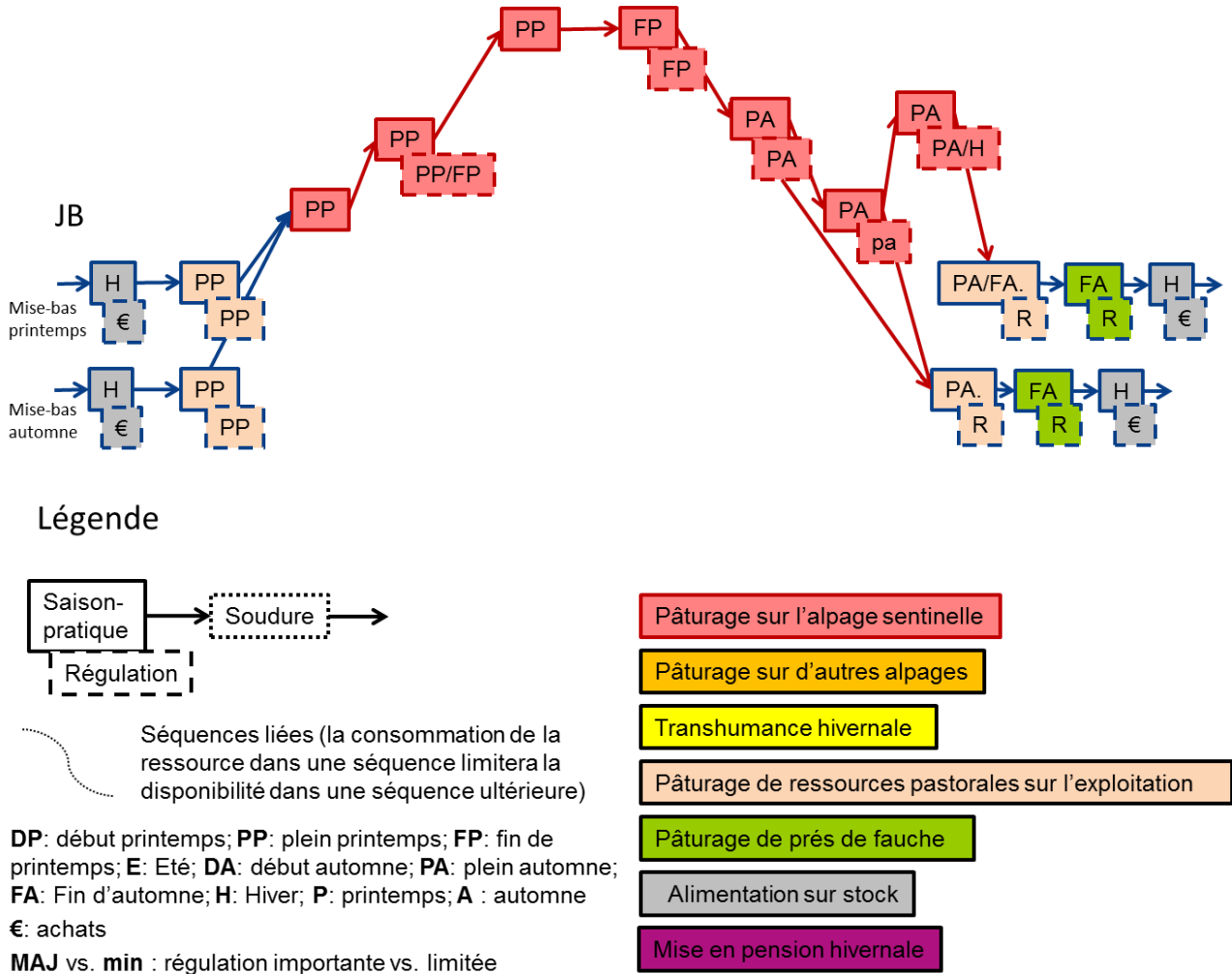


Figure 91 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitations

- Sur chaque quartier de l'alpage, des régulations peuvent être effectuées (Figure 91). Elles sont très réduites sur le quartier bas, faciès productif qui doit être entièrement consommé pour une gestion durable de la ressource. Sur les autres quartiers elles sont assez importantes en théorie, mais la mobilisation de la ressource peut être très compliquée et nécessite de nombreux ajustements du pâturage : décalage dans les dates d'utilisation des différents quartiers, variations dans les circuits de pâturage au sein des quartiers pour mobiliser différentes ressources selon les aléas, mobilisation de secteurs escarpés par l'éclatement du troupeau en petits lots (ce dernier levier, qui a sauvé la saison 2009, est difficilement activable aujourd'hui, le loup étant présent dans la zone depuis 2014).

- En fin de saison, un troupeau de taille réduite est laissé libre sur le quartier de juillet. Même si la ressource ne pousse plus, l'immensité du quartier pour un troupeau réduit et aux besoins faibles permet largement de passer avec suffisamment de ressources. C'est plus le risque de mauvais temps qui est à craindre pour ces animaux.

Sur l'exploitation :

- La période en bâtiment dure environ 5 mois. La régulation se fait par des achats de fourrages lorsque la ressource est insuffisante (à cause des sécheresses estivales principalement). La principale difficulté pour l'exploitation JB est d'assurer l'autonomie fourragère pour l'hiver. Avec la recrudescence des aléas et l'augmentation de la taille du troupeau, l'éleveur peine à atteindre l'autonomie fourragère même les années favorables. La production reste très variable, et il n'est pas toujours possible de faire plusieurs coupes, ce qui atténuerait la variabilité (Figure 92).

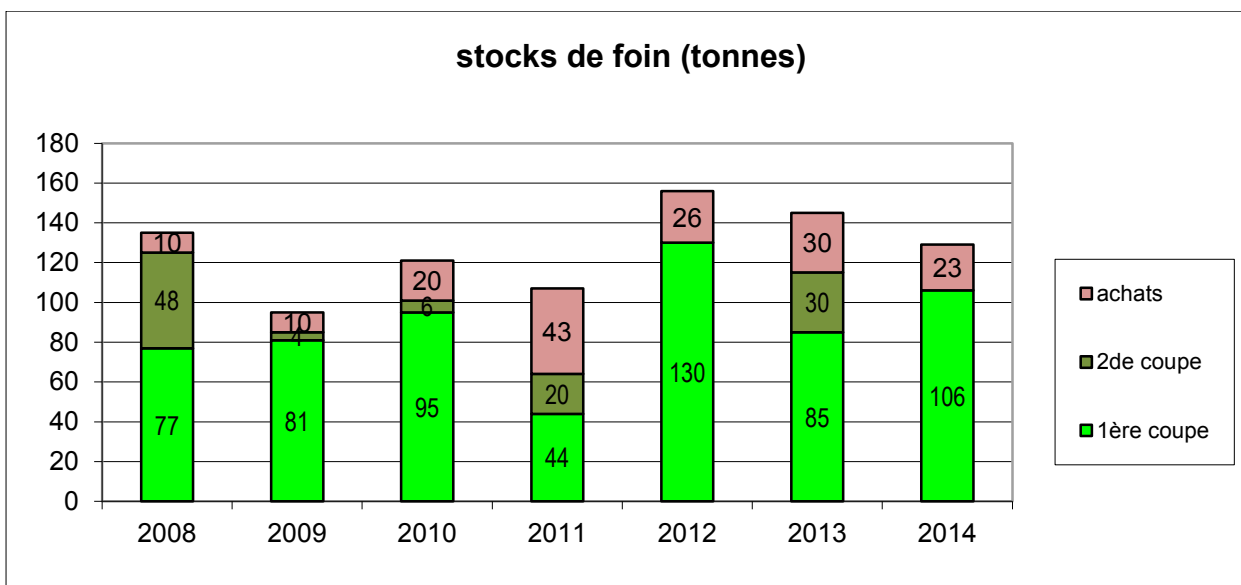


Figure 92 : Stocks de foin récoltés et achetés chaque année sur l'exploitation JB

Les besoins annuels sont estimés à environ 130 tonnes en moyenne. Sur le graphique on voit bien en particulier l'effet sur la production fourragère de la sécheresse estivale de 2009 et de la sécheresse printanière de 2011. En 2011, l'éleveur a également acheté de la paille de pois (non représenté sur le graphique) pour compléter l'alimentation hivernale des animaux durant l'hiver 2011-2012.

- Les achats de fourrage pèsent fortement sur l'exploitation. L'éleveur a très peu d'autres leviers à sa disposition : une partie des prés de fauche est irriguée par irrigation gravitaire ; mais cette régulation demande un travail énorme (entretien des canaux, et mise en place de l'irrigation) pour un résultat mitigé. A cela s'ajoute d'importants et fréquents dégâts de sangliers. La pression foncière est assez forte sur les prés de fauche dans cette vallée étroite, et il n'est pas possible de s'agrandir. La mise à l'herbe n'est jamais beaucoup retardée (une dizaine de jours maximum).
- Au printemps et en début d'automne, régulation par le surdimensionnement des parcours. Ces surdimensionnements, qui pourraient servir à alléger la pression pastorale sur l'alpage (retarder la montée par exemple), sont peu mobilisés pour cela : la surveillance de deux lots dans des parcours immenses escarpés et très embroussaillés demande une forte présence, que l'éleveur peut difficilement assumer seul (aide du père retraité). Ces contraintes de travail et l'obligation de



conserver tout ce qui est fauchable pour l'alimentation hivernale expliquent la réticence à retarder la montée en alpage ou à récupérer des animaux précocement. Par ailleurs, l'éleveur ne connaît pas bien les difficultés de gestion que peut connaître le berger et estime que « sur l'alpage, ça passe toujours ».

- La fin d'automne est effectuée sur des prés de fauche, qui restent plus productifs quand la météo se dégrade. Il y a aussi un effet de la configuration du parcellaire : les parcours sont en ubac, et « perdent le soleil » en automne ; les prés en fond de vallée sont mieux exposés. En général c'est la dégradation du temps qui contraint à rentrer en bâtiment.

### 6.2.7 Bilan des études de cas

Vus au travers du modèle de gestion et en termes de saisons-pratiques, les ajustements conjoncturels et structurels ne sont pas du tout de même nature. Les leviers activés de manière conjoncturelle correspondent tantôt à des régulations intégrées au sein de chaque séquence de pâturage, tantôt à des soudures entre deux séquences de pâturage ; lorsque nous reconstituons le fonctionnement du système fourrager ces ajustements existants sont décrits, qu'ils soient activés ou non une année donnée. Les ajustements structurels peuvent correspondre à des modifications de l'enchaînement de saisons-pratiques, des régulations ou soudures mobilisables, ou du niveau potentiel de ces régulations ou soudures, donc à des modifications du système fourrager et de sa structuration en termes de saisons-pratiques.

Une même action technique pourra selon les cas être assimilée à une régulation ou une soudure : des achats de fourrages, s'ils sont utilisés pour compléter les animaux au pâturage en été, sont assimilables à une soudure, une séquence spécifique mise en place en attendant le redémarrage automnal de la végétation. S'ils doivent permettre de prolonger une séquence hivernale d'alimentation en bâtiment en attendant la pousse printanière, il s'agit bien d'une régulation. De la même façon, que la conduite soit très planifiée ou au contraire qu'elle s'ajuste au fur et à mesure ne présage en rien du fait que les leviers activés sont des régulations ou des soudures. Des soudures peuvent être prévues dans un circuit de pâturage bien établi ou être mises en place sans avoir été anticipées. Il en est de même pour les régulations.

Enfin, une rigidité du calendrier d'une année sur l'autre pourra selon les cas révéler un système avec des régulations importantes (surdimensionnement par exemple) qui permet de ne pas avoir à se soucier de la ressource pour planifier le pâturage, ou au contraire un système dont les pratiques sont très contraintes par des facteurs externes (cahier des charges, mesures agri-environnementales, réservation de camion pour la transhumance...), où néanmoins on parvient à trouver des régulations, mais pas forcément durables (risques de surpâturage ou sous-pâturage et diminution de la qualité de la ressource, dégradation de trésorerie...). De la même manière, un calendrier qui évolue beaucoup d'une année sur l'autre pourra révéler de nombreux ajustements maîtrisés pour coller aux dynamiques des ressources, ou à l'inverse une grande instabilité du système et une difficulté à gérer les aléas. En conséquence ce n'est pas tant en s'appuyant sur les dates ou les durées des séquences de pâturage que l'on identifie les saisons pratiques, les régulations et les soudures mises en place, que par la compréhension, au travers des entretiens conduits chaque année, des logiques de gestion à chaque séquence et pour chaque ajustement : type de ressource consommée (type de végétation, dynamique de la végétation et mode de prélèvement), pour quel objectif, difficulté posée par l'aléa et insertion de la séquence dans l'ensemble du déroulement de la campagne.

Il apparaît à l'analyse des cas au travers du modèle que trois types d'ajustements peuvent être distingués : les soudures et deux types de régulations distincts.

- Les régulations intra saisons-pratiques sont des régulations mises en place au sein d'une saison-pratique, pour compenser un manque de ressource sur cette saison-pratique. Parmi les exemples décrits dans ce chapitre, SUR met principalement en œuvre ce type de régulation : régulation du manque de fourrage en hiver par des achats, régulation du pâturage d'intersaison par un surdimensionnement des parcours, régulation des différentes séquences sur l'alpage par une combinaison de plusieurs ajustements, et ce de manière assez autonome sur chaque quartier.
- Les régulations inter saisons-pratiques : dans certaines situations, les marges de manœuvre au cours d'une saison-pratique peuvent être très réduites, voire nulles, et il n'y a pas non plus de soudure possible. Dans ces situations, les éleveurs et les bergers mobilisent des régulations sur les séquences avant ou après la séquence où la ressource est insuffisante pour compenser le manque de marges de manœuvre au sein de cette saison-pratique. C'est-à-dire qu'une ou plusieurs saisons-pratiques font tampon pour une ou plusieurs autres. ce type de régulation est mis en œuvre sur le système alpage-exploitation ROS : comme il dispose de très peu de marges de manœuvre durant la saison d'alpage (pas de surplus de ressource, impossibilité de sous-alimenter les animaux, montée de foin sur l'alpage impossible), le manque de ressource sur l'alpage est compensé par l'allongement des séquences sur l'exploitation (par exemple pour compenser le retard de végétation au printemps 2013, pâturage de plus de prés de fauche qu'initialement envisagé).
- Les soudures sont mobilisées entre deux saisons-pratiques, lorsque les ressources de la saison pratique en cours sont épuisées (ou plus disponibles) et que celles prévues pour la saison suivante n'ont pas encore poussé, ou sont en quantité insuffisante et doivent être réservées pour plus tard. Le cas PON met en œuvre des soudures, par exemple en organisant entre les séquences d'alpage et les séquences automnales sur l'exploitation une transhumance à pied, qui peut faire gagner plus d'un mois de pâturage à la majeure partie du troupeau si nécessaire.

### 6.3 Identification de différentes logiques d'ajustement

Dans cette partie, nous effectuons d'abord un bilan des leviers activés sur les alpages et les exploitations que nous avons suivis sans mobiliser notre modèle conceptuel, et comparons ces leviers avec ceux identifiés dans différents travaux précédents. Cela nous permet de repositionner notre travail par rapport à ces travaux. Dans un second temps nous construisons une typologie de systèmes alpage-exploitations en fonction de logiques d'ajustement que notre modèle a permis d'identifier, et essayons d'identifier des facteurs explicatifs au choix de l'une ou l'autre des logiques.

Nous considérons els 25 systèmes alpage-exploitations de notre échantillon, mais nous nous appuyons de manière préférentielle sur els six cas précédemment décrits pour illustrer nos propos.

#### 6.3.1 Identification des leviers activés

##### 6.3.1.1 Leviers activés sur les exploitations

Sans surprise, dans leur immense majorité, les leviers activés sur les exploitations suivies concordent avec les leviers identifiés au cours de travaux précédents (Nettier et al. 2010, 2011b, 2012a, Noury et al. 2013), que nous avons décrits dans la problématique (section 1.3.4). Cela tient au fait que les systèmes suivis sont proches des systèmes enquêtés dans ces précédents travaux ; pour quelques cas il s'agit d'ailleurs des mêmes exploitations. Nous nous concentrons ici sur les quelques éléments spécifiques que nous avons identifiés. Ces spécificités s'expliquent en grande partie par le type de suivi mis en place, qui nous a permis (1) d'observer les exploitations face à différents types d'aléas (décrits dans la section 3.3.4) (alors que les travaux antérieurs se sont focalisés sur l'adaptation aux sécheresses), et (2) d'adopter un regard

pluriannuel sur les pratiques et de bien distinguer dans les faits ce qui relevait du conjoncturel et du structurel.

La différence la plus marquante avec les résultats de travaux antérieurs concerne les achats de fourrages, qui sont quasi-systématiques sur les exploitations de Vanoise (Tableau 15). L'ajustement concerne plutôt le niveau des achats, qui sert à compenser les années avec de faibles niveaux de production, mais aussi à compenser des récoltes de mauvaise qualité (en cas d'aléas de type mauvais temps estival). En moyenne pour les exploitations de Vanoise (Tableau 15), les achats représentent de 11 à 100% des fourrages consommés, pour des besoins moyen en fourrage qui varient de 27 à 52% des journées UGB (cas de l'alpagiste PLA-GT exclu). La variabilité interannuelle est importante (de l'ordre de 15% des besoins en moyenne pour les systèmes laitiers). Il faudrait ajouter à ce déficit fourrager la mise en pension en hiver d'une partie des animaux, qui concerne 7 exploitations sur les 11 de Vanoise (7 des 9 exploitations laitières) ainsi que CHS-BO, exploitation laitière estivant en Chartreuse et dont le siège est en Maurienne (de 4 à 20% des journées UGB sur l'année selon les exploitations). Cela s'explique par le contexte des exploitations de Vanoise, avec un tissu d'exploitations assez dense et peu de prés de fauche en proportion par rapport à l'ensemble des espaces pastoraux (alpages inclus) utilisés par les exploitations. De plus on a dans notre échantillon plusieurs cas comme le système ROS où la taille des troupeaux (laitiers) est plutôt calée sur le potentiel permis par les alpages, afin d'assurer un bon entretien des surfaces d'alpage (éviter le sous-pâturage qui conduirait rapidement à une baisse de la qualité des ressources pastorales). En production de Beaufort, la production sur l'alpage représente une part très significative des résultats des exploitations, et les achats de fourrages ne sont pas une difficulté économique majeure (cf. ROS, section 6.2.5). Certains éleveurs évoquent même la possibilité de distribuer du fourrage en été en cas de fort aléa sur l'alpage (envisagé l'été 2015 avant que ne reviennent les pluies). La limite aux achats de fourrage vient plutôt du cahier des charges de l'AOP, qui limite l'achat de fourrage hors zone (d'où les mises en pension d'animaux). Quant aux troupeaux ovins de Vanoise, ils sont sur des exploitations où l'atelier ovin est assez réduit et complémentaire d'un autre atelier, et/ou où les éleveurs sont pluriactifs : les achats de fourrages, limités, ne mettent pas en péril les exploitations.

Plus inquiétant, sur quelques exploitations des autres territoires, il semble que les achats de fourrages, pensés comme conjoncturels, aient tendance à devenir structurels et représentent une réelle difficulté économique (Tableau 15 : DAR-GR, SUR-JB, sections 6.2.3 et 6.2.6). Il est difficile dans ces situations de déterminer ce qui est dû au changement climatique et pourrait expliquer une baisse de productivité des prairies et ce qui tient à d'autres facteurs. Sur les deux exemples cités, les effectifs ont augmenté sans que les surfaces, en particulier fourragères, n'augmentent dans les mêmes proportions. Dans une moindre mesure, sur tous les territoires, nous avons relevé d'autres facteurs qui influencent la productivité des prairies : accroissement des dégâts de sangliers et de campagnols, fauches trop tardives et baisse de qualité des fourrages notamment.

## Chapitre 6 : Analyse de la sensibilité et des capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations

exploitations	nombre d'années renseignées	origine géogr..	Syst	part minimale des achats dans les stocks	part maximale des achats dans les stocks	part moyenne des achats dans les stocks	proportion moyenne de jours UGB sur stocks	proportion moyenne de jours UGB en pension ou transhumance hivernale
<b>Exploitations estivant en Chartreuse :</b>								
ALP-BP	2	C	VA	0	0	0	45	0
CHS-BO	2	TP	VL ALP	20	33	27	23	20
COL-PV	1	TP	OV TA	0	0	0	33	0
<b>Exploitations estivant dans les Ecrins</b>								
CHP-LA	1	GT	OV AG	0	0	0	5	0
CHP-MA	5	C	OV MIX	0	50	20	46	0
CHP-MF	6	C	OV MIX	0	75	22	50	0
CRO-GM	4	TP	OV MIX	0	8	2	32	0
DIS-ET	5	C	VL GE	0	0	0	49	4
DIS-EL	6	C	VA	0	36	17	50	0
GRH-HB	4	C	OV TA	0	6	1	32	0
GRH-PM	4	TP	OV AG	0	16	4	43	0
GRH-VB	6	C	OV MIX	0	22	5	36	0
PON-LM	4	GT	OV TA	10	29	21	10	6
PON-OB	3	TP	OV TA	0	50	25	8	21
PON-HP	2	TP	OV TA	62	100	81	17	0
ROU-GS	6	C	OV MIX	0	0	0	39	10
SUR-JB	4	C	OV MIX	17	40	24	42	0
LAN-PC	2	GT	OV MIX	100	100	100	19	0
SAP-GF	4	C	OV MIX	0	9	2	39	0
<b>Exploitations estivant en Vanoise</b>								
3FO-DJ	2	C	VL ALP	12	27	19	44	13
AUS-JD	4	C	VL OV CH	7	33	17	38	5
AUS-GL	4	C	OV TA	0	50	21	36	0
AVA-PD	4	C	VL ALP	7	17	12	33	13
AVA-NB	6	C	VLALP	0	30	15	43	0
BAL-FM	5	C	VL ALP	51	71	63	52	0
LES-CB	5	C	VL OV CH	17	41	30	45	4
CHM-PR	4	C	VL ALP	100	100	100	27	18
PLA-GT	6	C	OVTA	12	74	38	6	0
ROS-PP	5	C	VLALP	43	48	46	42	6
VAL-SV	4	C	VL ALP	7	14	11	44	6
<b>Exploitations estivant dans le Vercors</b>								
DAR-GR	2	TP	OVMIX	9	10	9	33	0
JOC-TL	3	TP	OV AG	0	0	0	39	0
GRI-ML	3	GT	OV AG	0	0	0	2	0
MOL-VS	3	C	VL	0	9	4	62	0
<b>Moyenne totale</b>				<b>14</b>	<b>33</b>	<b>22</b>	<b>36</b>	<b>4</b>

Tableau 15 : Achats de foin, poids des stocks dans l'alimentation et délocalisation d'une partie du troupeau en hiver : importance relative dans les systèmes alpage-exploitations du réseau Alpages sentinelles

Parts minimale, maximale et moyenne des achats dans les fourrages consommés chaque année, en % des tonnes de matière sèche. Part des stocks et de la mise en pension ou transhumance hivernale dans l'alimentation du troupeau, en % des journées UGB. Pour certaines exploitations, la donnée n'est pas disponible tous les ans. Le nombre d'années avec la donnée disponible est indiqué.

Système : OVAG : ovins avec agneaux sur l'exploitation ; OVTA : ovins avec tardons (agneaux engraisés en alpage) ; OVMIX : ovins avec agneaux bergerie + tardons ; VL : Vaches laitières ; VLALP : Vaches laitières + Lait en alpage ; VLGE : Vaches laitières + génisses prêtes à vêler ; VA : Vaches allaitantes (broutards) ; OVVA

*: Ovins + Vaches allaitantes ; OVGE : Ovins + génisses prêtes à vêler ; VLOV : Vaches laitières + Ovins ; VLOVCH : Vaches laitières + Ovins + chèvres ; OVCH : Ovins + Chèvres*  
*Origine géographique des exploitations : C : commune ; TP : transhumant proche ; GT : grand transhumant*

Par contre, contrairement à ce qui avait été identifié dans les travaux précédents, la baisse temporaire des effectifs n'est pas un levier qui a été activé sur les exploitations suivies, à l'exception des mises en pension hivernales d'animaux, mais pour lesquelles il n'y a pas d'ajustement par rapport aux aléas climatiques subis sur l'exploitation (au contraire dans un cas où les génisses sont envoyées en transhumance hivernale, à cause du manque de ressource au printemps sur les parcours méditerranéens les animaux sont rentrés plus tôt que prévu sur l'exploitation au printemps 2011). Des baisses structurelles d'effectifs ont eu lieu dans quelques cas durant les années de suivi (CHP-MF, PON-LM, sections 6.2.1 et 6.2.4) qui ont permis d'améliorer l'autonomie fourragère des exploitations, de même que des changements dans les périodes de reproduction qui ont permis de diminuer les besoins en fourrage (JOC-TL). Mais le manque de ressource n'est jamais le seul facteur qui explique ces évolutions. Les questions de charge et d'organisation du travail sont le principal moteur, ainsi parfois que des questions de place dans les bâtiments.

Le recours à l'irrigation, peu cité comme levier d'ajustement dans les travaux antérieurs, concerne de nombreuses exploitations de l'échantillon, et est même mis en œuvre sur un des alpages sentinelles (3FO). On observe une grande diversité de mise en œuvre (Figure 93), depuis les exploitations en plaine méditerranéenne (Crau ou assimilée) qui irriguent l'ensemble de leurs prés de fauche au moyen de réseaux très développés (voir CHP-LA, section 6.2.1), jusqu'à des exploitations qui peuvent ponctuellement mobiliser d'anciens canaux pour irriguer partiellement leurs prés de fauche, avec une charge de travail conséquente (irrigation gravitaire) pour un résultat limité (cf. SUR-JB, section 6.2.6), en passant par une situation intermédiaire avec les exploitations des vallées internes (Maurienne, Embrunais) qui disposent aussi de réseaux d'irrigation, qui nécessiteraient pour partie d'être modernisés (plusieurs projets d'extension et d'amélioration de réseaux d'irrigation en Maurienne). Pour ces dernières, conforter l'irrigation apparaît comme une adaptation structurelle pour l'avenir. Les éleveurs s'interrogent néanmoins sur les pratiques à adopter (quand déclencher l'irrigation, quel volume apporter ...) ; il semble que le changement climatique brouille les anciens repères techniques (mais il y a aussi des évolutions de la réglementation et un changement dans la sensibilité des habitants). L'irrigation est aussi un levier envisagé dans des secteurs où elle n'est pas pratiquée (ROS-PP, section 6.2.5), elle est vue comme le seul moyen d'améliorer de manière substantielle le niveau d'autonomie fourragère.



Figure 93 : Photo aérienne des prés de fauche irrigués sur les parcelles des exploitations du système AUS, en Maurienne, à gauche (asperseurs), et sur l'exploitation CHP-LA, dans la Crau, à droite (canaux et irrigation gravitaire). Source : IGN

### 6.3.1.2 Leviers activés sur les alpages

Sur les alpages à ovins allaitants, les suivis n'ont pas fait apparaître de spécificités particulières : ils ont pu faire ressortir la grande diversité dans les ajustements mis en œuvre par les bergers (voir les cinq exemples développés dans la section 6.2). Le cas des alpages laitiers n'avait pas été traité spécifiquement. Les situations de Vanoise nous en donnent l'opportunité. Les bergers cherchent d'une part à maintenir le niveau de production laitière des animaux, et d'autre part à bien consommer la ressource chaque année pour maintenir sa productivité (ROS, section 6.2.5). Dans ces conditions, les marges de manœuvre sont assez réduites : il n'est pas possible de sous-alimenter les animaux, il est difficile de réserver des surfaces tampons plus ou moins pâturées selon les années. Les bergers parviennent néanmoins à jouer sur la diversité de sensibilité des végétations aux aléas climatiques et adaptent leur calendrier de pâturage en fonction. Par exemple en 2013 où la saison a été très tardive, les bergers ont beaucoup mobilisé les queyrellins, végétations très précoces qui habituellement sont peu pâturées, car trop avancées à la montée des troupeaux.

Sur les alpages laitiers les aléas météo du quotidien jouent beaucoup (jour de pluie, de neige, canicule...). Ces aléas vont jouer sur le comportement des vaches et leur alimentation, et les ajustements sur l'alpage vont beaucoup se faire vis-à-vis de ces aléas (descentes sur secteurs abrités...)

### 6.3.1.3 Ajustements à l'interaction entre l'alpage et les exploitations utilisatrices

Les suivis réalisés ont également été l'occasion d'approfondir plus particulièrement la question de l'interaction alpage-exploitations, et de mieux décrypter les leviers activés à ce niveau. Même si les choses ne sont pas toujours très tranchées, on peut dire que la situation décrite comme majoritaire dans le Vercors (Nettier et al. 2011b) et décrite dans la section 1.4.1 où les exploitations doivent « encaisser » pour préserver l'alpage n'est pas si fréquente dans notre échantillon.

Dans les Ecrins en particulier, c'est plutôt l'alpage qui doit fournir le plus gros des efforts d'ajustement. Les éleveurs locaux ont tendance à considérer que « ça passe toujours » sur l'alpage et il peut sembler à

première vue que l'alpage a une fonction de « refuge » face aux aléas (nous verrons au travers d'une analyse en termes de saisons-pratiques qu'on peut nuancer cette analyse) : au printemps, les décalages dans les dates de montée sont réduites, et dans l'été il est très rare que des animaux redescendent (même pour des raisons sanitaires, les éleveurs peuvent rechigner à reprendre leurs bêtes). Derrière cela on trouve des considérations de travail : l'été est consacré à la réalisation des foins et parfois à quelques jours de vacances, et l'organisation du travail ne permet pas de gérer des animaux au pâturage ; on trouve aussi des considérations fourragères : la période en bâtiment étant longue, les éleveurs se refusent à faire pâturer leurs prés de fauche au printemps pour assurer un maximum de stock. En fin d'estive, il est plus facile pour les éleveurs de reprendre les animaux de manière anticipée (Cf. CHP-MF, section 6.2.1), la ressource étant plutôt abondante sur les exploitations (repasser sur l'ensemble des espaces pastoraux et des prés de fauche) et le travail moins intense. En comparaison, les éleveurs transhumants qui utilisent les alpages des Ecrins (CHP-LA, PON-LM, sections 6.2.1 et 6.2.4) semblent plus enclins à retarder la montée en alpage ou anticiper la descente, et donc à trouver des marges de manœuvre sur leurs exploitations. Leur statut souvent plus précaire sur les alpages peut aussi expliquer une volonté de bien faire.

Comparativement aux alpages du Vercors, les alpages des Ecrins semblent aussi réellement plus à même de permettre de tamponner les aléas : étagement altitudinal et de la pousse de l'herbe, sols beaucoup moins superficiels, ressources en eau d'abreuvement importantes, surfaces tampons plus facilement mobilisables (très peu de prédation, du moins au début des suivis...). Ils doivent par contre faire face à des sécheresses bien plus marquées et plus fréquentes (cf. ROS, 6.2.5).

En Vanoise, surtout pour les systèmes laitiers, c'est sur les exploitations qu'il faut trouver des marges de manœuvre, mais avec des logiques différentes de celles du Vercors. En production laitière, il n'est généralement pas accepté de sous-alimentation temporaire des vaches en production, et les bergers évitent dans la mesure du possible d'avoir un sous-pâturage répété qui risquerait de dégrader la ressource<sup>26</sup>. Difficile dans ces conditions d'aller exploiter des ressources-tampons peu productives. Les éleveurs préfèrent mobiliser les ressources des exploitations (distribution de foin ou pâturage des prés de fauche).

La saison d'estive 2013, que nous avons déjà évoquée à plusieurs reprises et marquée par un printemps particulièrement tardif sur l'ensemble des alpages et des exploitations, est éclairante à ce sujet (Figure 94). La mise à l'herbe a été retardée en 2013 par rapport à 2012 dans la majorité des exploitations. Les mises à l'herbe avancées correspondent soit à des lots de génisses mises à l'herbe sur des zones de basse altitude éloignées du siège d'exploitation (CHM-PR, 3FO-DJ), soit à des mises à l'herbe précoces du troupeau ovin sur des parcours précoces, avec distribution de fourrage en complément, pour économiser du fourrage faute de stocks en quantité suffisante (GRH-PM, GRH-HB). Sur les alpages allaitants, les montées en alpage ont été très peu retardées (avec toutefois quelques montées échelonnées), et généralement moins que les mises à l'herbe. Sur les alpages de Vanoise (laitiers ou non) les montées ont en général été plus retardées, et plus que les mises à l'herbe. Le cas SV (système alpage-exploitation VAL) est particulier. SV a dû monter tôt sur l'alpage (pour des raisons externes : fête programmée avec l'Office de tourisme), et a pu mobiliser

---

<sup>26</sup> En revanche, ils peuvent avoir du mal à éviter une dégradation de la ressource par surfréquentation du troupeau : machine à traire peu déplacée, difficultés à épandre les déjections (si traite au chalet),...



des surfaces importantes en queyrellin (très précoces), très peu mobilisées habituellement (et il n'a pas constaté de baisse de la production laitière).

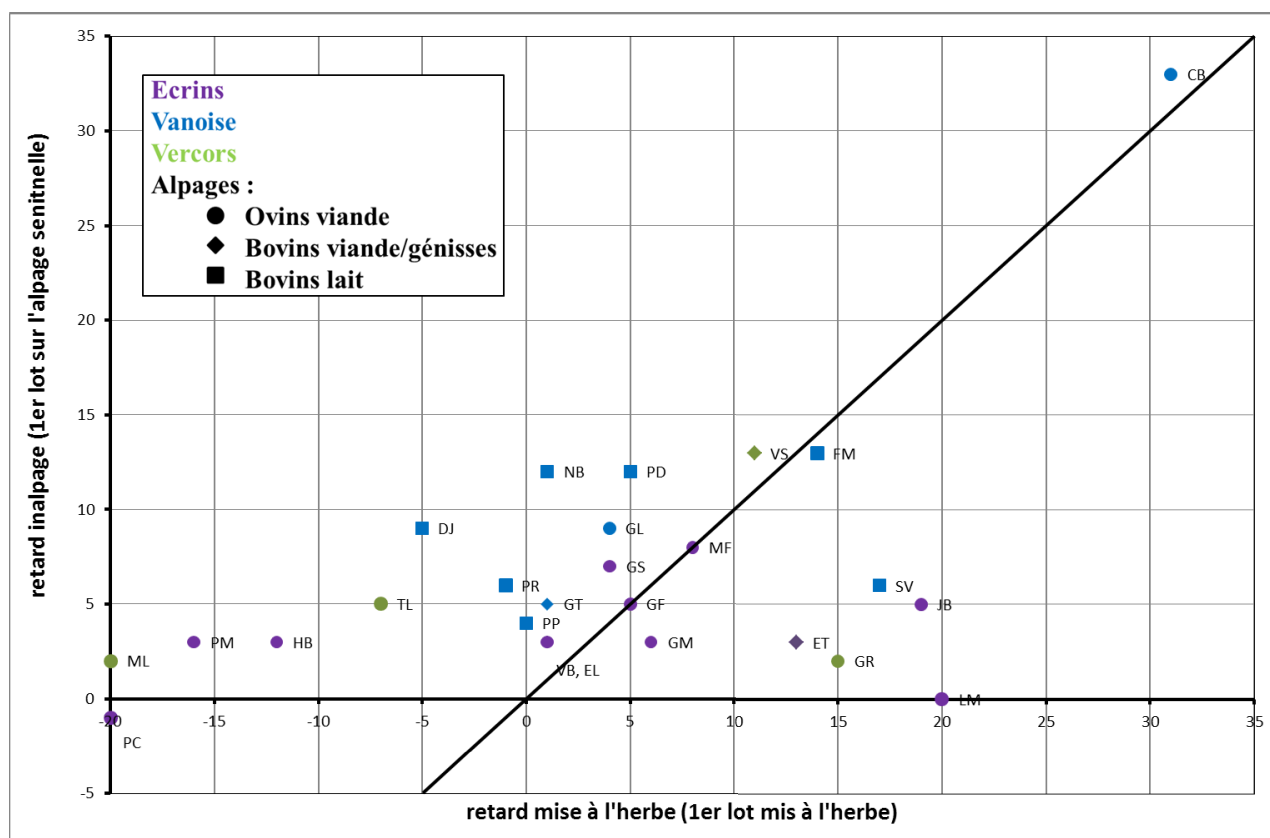


Figure 94 : Evolution des dates de première mise à l'herbe et de première montée sur l'alpage sentinelle en nombre de jours, entre 2012 et 2013 pour les exploitations suivies ces deux années.

Les exploitations méditerranéennes, pour lesquelles il n'y a pas à proprement parler de mise à l'herbe, ont été représentées sur l'axe des ordonnées.

Les alpages non laitiers de Vanoise que nous avons suivis (ovins, génisses) semblent suivre la même logique, bien que la contrainte soit moindre (les deux alpages ovins de Vanoise sont très largement surdimensionnés). Il est difficile d'en identifier les raisons précises. Cela tendrait à faire penser que derrière les rationalités techniques il y a aussi des cultures locales sur ce qu'il convient ou pas de faire.

Des ajustements différenciés entre exploitations ont été observés sur quelques systèmes alpage-exploitations collectifs, mais assez peu. Sur l'alpage CHP où estivent locaux et grands transhumants, des ajustements conjoncturels différenciés entre éleveurs ont été opérés pour pallier un manque de ressource sur l'alpage, de même que sur l'alpage JOC. Toutefois si sur le système alpage-exploitations JOC, cela s'est fait en concertation entre les éleveurs pour que ceux disposant de ressources sur leurs exploitations « encaissent » pour les autres, sur le système alpage-exploitations CHP, ce sont les éleveurs locaux qui ont imposé leur volonté au transhumant (section 6.2.1). Sur l'alpage DIS, les quatre éleveurs locaux ont diminué de manière structurelle la pression de pâturage et ont débattu des efforts que chacun pouvait faire.



Dans d'autres situations, l'alpage est utilisé de manière différente par les éleveurs mais sans concertation (AUS, MOL). Sur l'alpage AUS, un troupeau reste sur l'alpage après le départ des bergers et des autres troupeaux. Sur l'alpage MOL, les départs des troupeaux peuvent être échelonnés en fonction des contraintes des éleveurs.

Il y a aussi la possibilité d'ajustement entre les exploitations en dehors de l'alpage, mais grâce à l'alpage collectif. C'est par exemple le cas du système alpage-exploitations PON (section 6.2.4) où les éleveurs s'ajustent ensemble pour la transhumance mais où les règles sont identiques sur l'alpage car les dates de montée et descente sont très contraintes.

On peut enfin noter le cas original de deux alpages à génisses communaux, utilisés par l'exploitation LES-CB et BAL-FM en complément des alpages LES et BAL. Sur ces alpages à génisses, il ne semble pas y avoir de règle d'usage bien établie. Chaque exploitation envoie ses animaux aux dates qu'il veut et la régulation se fait par le regard des pairs.

### 6.3.2 Analyse à l'échelle du système : construction d'une typologie

#### 6.3.2.1 *Trois logiques d'adaptation aux aléas climatiques correspondant aux trois types d'ajustements identifiés*

Dans l'optique d'évaluer la capacité de notre modèle à tirer des enseignements génériques sur les capacités d'adaptation aux aléas climatiques des différents systèmes alpage-exploitations, nous construisons une typologie des systèmes alpage-exploitations permettant de distinguer différentes logiques dans les ajustements mis en œuvre, en nous appuyant sur la lecture des pratiques à travers le modèle de gestion. Notre typologie s'appuie donc sur les différents types d'ajustements mis en évidence par le modèle (régulations intra et inter saisons-pratiques, soudures), et nous cherchons à identifier une logique qui domine à l'échelle du système dans les ajustements réalisés. Si différents types d'ajustements sont mis en œuvre sans qu'une logique ne s'exprime clairement, ou si des logiques différentes sont à l'œuvre dans les différents sous-systèmes (alpage, exploitation(s)), nous nous intéressons prioritairement aux ajustements à l'interaction entre l'alpage et les exploitations (ce sont bien ces ajustements-là qui nous ont conduit à proposer le concept de système alpage-exploitations).

Nous proposons donc trois types de logiques, correspondant aux trois catégories d'ajustements identifiés : (1) les systèmes alpage-exploitations dont les ajustements sont basés principalement sur des régulations intra saisons-pratiques, (2) les systèmes alpage-exploitations basés principalement sur des régulations inter saisons-pratiques, en particulier à l'interaction alpage-exploitation(s), et les systèmes qui en plus de mobiliser des régulations, activent de manière importante des soudures, en particulier à l'interaction alpage-exploitation(s). La Figure 95 résume les éléments qui ont permis le classement des 25 systèmes.

	Massif	SAE	Type d'alpage sentinelle	Régulations intra saison pratique	Régulations inter saisons pratiques	Soudures
Type 1 : régulations intra saison-pratique dominantes	Chartreuse	CHS*	bovin laitier/génisses collectif	Petites régulations à chaque séquences	Capacités à décaler montée en alpage limitée, car pâtures d'intersaisons limitées et capacités à acheter fourrages limitées. Mises à l'hiverne	
	Ecrins	CRO	ovin individuel	Contraintes diverses : rigidité articulation entre SP	Au sein de l'alpage, quartier boisé tampon pour les autres séquences	
		DIS	bovin allaitant/génisses collectif	Montée et descente d'alpage rigides : organisation du travail et risque climatique		Soudure sur les exploitations : surfaces pastorales spécifiques
		GRH	ovin collectif	Alpage et parcours surdimensionnés	Régulation inter saisons-pratiques (surfaces pastorales) sur l'exploitation	
		LAN	ovin individuel	Alpage surdimensionné, stocks et PF aussi, contraintes dates pour changements séquence		
		ROU	ovin individuel	Alpage sentinelle surdimensionné (montée trop tardive)	Régulation inter saisons-pratiques (surfaces pastorales) sur l'exploitation	Soudures sur l'exploitation ; soudure (réduite) à l'automne entre l'alpage sentinelle et l'exploitation
		SAP	mixte ovin/bovin allaitant	Surfaces pastorales (exploitation et alpage) surdimensionnées ; ajustements fauches-pâtûre à l'automne		Retour sur le bas d'alpage en automne, pâturage de communaux entre l'automne et l'hiver (opportunités saisies)
		SUR	ovin collectif	Pratiques assez rigides, peu d'ajustements interannuels entre alpage et exploitations	Légères capacités à conserver animaux en début d'estive	
	Vanoise	AUS	ovin collectif	Surdimensionné (alpages brebis, pâturages d'intersaisons), achats fourrage	Séquences sur l'exploitation permettent de tamponner manque de ressource sur un autre alpage (laitier)	
		LES	ovin individuel	Alpage et parcours surdimensionnés ; achats fourrage	Régulation inter saisons-pratiques au sien de l'exploitation (troupeau laitier)	
Vercors	GRI	ovin individuel	Marges d'ajustements : + nombreuses à l'automne	Limité : ajustements entre différents alpages à la marge, agneaux gardés sur l'exploitation en dernier recours	Distribution foin sur parcours (pas à l'interaction alpage-exploitation?)	
Type 2 : Régulations inter saisons-pratiques dominantes	Chartreuse	ALP*	bovin allaitant/génisses collectif	Régulations pâturage avec étagement altitudinal	Peu de marges de manœuvre sur l'alpage (contraintes multiples), ce qui oblige à en trouver sur les exploitations	
	Vanoise	3FO	bovin laitier individuel		Mise à l'herbe décidée en fonction de la ressource sur l'alpage	
		AVA	bovin laitier collectif	Régulations pâturage par secteurs tampons, achats fourrages	Toutes les exploitations s'ajustent aux pratiques décidées sur l'alpage	
		BAL	bovin laitier individuel		Printemps : mise à l'herbe décidée en fonction de la ressource sur l'alpage Automne : régulation sur l'alpage pour économiser ressources de l'exploitation	
		CHM	bovin laitier/génisses (individuel avec prise en pension)	Régulations sur l'alpage	Régulation par pâturage prairies et parcours supplémentaires; régulation durée mise à l'hiverne	
		PLA	mixte ovin/bovin allaitant/génisses (individuel avec prise en pension)	Sur l'alpage, très peu de marge à chaque séquence ; engagement à garder animaux sur durée de l'estive	Décalage possible dates de début d'estive	Quartier de soudure sur l'alpage (limité, sert au sein de la saison d'alpage)
		ROS	bovin laitier individuel	Sur l'exploitation : pâturage prairies supplémentaires, parcours surdimensionnés achats fourrages	Régulation par pâturage prairies supplémentaires	Distribution fourrage si manque de ressources en alpage (envisagé, pas mis en œuvre)
		VAL	bovin laitier individuel	Régulation queyrellin en alpage (date montée en alpage parfois rigide) ; régulation par mise hiverne	Pâturage supplémentaire mobilisable à l'interaction alpage-exploitation	
	Vercors	MOL	bovin allaitant/génisses collectif	Sur l'exploitation : parcs légèrement surdimensionnés ; achats (limités) fourrages	Printemps : capacité à décaler dates montée des animaux sur l'alpage ou à ajuster effectifs inalpés (part des animaux du SAE inalpés réduite) Automne : capacités à maintenir animaux sur l'alpage à l'automne selon besoins des exploitations	Soudure sur l'exploitation : surfaces pastorales spécifiques ; pâturage des prés de fauche
	Type 3 : présence marquante de soudures	Chartreuse	COL*	ovin collectif	Petits leviers partout, mobile	Montée en alpage pouvant être décalée si besoin
Ecrins		CHP*	ovin collectif	Rigidité du calendrier de pâturage (éleveurs locaux) : alpage et parcours plutôt surdimensionné	SP pouvant être prolongée sur exploitation transhumante si ressource dispo Automne possibilité de descendre animaux en avance	Soudures possibles sur exploitation transhumante uniquement (pâturage près ou parcours selon opportunités)
		PON	ovin collectif	Colline, parcours	Sur les exploitations capacités à mobiliser les surfaces pastorales pour limiter la consommation de fourrages	Transhumance à pied, opportunités diverses saisies (Pare-feu...)
Vercors		DAR	ovin individuel	Petits leviers partout, mobile	Fortes capacités à mobiliser différentes ressources sur l'exploitation pour réduire le temps passé en alpage	Régulièrement de nouvelles soudures qui sont intégrées dans calendrier au fur et à mesure
		JOC	ovin collectif	Alpage, parcours et prés surdimensionnés	Large en PN et PF ; peut-être pas sur toutes les exploitations	Quartier boisé sur l'alpage (dernier recours)

### Légende

Régulations intra saisons-pratiques			Régulations inter saisons-pratiques			Soudures		
Logique principale d'ajustement à l'interaction alpage-exploitations	Logique secondaire ou pas à l'interaction alpage-exploitations	Très peu ou pas d'ajustements de ce type	Logique principale d'ajustement à l'interaction alpage-exploitations	Logique secondaire ou pas à l'interaction alpage-exploitations	Très peu ou pas d'ajustements de ce type	Logique importante d'ajustement à l'interaction alpage-exploitations	Pas à l'interaction alpage-exploitations	Très peu ou pas d'ajustements de ce type

\* 2 années de suivi : classement difficile

Figure 95 : Classement des systèmes alpage-exploitations selon les types d'ajustements mobilisés ; situations au 1<sup>er</sup> janvier 2015

Nous détaillons les caractéristiques de ces trois types :

### 6.3.2.2 *Type 1 : Régulations intra saison-pratique dominantes*

La première catégorie identifiée concerne les systèmes qui mobilisent principalement des régulations intra saisons-pratiques. Cela signifie que chaque saison-pratique est gérée de manière quasi-autonome vis-à-vis des autres.

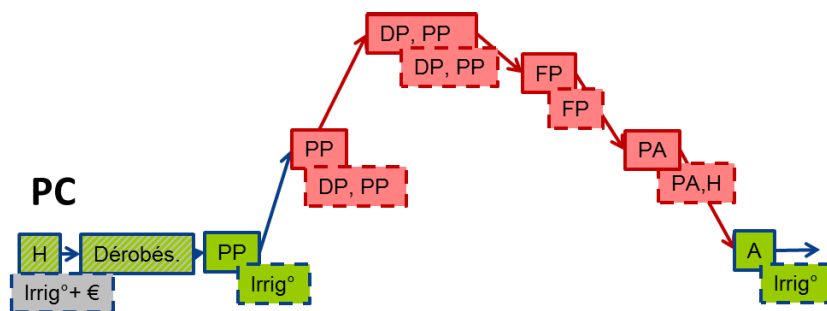
Le type 1 ne comprend pratiquement que des alpages sentinelles ovins ou bovins allaitants (et à génisses laitières), où les besoins animaux sont donc relativement faibles (exception faite des tardons, qui bénéficient parfois d'une conduite adaptée sur ces alpages ; cf. SUR, section 6.2.6). Parmi ceux-ci on trouve des systèmes qui doivent gérer des contraintes dans les dates de passage d'une séquence à l'autre, entre l'alpage et les exploitations, et parfois entre les séquences sur l'alpage ou entre les séquences sur l'exploitation : réservation de camions, contraintes administratives ou liées à des cahiers des charges, règles d'usage traditionnelles des estives ou encore dépendance à de la main d'œuvre peu disponible pour transhumier (cf. cas LAN - Figure 96, mais aussi CRO, section 6.2.2). Mais certains de ces systèmes ne présentent pas de telles rigidités « externes » (exemple : SUR). Pour ceux-là c'est plutôt le manque de concertation entre éleveurs et avec les bergers, et le manque de connaissance de l'alpage par les éleveurs, qui empêche de recourir à des ajustements entre séquences. Enfin des considérations plus sociologiques, qui mériteraient d'être analysées davantage, semblent expliquer ce mode de fonctionnement dans plusieurs cas (rapport au changement et à la prise de risque, référence au passé pour justifier la pertinence des pratiques actuelles...).

Dans le type 1, nous avons aussi un système alpage-exploitations laitier (CHS). Alors que les autres alpages laitiers sont tous dans le type 2 (voir section suivante), celui-ci doit faire avec des contraintes que n'ont pas les autres. L'exploitant principal est très limité en surfaces sur son exploitation au printemps, et n'a pas les capacités économiques d'acheter beaucoup de foin. Contrairement aux autres éleveurs laitiers de notre échantillon que l'on va trouver dans le type 2, il peut donc difficilement ajuster ses pratiques sur son exploitation pour s'adapter aux variations de ressources sur l'alpage (régulations inter saisons-pratiques). Par ailleurs, il estive sur un alpage au climat plus précoce que les autres alpages laitiers. Le besoin d'ajustement, lors du printemps tardif de 2013, a donc été moindre, et comme nous n'avons que deux années de suivi pour ce système, cet aléa a influencé fortement notre classement. Par contre la précocité sur cet alpage est plus variable, ce qui doit conduire logiquement à de plus grands besoins d'ajustements à l'interaction alpage-exploitations.

Le cas du système alpage-exploitation LAN, décrit en Figure 96 et qui met en œuvre presque exclusivement des régulations intra saisons-pratiques, est bien illustratif de la logique du type 1.

Jusqu'à présent, les systèmes dans ce type 1 sont parvenus à disposer de régulations suffisantes tout au long de la campagne. Cependant, les marges ne sont pas les mêmes selon les cas et si certains disposent structurellement de larges marges ou confortent progressivement chaque séquence (exemple : cas CRO, section 6.2.2), on trouve parmi les systèmes qui n'ont a priori pas de contraintes externes fortes, des systèmes qui ont éprouvé beaucoup de difficultés à passer certains aléas (fragilisation des trésoreries à cause d'achats importants de fourrages, difficultés à mobiliser suffisamment de ressource en alpage) ; ce sont notamment des systèmes des Ecrins, qui sont exposés à de fortes sécheresses (en alpage et sur les exploitations), et avec une variabilité importante. Pour ces systèmes il ne semble pas que beaucoup plus de marges de manœuvre puissent être trouvées en continuant à ne recourir qu'à des ajustements intra saison-pratique (pas de foncier disponible, contraintes de travail...) (voir SUR, section 6.2.6).

Le système alpage-exploitation LAN (alpage ovin individuel, hivernage dans les Bouches du Rhône, mises bas au printemps pour vendre des agneaux d'alpage à l'automne) est un cas qui met en œuvre presque exclusivement des régulations intra saisons-pratiques. Dans ce système les dates de passage d'une séquence à une autre sont assez contraintes toute l'année : pour des raisons administratives (siège d'exploitation déclaré sur l'alpage), les animaux doivent passer 6 mois sur l'alpage, ce qui réduit les possibilités de décaler les dates de montée et descente ; sur l'alpage, l'accès aux différents quartiers est contraint par la mise en place de passerelles pour traverser des torrents, et par le risque climatique sur les quartiers hauts et escarpés ; sur l'exploitation les séquences d'hivernage en bâtiment et de pâturage de prés de fauche sont dictées par le calendrier des mise-bas et la météo. L'éleveur-berger trouve donc des régulations au sein de chaque séquence de pâturage pour s'adapter continuellement aux ressources en herbe (variations phénologiques et de productivité). Sur l'alpage c'est un surdimensionnement très important (ressource totale présente par rapport aux besoins du troupeau) de tous les quartiers qui permet de passer. Compte tenu de la conduite, ce surdimensionnement est nécessaire pour faire face à tous les types d'aléas, et il paraît difficile à l'éleveur-berger de pouvoir maintenir ce fonctionnement avec un troupeau plus important. Le reste de l'année, le troupeau est hébergé sur l'exploitation du frère de l'éleveur, producteur de foin. L'achat de fourrage l'hiver, le pâturage de quelques hectares de cultures annuelles en dérobées, et le pâturage des prés à n'importe quel moment ne pose pas de problème (exploitation qui n'est pas dans l'AOC Foin de Crau et ne subit pas les rigidités du cahier des charges, prés irrigués ne subissant pas les aléas, équilibre économique de l'exploitation permettant les achats). Il y a une bonne complémentarité entre les deux productions (ovins et foin de Crau) : les animaux peuvent consommer le foin de moindre qualité, pâturer des dérobées lors du renouvellement des prairies, réguler la pousse hivernale qui ne pourrait être fauchée.



Légende

Saison-pratique → Soudure →  
Régulation

Séquences liées (la consommation de la ressource dans une séquence limitera la disponibilité dans une séquence ultérieure)

**DP**: début printemps; **PP**: plein printemps; **FP**: fin de printemps; **E**: Été; **DA**: début automne; **PA**: plein automne; **FA**: Fin d'automne; **H**: Hiver; **P**: printemps; **A**: automne  
**€**: achats  
**MAJ vs. min**: régulation importante vs. limitée

- Pâturage sur l'alpage sentinelle
- Pâturage sur d'autres alpages
- Transhumance hivernale
- Pâturage de ressources pastorales sur l'exploitation
- Pâturage de prés de fauche
- Alimentation sur stock
- Mise en pension hivernale

Figure 96 : Système alpage-exploitation LAN, système alpage-exploitations illustratif de la logique de type 1, ne réalisant que des ajustements intra saisons-pratiques

On retrouve parmi ces systèmes les cas où nous avons estimé que l'alpage était considéré comme un espace « refuge » pour les éleveurs. Cette analyse conduirait à nuancer nos propos ; plutôt qu'un refuge pour les exploitations, l'alpage serait plutôt un espace « pas plus prioritaire que les autres ». Alpage et exploitations sont considérés par les éleveurs comme des systèmes fourragers (systèmes décisionnels) presque indépendants, dont ils ne réfléchissent pas les interactions.

### **6.3.2.3 Type 2 : Régulations inter saisons-pratiques dominantes**

Une deuxième catégorie concerne des systèmes dont les capacités d'adaptation s'appuient principalement sur des régulations inter saisons-pratiques. Cette catégorie correspond aux alpages laitiers (sauf CHS). Sur ces alpages, comme nous l'avons vu, il est difficile de gérer des régulations puisque les animaux ne doivent pas manquer de ressources et que les ressources doivent être bien consommées pour que leur qualité se maintienne (Cf. ROS, section 6.2.5). Cela pourrait sans doute dans certains cas tout de même être envisagé en mobilisant des lots d'animaux peu productifs en complément, ou en jouant davantage sur la diversité des végétations comme a pu le faire l'éleveur-berger de VAL au printemps 2013 (mobilisation d'un secteur de queyrellin, habituellement très peu utilisé). Selon les caractéristiques des exploitations, la régulation se fera de façon légèrement différente, toujours en calant l'exploitation sur l'alpage. Soit les éleveurs sont contraints sur les pâturages de printemps (peu de surfaces disponibles, ou pas de machine à traire mobile et peu de surfaces à proximité des bâtiments), et la mise à l'herbe est alors décidée en fonction de la ressource sur l'alpage. Soit les éleveurs ne sont pas contraints sur les surfaces (possibilité de faire pâturer plus de parcours ou plus de prés de fauche sans contrainte majeure), et c'est la séquence de pâturage de printemps sur l'exploitation qui servira à réguler un manque de ressource sur l'alpage. La capacité économique de ces systèmes à acheter du fourrage rend assez durable ce levier, tant que les aléas ne sont pas trop forts. Le cas ROS (section 6.2.5), ou le cas BAL (Figure 97), sont deux exemples typiques de systèmes qui jouent principalement sur des régulations inter saisons-pratiques (avec aussi de manière secondaire une soudure pour le cas BAL).

Les systèmes alpage-exploitations de ce type sont d'ailleurs parmi les moins exposés aux aléas de toute nature, surtout en alpage. Nous n'avons pas eu à observer durant les années de suivi, d'aléas majeurs qui auraient contraint à manquer de ressource en cours de saison sur l'alpage. Néanmoins durant l'été 2015, la situation a failli se produire (la production laitière a commencé à chuter sur certains alpages). Certains éleveurs, face à cette situation qu'ils disent n'avoir jamais rencontrée, ont envisagé de redescendre précocement les animaux sur les exploitations.

Pour les éleveurs de ces systèmes laitiers de Vanoise l'alpage est considéré comme central, du point de vue du revenu, mais aussi d'un point de vue symbolique (production de Beaufort Chalet d'Alpage et de bleu de Termignon, produits phares du territoire ; attachement à l'alpage revendiqué...). C'est ce qui caractérise leurs systèmes d'élevage. Contrairement aux alpages allaitants où la gestion est fortement déléguée à un berger salarié, la plupart de ces éleveurs sont très présents sur l'alpage. Les choix techniques à l'échelle du système alpage-exploitations sont faits en cohérence avec cette vision : taille du troupeau adaptée aux potentialités de l'alpage (sauf AVA), ajustements faits en dehors de l'alpage, au service de l'alpage.

Le système alpage-exploitation BAL est un système laitier de haute montagne, qui est très limité en pâturage d'inter saison. Il ne dispose que de 15 journées de pâturage avant de monter en alpage. Le choix de la date de mise à l'herbe est dépendant de l'état des ressources sur l'alpage, que l'éleveur-berger doit anticiper, car il ne faut pas que les animaux manquent de ressource sur l'alpage (production laitière). Dans ce cas précis, il s'agit surtout de variations phénologiques ; les variations de productivité semblent limitées en début d'estive (exposition faible aux sécheresses). L'éleveur-berger régule donc un manque de ressource sur l'alpage en début d'estive par le prolongement de la saison pratique hiver. A l'automne, la situation s'inverse et c'est sur l'alpage que l'on peut réguler les manques de l'exploitation (il y a normalement des repousses abondantes). Le troupeau reste donc au maximum sur l'alpage, quitte à y remonter après un coup de neige, et quitte à y monter un peu de fourrage pour compléter des animaux (dans ce cas-là il s'agit d'une soudure).

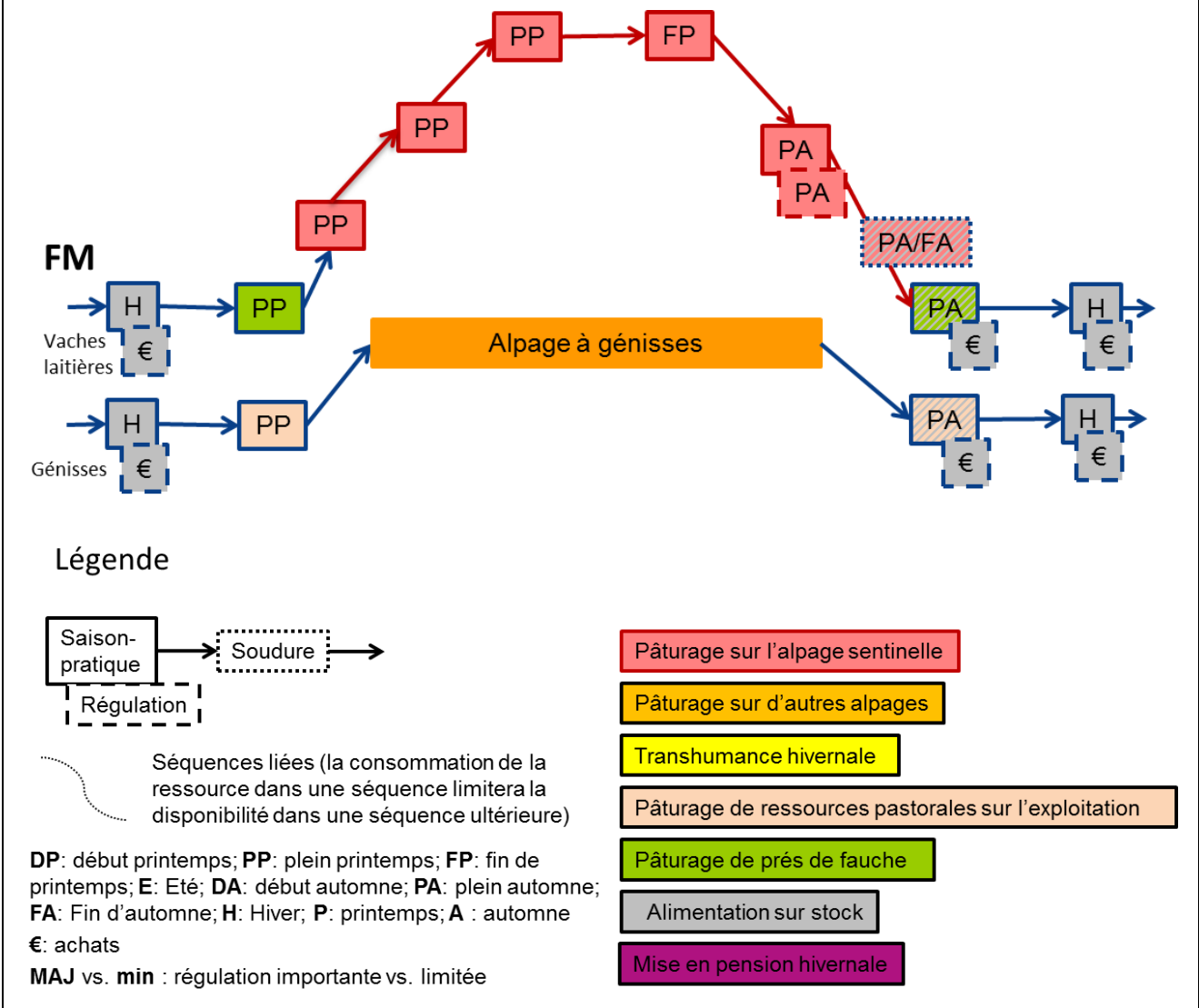


Figure 97 : Système alpage-exploitations BAL, système alpage-exploitations illustratif de la logique de type 2, ne réalisant pratiquement que des ajustements inter saisons-pratiques

En plus des systèmes laitiers de Vanoise, on trouve dans le type 2 trois systèmes où l'alpage accueille des bovins allaitants ou des génisses. Chaque cas mérite une explication spécifique :

- Pour le système ALP, l'alpage est soumis à de nombreuses contraintes qui se surimposent : accès difficile (escarpé), réglementation d'une Réserve Naturelle à respecter, capacités d'abreuvement limitées, végétation peu souple d'exploitation, gardiennage à temps partiel. A l'opposé sur les exploitations des marges de manœuvre existent. Dans ces conditions, et pour une situation où les variations phénologiques peuvent être importantes (exposition de type PREC), il est plus facile d'activer un maximum de leviers sur les exploitations, pour ne pas courir de risque en alpage.
- L'alpage du système MOL est moins contraint ; néanmoins, chaque éleveur ne mettant qu'une partie limitée de ses effectifs, il est assez facile pour les exploitations de trouver des marges de manœuvre pour alléger la pression sur l'alpage. Par ailleurs au printemps en termes d'organisation, il serait compliqué de s'adapter à une diversité de situations sur les nombreuses (26) exploitations du système, qui ont des expositions aux aléas climatiques différentes, sur un alpage où les variations phénologiques sont importantes d'une année à l'autre (exposition de type PREC). A l'automne il est plus facile de prendre en compte les contraintes de chaque éleveur, en tolérant des descentes progressives des troupeaux (même si cela représente une réelle contrainte d'organisation du travail sur l'alpage)

Pour les éleveurs des systèmes alpage-exploitations ALP et MOL, l'alpage est donc à l'inverse assez secondaire, mais éviter de devoir réaliser des ajustements sur l'alpage n'est pas trop difficile, et permet d'être sûr de ne pas être embêté durant l'été, où il y a suffisamment à faire sur les exploitations.

- Enfin le système PLA est une situation atypique dans notre échantillon, un peu intermédiaire entre les types 1 et 2. la famille d'alpagistes prend en pension des génisses et vaches allaitantes d'éleveurs de la région. S'ils peuvent imposer à leurs « clients » de changer la date de prise en pension des troupeaux, ils estiment devoir tenir coûte que coûte leur engagement à garder les animaux 100 jours sur l'alpage, au risque sinon de perdre leur clientèle, et bien qu'il y ait très peu de marges de manœuvre internes à l'alpage. La sécheresse subie en début d'estive en 2015 a fait craindre le pire aux alpagistes, qui n'avaient plus de marges de manœuvre sur l'alpage si elle avait duré plus longtemps. Les régulations inter saisons-pratiques apparaissent donc comme les régulations majeures, mais elles quand-même restent très limitées (décalage de la date de montée de 5 jours en 2013 par exemple). Heureusement, cet alpage est peu exposé aux aléas (exposition de type TARD). En termes de logique, l'alpage sur cette exploitation est bien également au cœur du système (alpage fournissant l'essentiel du revenu ; atelier ovin s'adaptant à la gestion de l'alpage).

Dans le type 2, les ajustements différenciés entre exploitations sont relativement limités ; en règle générale, pour les alpages collectifs, il s'agit pour chaque exploitation de trouver ses propres marges de manœuvre pour s'adapter aux pratiques collectives sur l'alpage. Il y a parfois un peu plus de souplesse en fin d'estive (cf. MOL).

#### **6.3.2.4 Type 3 : présence marquante de soudures**

Enfin, une dernière catégorie rassemble les systèmes qui sont non seulement capables de mobiliser des régulations intra et/ou inter saisons-pratiques mais qui réalisent également des soudures. Ce sont uniquement des systèmes alpage-exploitations dont une partie au moins des exploitations a un caractère pastoral assez prononcé. Le cas JOC (Figure 98) est bien illustratif de ce type 3. Parmi les cas que nous avons décrits, on trouve aussi les cas CHP, DAR et PON (sections 6.2.1, 6.2.3 et 6.2.4). Le système alpage-exploitations CHP, toutefois, ne peut être classé dans cette catégorie que depuis l'arrivée de LA, qui a introduit la possibilité de faire des soudures. Auparavant CHP appartenait au type 1.



Le système alpage-exploitations JOC est un système ovin allaitant qui se compose d'éleveurs de la Drôme qui montent sur un alpage local au Sud du Vercors. L'exploitation suivie, TL, est autonome en fourrage (elle en vend même un peu). Au printemps le troupeau pâture surtout des vieux prés, difficilement mécanisables, mais il est possible sans grande difficulté faire la soudure entre le pâturage de printemps sur l'exploitation et l'alpage, en ajoutant une séquence de pâturage sur les prés de fauche.

Sur l'alpage se trouve un bois géré par l'ONF dont l'accès est autorisé en cas de besoin. Ce secteur est clairement identifié comme tampon permettant de faire une soudure entre deux séquences sur l'alpage, pour ne pas avoir à redescendre trop précocement sur les exploitations. La ressource est médiocre, l'accès est difficile et la conduite du pâturage est compliquée sur ce quartier loin des points d'eau et de la cabane et assez escarpé; c'est donc un quartier qui est mobilisé en dernier recours, quand toutes les autres marges de manœuvre semblent insuffisante (il n'a été utilisé que deux fois depuis 2003).

Au sein du système alpage-exploitations, il y a également, en plus de ces soudures, de nombreuses régulations qui peuvent être activées dans les différentes séquences de pâturage (quartiers d'alpage et parcours d'intersaison de TL globalement surdimensionnés par rapport aux besoins des troupeaux). Ces régulations peuvent être activées de manière différenciée selon les exploitations : il est arrivé une année que TL descende ses animaux avant les autres parce qu'il avait plus de ressources. Sur l'exploitation TL, les régulations peuvent être des régulations intra saison-pratiques (pour compenser un manque de ressource au sein de la saison-pratique) et inter saisons-pratiques, pour compenser un manque de ressource sur l'alpage (en plus des soudures).

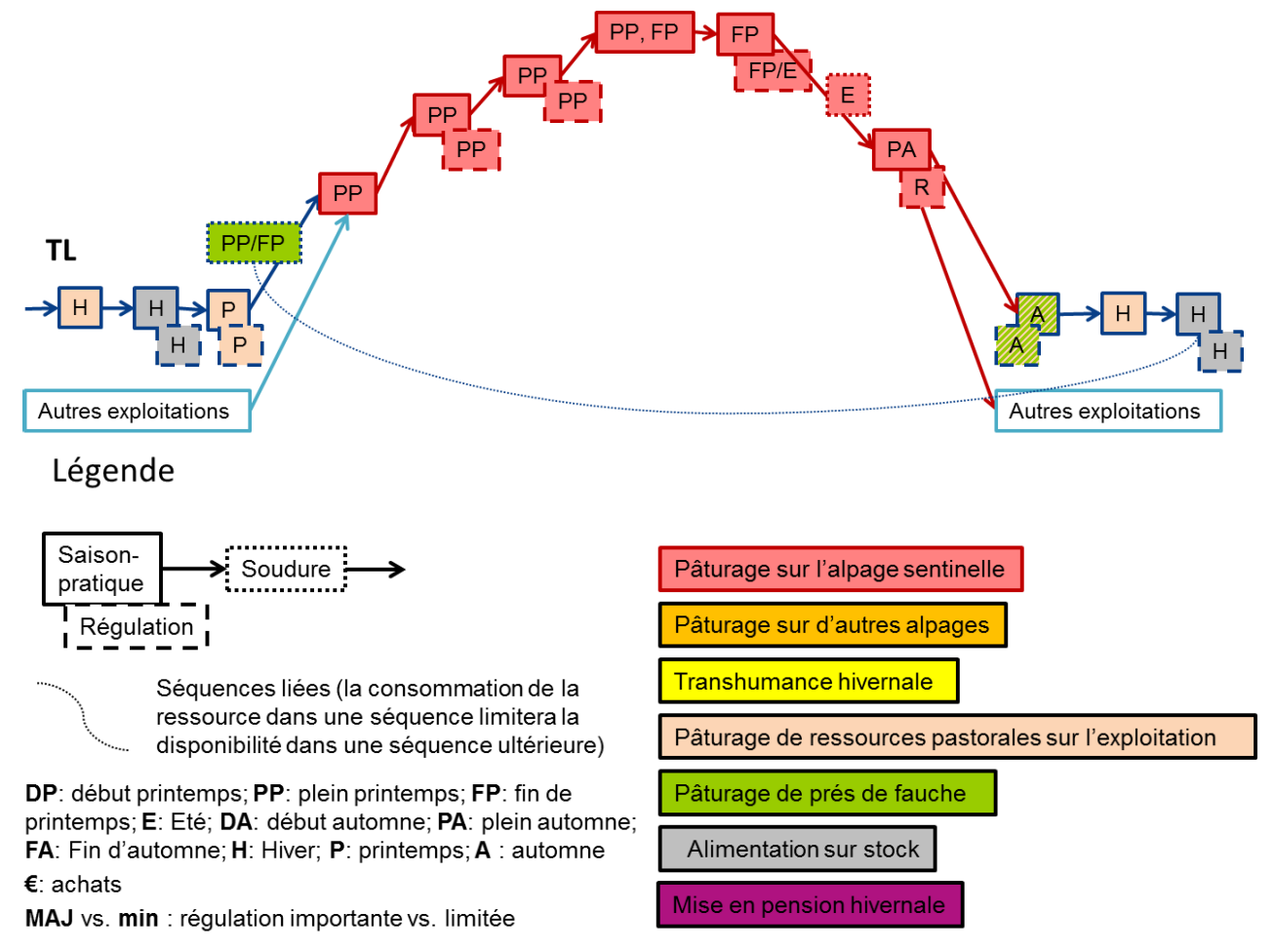


Figure 98 : Système alpage-exploitations JOC, illustratif du type 3, réalisant des soudures en complément des régulations



Ces systèmes mobilisent une diversité importante de ressources pastorales (colline, campas, chaume, coussoul, sous-bois, noyeraies, pare-feux...) et peuvent jouer sur les trois catégories d'ajustements. Ils semblent conçus pour gérer l'aléa, peut-être parce qu'ils y sont historiquement plus souvent et plus fortement confrontés sur les exploitations, en particulier l'aléa sécheresse (expositions de types *sech++* (climat méditerranéen) et *equi-var* (4 saisons marquées et variables) notamment). Il n'en demeure pas moins que la situation est tendue dans plusieurs cas ; l'ensemble des régulations et des soudures est bien nécessaire pour faire face de manière suffisante à tous les types d'aléas rencontrés. La gestion de ces systèmes est complexe et nécessite une bonne maîtrise technique, et pour les alpages collectifs une bonne concertation entre les différents pilotes que sont les éleveurs et bergers. On trouve d'ailleurs ici la plupart des alpages allaitants gardés par des éleveurs (tous sauf LAN, qui appartient au type 1).

Au sein des systèmes du type 3, les soudures ont souvent un caractère évolutif. Des soudures peuvent être mises en place suite à un aléa, et progressivement s'intégrer dans les pratiques, jusqu'à devenir des séquences indispensables (Voir le cas PON, avec un petit alpage (pistes de ski) utilisé avant et après l'alpage sentinelle, et le cas DAR, avec le pâturage à des étages intermédiaires). Dans l'analyse il n'est pas toujours aisé au premier abord de déterminer si une séquence est une soudure ou une séquence fixe. La transhumance à pied effectuée par PON à la descente des alpages est bien décrite comme une soudure par les éleveurs, même si elle est effectuée presque systématiquement (tous les ans sauf en 2014) : séquence qui n'est pas indispensable, et que l'on peut faire durer plus ou moins dans l'objectif de s'ajuster à l'état des ressources sur les exploitations. Cette transhumance se termine depuis 2011 sur une exploitation voisine de l'exploitation LM. Cela a donné lieu à la création d'une nouvelle séquence, entre la transhumance et le retour sur l'exploitation, qui n'est plus une soudure mais est complètement intégrée à présent.

Les cas appartenant à cette troisième catégorie font ressortir l'importance de la diversité des systèmes fourragers en termes d'exposition et de sensibilité, permettant de réaliser des ajustements différenciés : cas du système alpage-exploitations JOC, avec des systèmes fourragers proches géographiquement mais qui sont exposés à des climats locaux différents (cf. section 5.3.5.2) ; cas du système alpage-exploitations CHP (section 6.2.1), où les exploitations locales de haute montagne sont complémentaires de l'exploitation de Crau. Pour le système PON (section 6.2.4), il n'y a pas d'ajustement différencié sur l'alpage (d'ailleurs l'exposition et la sensibilité des systèmes fourragers des deux exploitations sont assez proches), mais le fait d'estiver ensemble permet de réaliser des ajustements à d'autres moments dans la campagne, globalement bénéfiques à tous. Cela fait également ressortir l'importance de la gestion collective, pour une bonne coordination de l'ensemble des saisons-pratiques.

Dans ces systèmes alpage-exploitations l'alpage est plutôt vu comme un espace à préserver prioritairement, parce que plus fragile, et indispensable pour passer l'été ; c'est ce qui guide l'ajustement des pratiques face aux aléas. Néanmoins, s'il est un espace prioritaire, il n'a pas une position aussi centrale que pour les systèmes laitiers de Vanoise.

## 6.4 Conclusion

### 6.4.1 Différentes logiques d'ajustement révélatrices des capacités d'adaptation et de la place des alpages dans le système

Dans ce chapitre nous avons cherché à adopter une approche systémique pour analyser les capacités d'adaptation à une échelle systémique inhabituelle. Le modèle de gestion, utilisé comme grille de lecture du fonctionnement des systèmes alpage-exploitations, s'est révélé suffisamment générique pour traiter l'ensemble des systèmes suivis. Il a permis de décrire ces capacités d'adaptation en allant plus loin que l'identification des leviers activés et la compréhension des mécanismes inhérents à ces leviers, et de décrire la façon dont l'ensemble des leviers s'articulent à l'échelle du système, comment ils dépendent de contraintes techniques : exposition, sensibilité des végétations mobilisées aux aléas climatiques, objectifs zootechniques, cahiers des charges...

Les ajustements mis en œuvre révèlent des logiques différentes d'adaptation aux aléas climatiques à l'échelle des systèmes fourragers, que nous avons repris de manière schématique dans la Figure 99. Elles éclairent sur la place accordée aux alpages par les éleveurs, pas uniquement en termes de proportion des ressources fourragères fournies, mais aussi dans la logique de construction des systèmes d'élevage. On peut faire l'analogie avec les travaux déjà cités (section 2.2) (1) de (Cayla et al. 1998) dans le Massif Central, qui ont montré que les estives pouvaient certes représenter différentes parts dans l'alimentation du troupeau, mais qu'elles occupaient aussi différentes fonctions selon les logiques de conduite des exploitations (permettre l'intensification, diversifier, sécuriser) et (2) d'Eychenne (2008a, 2008b) qui a distingué des éleveurs pour lesquels l'estive occupait une place centrale et déterminait toute la conduite de l'exploitation, et d'autres éleveurs pour lesquels l'alpage occupait une position périphérique.

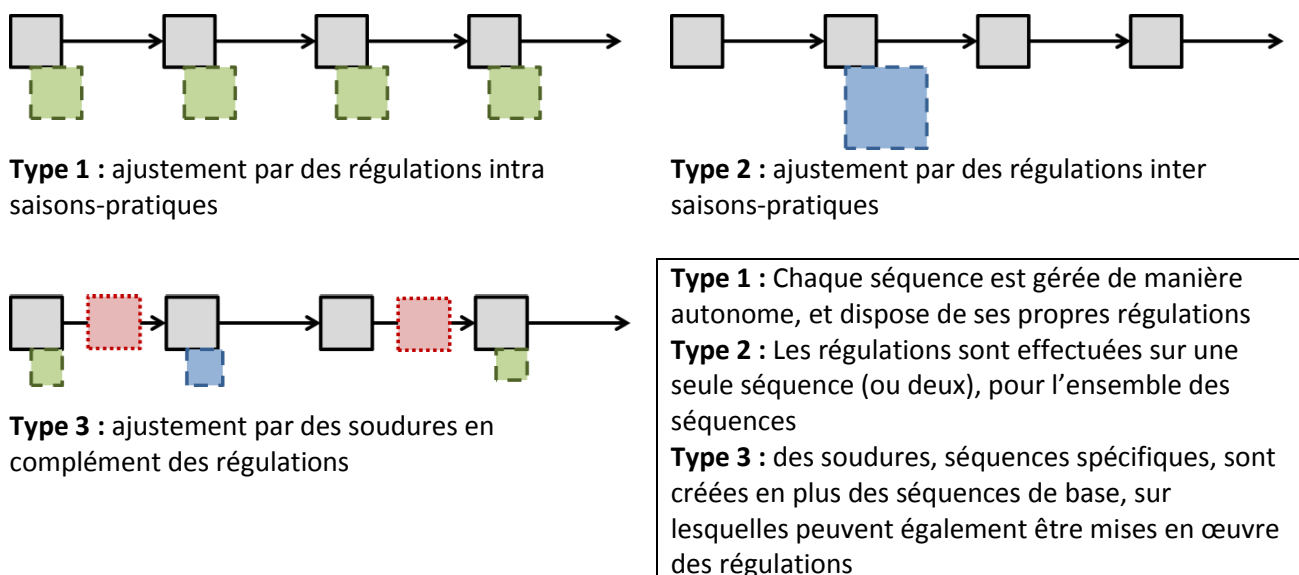


Figure 99 : Représentation schématique des trois logiques d'ajustement identifiées au travers d'une lecture en termes de saisons-pratiques

### 6.4.2 Apports du cadre d'analyse des saisons-pratiques

Les trois types d'ajustements que l'analyse en termes de saisons-pratiques nous a permis d'identifier renvoient bien à des logiques différentes dans la façon de s'adapter aux aléas climatiques (Figure 99) à

l'échelle du système alpage-exploitations, qu'il est possible de comprendre par une analyse des pratiques, pour en expliquer les raisons.

Le cadre d'analyse des saisons-pratiques s'adapte bien aux systèmes agropastoraux non méditerranéens pour s'intéresser aux ajustements qu'ils mettent en œuvre, dès lors qu'on accorde une signification large aux régulations et soudures, depuis la spécialisation de « surfaces-tampons » décrites par les concepteurs de ce modèle (Bellon et al. 1999) jusqu'à des modes de conduite différenciés du troupeau au pâturage ou des achats de fourrages. A ces conditions, pour des systèmes qui apparaissent de prime abord comme très planifiés et avec des pratiques stables d'une année sur l'autre, les saisons-pratiques permettent justement d'identifier et mettre en exergue les ajustements qui sont tout de même réalisés par les éleveurs et les bergers (pâturage plus ou moins complet de la ressource, plus ou moins précoce...).

Sur les alpages, l'analyse en termes de saisons-pratiques apporte aussi un regard nouveau, qui aide à dépasser les approches quantitatives dans la mobilisation des ressources, pour comprendre et formaliser la façon dont les bergers gèrent le pâturage en attribuant différentes fonctions aux végétations selon leurs dynamiques au cours de la saison d'alpage. Elle permet aussi de dépasser la vision d'un calendrier de pâturage guidé presque « mécaniquement » par les décalages de pousse de l'herbe dans les différents quartiers, pour mettre en avant des différences dans le stade de mobilisation des végétations et les façons qu'ont les bergers de s'ajuster, en fonction de la combinaison des différents types de végétation disponibles, de la configuration des alpages, des différentes contraintes (climatiques et autres) rencontrées en cours de saison. Les saisons-pratiques permettent bien d'adopter une vision systémique de la conduite du système fourrager (Duru et al. 1988b) « alpage ».

A l'échelle du système alpage-exploitations, enfin, l'adaptation du cadre d'analyse des saisons-pratiques propose une vision « modulaire » qui permet de penser l'articulation entre les différents sous-systèmes (alpage, exploitation(s)). Cette lecture décrit les séquences de pâturage par rapport aux dynamiques de végétation (pause hivernale et estivale, pousse printanière et automnale) et non par rapport à des dates de pâturage. Elle permet ainsi la comparaison de systèmes sous des climats très différents, avec des séquences de pousse de l'herbe (printemps et automne) qui peuvent être de durées très variables ou assez fixes d'une année sur l'autre, qui peuvent être très longues ou très courtes, des étés ou des hivers qui peuvent être très longs ou absents, etc. Dans une optique de conseil technique, cela permet de réfléchir à l'articulation de systèmes très différents au sein d'un même système alpage-exploitations, dont les exemples que nous avons présentés nous confirment qu'elle peut être une des clés pour l'adaptation au changement climatique.

### 6.4.3 Apports du système alpage-exploitations

L'approche à l'échelle du système alpage-exploitations a montré aussi son intérêt : elle a permis d'analyser les pratiques sur les alpages et de comprendre les ajustements réalisés à l'articulation entre alpages et exploitations en fonction des marges de manœuvre sur les exploitations, de la logique de fonctionnement des exploitations, de la place accordée à l'alpage par les éleveurs dans leur système de production (rôle dans le système fourrager, objectifs assignés, maîtrise technique du fonctionnement et intérêt pour ce fonctionnement, voire attachement sentimental). Le système alpage-exploitations est un système particulier parce qu'il a plusieurs pilotes (berger(s), éleveur(s)) qui ne sont généralement responsable de la gestion que d'une partie du système (une exploitation, l'alpage). Certains de ces pilotes prennent bien en compte les marges de manœuvre potentielles entre ces sous-systèmes, quand d'autres considèrent que ces sous-systèmes fonctionnent de manière relativement autonome, ou n'ont pas une bonne vision du

fonctionnement de l'ensemble. Nous reviendrons plus largement en discussion sur cette particularité (section 8.2.1.1).

### 6.4.4 Vulnérabilité

En conclusion, on peut essayer de porter un regard sur l'ensemble de la démarche d'analyse de la vulnérabilité des systèmes.

La grille d'analyse de la vulnérabilité que nous avons mise en œuvre a permis de décrire en détail la vulnérabilité des six cas de systèmes alpage-exploitations que nous avons présentés dans la section 6.2. ces cas sont très différents tant en termes de caractéristiques biophysiques que de gestion. Nous avons également pu décrire les logiques d'ajustement pour les 25 systèmes alpage-exploitations de notre échantillon.

Le découpage analytique en exposition, sensibilité et capacités d'adaptation est assez fonctionnel. Il permet de décrire d'un côté ce qui a trait au milieu, et sur lequel la gestion n'a pas prise à l'échelle de la campagne (exposition et sensibilité aux aléas), et de l'autre les pratiques (capacités d'adaptation). L'exposition et la sensibilité gagnent à être analysées ensemble. Dans plusieurs situations la sensibilité des végétations en alpage permet d'atténuer les aléas auxquels l'alpage est le plus exposé : ainsi l'alpage ROS, très tardif, a une part importante de végétations précoces (type productif) ; DAR, précoce et avec une grande variabilité phénologique, n'a que des végétations souples (type intermédiaire), voire très souple (forestier) d'exploitation. Mais dans quelques situations on a au contraire plutôt une amplification de l'exposition par les types de végétation présents : ainsi l'alpage PON, assez tardif et exposé aux sécheresses, n'a ni végétation précoce, ni végétation peu sensible au sec. Notre analyse de la sensibilité des végétations reste toutefois assez sommaire. La typologie des végétations d'alpage gagnerait certainement à être affinée par une meilleure prise en compte des conditions locales (sol en particulier), qui vont beaucoup compter dans la sensibilité.

On peut également noter une certaine corrélation entre le niveau d'exposition aux aléas climatiques et les logiques d'ajustements adoptés. Globalement, les systèmes alpage-exploitations qui subissent les plus faibles niveaux de variabilité climatiques se trouvent dans le type 2 et ont des capacités d'adaptation relativement limitées qualitativement (au sens où ils s'appuient presque que sur une seule régulation) et quantitativement (le fonctionnement de ces systèmes montre rapidement ses limites dès qu'un aléa un peu fort intervient (cf. été 2015 chez ROS ou PLA). A l'inverse les systèmes qui connaissent les niveaux de variabilité les plus importants en alpage et sur les exploitations sont ceux qui activent le plus de régulations et d'ajustement en quantité et en diversité et sont pour la plupart dans le type 3, sauf lorsque des contraintes limitent les possibilités d'ajustements (type 1).

Au final le système alpage-exploitations apparaît bien comme un point de vue pertinent pour traiter de l'adaptation au changement climatique sur les alpages, et pour les systèmes pastoraux utilisateurs d'alpage dans leur ensemble. Il offre un point de vue intéressant pour poser un diagnostic de la vulnérabilité à la recrudescence des aléas climatiques. Nous pensons qu'il pourrait permettre de raisonner des pistes d'adaptation face à la recrudescence des aléas climatiques moyennant la construction d'outils de conseils adaptés.



## **7 Adoption du cadre d'analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l'adaptation au changement climatique**



Le contenu de ce chapitre, ainsi que les éléments de méthodologie s'y référant dans la section 2.4.2 et 2.4.4, sont adaptés d'un article soumis en avril 2016 à la revue *Ecology and Society* : NETTIER B., DOBREMEZ L., LAVOREL S., BRUNSCHWIG G., (soumis). « Resilience as a framework for analysing the adaptation of mountain summer pasture systems to climate change. », *Ecology and Society*.

## 7.1 Rappel des objectifs et précisions méthodologiques

Devant la limite des cadres d'analyse de la vulnérabilité pour considérer à la fois la dynamique du système et la dynamique de son environnement (en l'occurrence des systèmes alpage-exploitations qui évoluent en même temps que le climat évolue), nous mobilisons le concept et les cadres d'analyse de résilience socio-écologique. La résilience socio-écologique est la capacité d'un système à absorber les perturbations et à se réorganiser, de manière à toujours conserver les mêmes fonctions, structures et réponses, et de ce fait la même identité (Walker et al. 2004, Folke et al. 2010). Nous construisons un cadre d'analyse de l'adaptation au changement climatique des systèmes alpage-exploitations, qui permette à la fois de prendre en compte la gestion des aléas climatique sur le court-terme et la gestion de la co-évolution des systèmes alpage-exploitations et du climat sur le long-terme. Nous mettons ainsi à nouveau à l'épreuve notre modèle conceptuel, en particulier les aspects de long-terme (aspects de long-terme du modèle de gestion et modèle biophysique d'état et de transition) qui n'ont pas été pris en compte dans l'analyse de la vulnérabilité.

Contrairement aux approches par la vulnérabilité, il y a un enjeu à démontrer le caractère opératoire du concept de la résilience pour la gestion de systèmes socio-écologiques. Et contrairement à l'analyse de la vulnérabilité que nous avons effectués (chapitres 5 et 6), l'approche ici est exploratoire, et nous ne mobilisons partiellement que quatre cas parmi les 25 de notre échantillon, que nous comparons deux à deux sur certains aspects pour mettre en relief quelques éléments marquants. Nous nous appuyons sur la méthode proposée par Walker et Salt (2012), qui comprend trois étapes pour « mettre en pratique la résilience » : (1) décrire le système par un travail de modélisation conceptuelle, (2) évaluer sa résilience, avant de (3) gérer sa résilience.

La première étape de description du système consiste à comprendre la façon dont il fonctionne, en identifiant les différentes échelles auxquelles il faut s'intéresser, les acteurs du système, les fonctions, propriétés du système qu'il faut préserver, les perturbations menaçant le système (Carpenter et al. 2001), et enfin les *drivers*, les principaux éléments qui pilotent la dynamique du système.

Pour réaliser ce travail, les démarches participatives sont préconisées (Walker et al. 2002, Darnhofer et al. 2010a, Walker et Salt 2012). Impliquer une diversité d'acteurs est important pour confronter des points de vue différents (Brown 2010) et combiner des savoirs complémentaires (savoirs « scientifiques » et « locaux » ou « empiriques » notamment) (Reed 2008). Walker et Salt (2012) proposent également d'adopter une démarche itérative pour réduire progressivement la complexité du modèle et ne retenir que les *drivers* qui ont réellement une importance, ce qui est un gage d'opérationnalité et d'appropriation. Le travail de modélisation réalisé (chapitre 4) correspond bien à la démarche proposée. Nous mobilisons donc dans ce chapitre le modèle conceptuel que nous avons construit précédemment.

La seconde étape d'évaluation de la résilience consiste en la construction d'une grille de lecture pour analyser la résilience du système socio-écologique « système alpage-exploitations ». Le but ici n'est pas de parvenir à mesurer quantitativement la résilience, mais de parvenir à identifier ce qui confère,



## Chapitre 7 : Adoption du cadre d'analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l'adaptation au changement climatique

ou pas, de la résilience dans des situations réelles d'alpages. Walker et Salt (2012) proposent une liste générique et exhaustive des caractéristiques conférant de la résilience aux systèmes socio-écologiques (Tableau 16). Nous avons confronté cette liste au modèle de fonctionnement de l'alpage pour identifier les éléments concrets qui peuvent correspondre à ces critères génériques. La liste des éléments ainsi identifiés constitue une grille de lecture, permettant d'analyser la résilience de cas réels d'alpages.

Critère	Description
Diversité	La diversité au sein du système (sous toutes ses formes : biologique, paysagère, sociale, économique). La diversité donne des options pour s'adapter à une diversité de situations. En termes de biodiversité végétale, il s'agit d'augmenter la diversité fonctionnelle (diversité de fonctions remplies par les espèces présentes), mais surtout la diversité de réponse (diversité de réaction des plantes face à une perturbation).
Transparence, ou ouverture	L'ouverture permet à la fois de faire appel à des ressources extérieures, mais expose aussi à des perturbations extérieures au système.
Réserves	Le fait de disposer de réserves, qui peuvent prendre des formes variées, permet au système d'absorber un choc sans modifications majeures, en puisant dans les réserves (cf. buffer capacities). Ce critère est très lié à la notion de « Capital » (capital naturel, humain, financier...)
Capacité de détection et réaction, ou réactivité	La capacité du système à réagir à une perturbation et sa vitesse de réaction sont déterminantes pour sa résilience, qu'il s'agisse de feedback écologiques (« étroitesse des feedbacks »), ou de la capacité des acteurs à détecter une perturbation et à modifier leurs pratiques en conséquence (et c'est alors fortement lié aux capacités d'apprentissage des acteurs).
Modularité	Gérer le système en différents modules plus ou moins autonomes confère de la résilience : plus les différentes composantes d'un système sont liées, plus un choc sur une composante du système se diffusera facilement à l'ensemble du système.
Capital social	Le capital social fait référence à trois attributs interdépendants, essentiel pour faire face à l'échelle d'une communauté : (1) le leadership, vu comme un processus et non un état de fait, et le fait d'avoir différents styles de leadership pour différentes circonstances ; (2) des réseaux sociaux interconnectés ; (3) de la confiance entre les acteurs. Ces attributs déterminent « l'empowerment <sup>27</sup> » de la communauté, sa capacité à agir en faisant ses propres choix.

Tableau 16: Critères génériques susceptibles de conférer de la résilience à un système socio-écologique, d'après Walker et Salt (2012)

Enfin la dernière étape consiste à gérer la résilience. Sans aller jusqu'à une mise en œuvre de la gestion, dans cette dernière étape nous avons confronté la grille de lecture du fonctionnement de l'alpage à quelques cas concrets d'alpages suivis dans le cadre du dispositif Alpages Sentinelles, afin de tester sa pertinence et vérifier qu'elle permet de donner des pistes pour préserver ou améliorer la résilience des alpages. Au travers des exemples choisis, nous avons cherché à illustrer en quoi la grille d'analyse de la résilience des alpages permet de mieux analyser certains aspects habituellement peu pris en compte du fonctionnement des alpages et qui s'avèrent pourtant essentiels pour l'adaptation au changement climatique. Nous nous sommes concentrés pour cela sur deux thématiques clés, abordées au travers de la comparaison de cas : (1) la mobilisation de la diversité des végétations et la

<sup>27</sup> Divers équivalents ont été proposés en français, mais qui ne recouvrent pas complètement la même signification : « capacitation », « autonomisation », « responsabilisation », « émancipation » ou « empouvoir »

gestion de cette diversité, qui sont au cœur de nombreuses problématiques de gestion intégrée des ressources naturelles, et (2) le pilotage du système par l'ensemble des acteurs de ce système (éleveurs et bergers), le caractère collectif des alpages étant une spécificité forte (Reid et al. 2014) par rapport à la plupart des systèmes agricoles en Europe, mais qui n'est pas pris en compte dans le modèle antérieur de gestion de l'alpage (Savini et al. 1995).

Nous montrons à partir de ces deux thématiques en quoi la démarche que nous avons adoptée peut permettre de déboucher sur des actions de conseil.

## 7.2 Résultats

### 7.2.1 Grille d'analyse de la résilience des systèmes alpage-exploitations

A partir des caractéristiques de notre modèle et des critères génériques qui confèrent de la résilience aux systèmes socio-écologiques (Walker et Salt 2012), il est possible d'identifier les éléments susceptibles de conférer de la résilience aux alpages et de construire une grille d'analyse du fonctionnement des alpages qui explicite ces éléments : voir Tableau 17 où ces éléments sont organisés selon le triptyque Hommes-Troupeaux-Ressources de l'approche des systèmes d'élevage (Gibon et al. 1999, Dedieu et al. 2008b), et selon les cinq échelles du modèle de gestion. Les critères génériques de Walker et Salt (2012) sont indiqués entre crochets.

Les critères génériques proposés par Walker et Salt (2012) prennent un sens par rapport à la représentation qu'ont les acteurs mobilisés du fonctionnement d'un alpage, traduite dans le modèle. Certains de ces critères ressortent fréquemment, quand d'autres paraissent plus rarement pouvoir correspondre à une réalité concrète. Ainsi le fait de disposer de « réserves » paraît essentiel face à une perturbation, que ce soit un surplus de ressource mobilisable, des animaux en bon état d'engraissement pouvant supporter une période difficile, ou de la main d'œuvre mobilisable pour faire face à une difficulté imprévue. La « diversité » est également une caractéristique très importante, qui peut être mobilisée à tous les niveaux pour s'ajuster face aux aléas aux différents niveaux de gestion (diversité des végétations, d'exposition aux aléas climatiques, de besoins animaux, de points de vue dans la gestion...), de même que la « réactivité » (capacité de détection et de réaction, « feedbacks »), qu'il s'agisse de la capacité des gestionnaires à détecter une perturbation et à réagir, de feedbacks écologiques, ou de la capacité des animaux à changer de ressources. Il y a en revanche très peu de « modularité » entre les éléments du système. La gestion d'un alpage est plutôt vue comme un tout cohérent et avec de fortes interdépendances. Il n'y a qu'à l'échelle du système alpage-exploitations que la forte autonomie des différentes exploitations agricoles peut conférer de la modularité au système : si l'une d'elles disparaît ou change d'alpage, dans la plupart des cas les autres ne seront pas impactées. « L'ouverture » prend du sens à deux niveaux : à l'interaction entre alpage et exploitation (flux d'animaux), et au niveau du système alpage-exploitations dans son ensemble (entrée/sortie d'animaux ou achat/vente d'aliments). C'est la capacité à maîtriser ces flux, c'est-à-dire à faire transiter les animaux entre l'alpage et l'exploitation, et à assurer l'autonomie fourragère des exploitations (ou à maîtriser les flux d'argent permettant les achats d'aliments) qui confère de la résilience au système. Enfin le capital social est fondamental, étant données les nombreuses interactions entre acteurs au sein du système (éleveurs, bergers) et avec l'extérieur du système.

Chapitre 7 : Adoption du cadre d'analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l'adaptation au changement climatique

Echelle d'espace-temps de la gestion	Homme	Troupeau	Ressource (c'est-à-dire la végétation telle qu'elle est mobilisée dans la gestion)
Journée et circuits de pâturage	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Berger, son savoir-faire, sa connaissance de l'alpage [réactivité]</li> <li>•Différents techniques de gardiennage [diversité]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Comportement des animaux, par rapport à la capacité à mobiliser la végétation [diversité, réactivité]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Diversité fonctionnelle de la végétation sur le quartier, diversité de configuration des secteurs (permet de faire face à une diversité de situations par la mobilisation de différents types de végétations (Figure 42, vert clair, page 122)</li> <li>•Configuration du quartier : position des équipements et des différents secteurs de pâturage, facilité de circulation du troupeau (permet plus ou moins de varier les circuits de pâturage) [diversité, modularité]</li> </ul>
Quartier et saison pastorale d'alpage	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Berger (idem ) [réactivité]</li> <li>•Éleveurs, selon leur implication sur l'alpage (idem ) [réactivité] et selon leur motivation collective [capital social (leadership)]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Capacité tampon (génétique, état sanitaire et objectifs zootechniques) [réserves]</li> <li>•Niveau de besoin des animaux (moments dans cycle de production) [diversité]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Diversité de réponse de la végétation : permet d'avoir de l'herbe quels que soient les aléas climatiques (Figure 42, vert foncé) [diversité, modularité]</li> <li>•Préservation d'un excédent de ressources dans la gestion (Figure 42, vert foncé) [réserves]</li> </ul>
Alpage et saison d'alpage	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Relations bergers - éleveurs [réactivité, capital social (confiance)]</li> <li>•Disponibilité des éleveurs (main d'œuvre) [réserve, modularité]</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Diversité de conditions pédoclimatiques sur l'alpage (expositions, altitudes, pentes, sols) permettant de ne pas subir les mêmes aléas partout [diversité, modularité]</li> <li>•Existence ressource tampon mobilisable à n'importe quel moment de la saison d'alpage (Figure 42, vert foncé) [réserves]</li> </ul>

Chapitre 7 : Adoption du cadre d'analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l'adaptation au changement climatique

Année et système Alpage-Exploitations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relations entre éleveurs au sein du GP, règles de fonctionnement [diversité, capital social, réactivité]</li> <li>• Relations avec le conseil, sources d'information [ouverture, réactivité]</li> <li>• Choix des bergers, qui nécessite de s'appuyer sur des réseaux [ouverture, capital social]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Critères de choix des dates, effectifs et niveau de besoin des animaux inalpés [réactivité]</li> <li>• Etat sanitaire [réserves]</li> <li>• Différences génétiques et de comportement entre animaux (races, critères de sélection, apprentissages antérieurs) [diversité]</li> <li>• Capacité à acheter/vendre des animaux pour s'ajuster aux ressources [ouverture]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressource de soudure (<b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b>, leue) mobilisable sur l'alpage au début ou en fin de saison d'alpage, ou sur les exploitations, permettant décalage dates montée/descente, variations effectifs inalpés, sur les exploitations [Réserves] ou en dehors : fourrage acheté, pâturage hors SAU (autonomie fourragère) [ouverture]</li> <li>• Ressources pouvant être pâturés à différents moments (report sur pied) sur les exploitations [diversité]</li> <li>• Mobilisation d'autres espaces estivaux en complément de l'alpage [modularité, diversité]</li> <li>• Diversité de systèmes fourragers (origines géographiques, fonctionnement, climats subis et sensibilité aux climats) [diversité]</li> <li>• Nombre d'exploitations agricoles [modularité]</li> </ul>
Long-terme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolution des adhérents au GP, des bergers et critère de choix des exploitations [diversité, modularité]</li> <li>• Apprentissages [réactivité]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Critères de sélection des animaux (rusticité) [réserves]</li> <li>• Diversité des critères de sélection entre exploitation [diversité]</li> <li>• Evolution des tailles des cheptels [réserves]</li> <li>• Apprentissage des animaux [diversité]</li> <li>• Evolution des troupeaux et critère de choix des exploitations [diversité]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolution du parcellaire et des équipements : évolution des surfaces disponibles, de l'accès à ces surfaces, [Réserves], de la diversité de végétation à différentes échelles [diversité].</li> <li>• Pratiques sur l'alpage (pâturage, entretien) : évolution de la qualité des types de végétation (cf. modèle d'état et de transition, en annexe 1) [Réserves] et de la diversité de végétation [diversité]</li> <li>• Evolution des systèmes fourragers et choix des exploitations lors de leur remplacement [diversité, modularité]</li> </ul>

Tableau 17 : éléments conférant de la résilience aux différents niveaux de gestion des alpages ; pour chaque élément, le critère générique identifié par Walker et Salt (2012) est précisé entre crochets.

Chapitre 7 : Adoption du cadre d'analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l'adaptation au changement climatique

## **7.2.2 Opérationnalité du modèle conceptuel sur quelques études de cas**

Le test de l'opérationnalité du modèle sur des cas concrets d'alpage est ciblé sur la mobilisation et la gestion de la diversité des végétations et sur le pilotage du système par le collectif d'éleveurs et de bergers.

### **7.2.2.1 Mobilisation et gestion de la diversité des végétations**

Le Tableau 18 présente la façon dont la diversité des végétations est mobilisée par les éleveurs et les bergers pour faire face aux aléas climatiques sur deux alpages ovins individuels (DAR et CRO). Dans ces deux exemples choisis à dessein, dont le fonctionnement est décrit de manière détaillée dans les sections 6.2.2 et 6.2.3, la diversité des végétations apparaît bien comme un élément essentiel. Les éleveurs et bergers savent en tirer parti pour faire face aux perturbations climatiques, de manière très différente selon la configuration des alpages et des exploitations, et selon les contraintes externes subies.

L'analyse montre aussi que la situation reste précaire sur ces deux alpages : accès au foncier précaire pour l'un et forte sensibilité à la prédation pour l'autre, qui pourraient remettre en cause la faculté à mobiliser la diversité des végétations. Cela permet de réfléchir à la façon de trouver de nouvelles marges de manœuvres pour regagner de la résilience.

### **7.2.2.2 Pilotage collectif de l'alpage et du système alpage-exploitations**

Jusqu'à présent le cadre d'analyse de la gestion de l'alpage (Savini et al. 1995) considérait qu'il n'y avait qu'un seul berger-pilote unique. Pourtant il y a souvent plusieurs bergers sur un alpage, et les éleveurs participent au pilotage et doivent bien être considérés comme partie intégrante du système. Selon l'implication des éleveurs sur l'alpage, leur connaissance du fonctionnement de l'alpage et de la situation au quotidien, et selon le mode de fonctionnement du collectif d'éleveurs et de bergers, la capacité du système à faire face à des perturbations sera très différente, comme l'illustre la comparaison de deux alpages dans le Tableau 19.

Dans les deux cas, les marges de manœuvre prises isolément sur chaque exploitation et sur l'alpage sont très limitées ; améliorer la résilience passe donc par une réflexion à l'échelle du système alpage-exploitations. Sur l'alpage SUR, cela nécessite des apprentissages et d'initier une dynamique collective.



Chapitre 7 : Adoption du cadre d'analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l'adaptation au changement climatique

Code de l'alpage	DAR	CRO
Configuration et types de végétation dominants	<p>Plateau séchant (1300 m d'altitude):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pelouses intermédiaires subalpines (forte diversité qualitative intra-type)</li> <li>- Forestier pâturé</li> </ul> <p>crête (1900 m): Pelouses intermédiaires subalpines de qualité médiocre ; pas d'eau</p>	<p>Versant en ubac (1500-2500 m):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Forestier pâturé</li> <li>- Facies productif</li> <li>- Pelouses intermédiaires alpines</li> </ul>
Journée et circuit de pâturage	Mobilisation de la diversité fonctionnelle des végétations, pour équilibrer la ration quotidienne (entre végétations riche et fibreuse), et pour s'ajuster à la météo (entre espaces ouverts pour les jours de beau temps et espace boisés pour les intempéries et les canicules).	
Saison-pratique ou saison pastorale	Mobilisation de la diversité de réponse des végétations aux sécheresses, principal aléa impactant la conduite sur cet alpage aux sols superficiel (mobilisation accrue des sous-bois, moins sensibles aux sécheresses).	Mobilisation de la diversité de réponse des végétations à la précocité des saisons (mobilisation accrue des faciès productifs, précoces, lors des printemps tardifs et inversement).
Saison d'alpage	A cause du manque d'eau sur le quartier en crête, la capacité à mobiliser l'étagement altitudinal est limitée. En compensation, la diversité fonctionnelle des végétations est mobilisée : les bergers jouent sur les différences d'aptitudes au report sur pied pour disposer de ressources suffisamment riche tout au long de la saison d'alpage.	Mobilisation principalement de la diversité des conditions pédoclimatiques permise par l'étagement altitudinal pour disposer de ressource riche tout au long de la saison d'alpage.
Année et système alpage-exploitation	<p>Grande diversité de végétations sur l'exploitation, mobilisée de manière différente chaque année de façon à s'ajuster aux aléas.</p> <p>Fortes capacités à décaler les dates de montée et descente d'alpage (permettant de compenser l'absence de végétation précoce sur l'alpage, et les variations de productivité).</p>	<p>Nombreuses contraintes sur l'exploitation (parcellaire morcelé et réduit, pas de clôtures, contraintes d'accès) limitant les possibilités d'ajustement sur l'exploitation pour tirer parti de la diversité des végétations, et limitant les capacités à ajuster les dates de montée et descente d'alpage. C'est sur l'alpage que devront se faire les ajustements.</p>

<p>Long-terme</p>	<p>Baisse quantitative et en diversité de la ressource disponible sur l'alpage : apparition prédation (loup) qui réduit les possibilités de pâturage en sous-bois.                  Réduction progressive du temps passé sur l'alpage par la mobilisation de nouveaux espaces à une altitude intermédiaire entre siège d'exploitation et alpage, mais avec une faible maîtrise foncière.                  Amélioration des équipements (réserves d'eau) permettant d'améliorer l'utilisation de la ressource existante sur l'alpage.                  Gestion de la pression du pâturage visant à préserver la diversité fonctionnelle des végétations.                  Evolution du calendrier zootechnique pour avoir un minimum d'agneaux à engraisser durant la saison d'alpage.</p>	<p>Pression de pâturage adaptée au renouvellement à l'identique de la ressource sur les espaces ouverts, et insuffisante sur les espaces fermés, où ce sont les activités forestières qui permettent d'éviter l'embroussaillage du milieu.</p>
<p>Conclusion : gestion de la résilience</p>	<p>Contraintes multiples et peu d'étagement altitudinal : la mobilisation de la diversité des végétations aux différentes échelles de gestion est fondamentale pour la résilience du système.                  Alors que le système paraît suffisamment résilient aujourd'hui, la précarité du foncier menace le maintien de la diversité des végétations à l'échelle de l'année, principal niveau d'ajustement suite à la perte de diversité sur l'alpage (prédation).                  Il conviendrait de trouver des pistes pour sécuriser la diversité actuelle ou trouver de la diversité à d'autres niveaux de gestion : équipement en eau sur la crête, utilisation de plusieurs alpages en parallèle, transhumance collective... sont des pistes à explorer.</p>	<p>Résilience permise par l'étagement altitudinal et le surplus de végétation très souple d'exploitation en sous-bois. La gestion forestière maintient le milieu en équilibre.                  Le risque majeur proviendrait de l'arrivée du loup sur l'alpage, qui interdirait l'accès au sous-bois et réduirait les possibilités d'ajustement, en particulier à l'échelle de la journée et de la saison pastorale. Une meilleure mobilisation de la diversité des végétations de l'exploitation ne suffirait pas dans ce scénario, où il faudrait certainement accepter une rupture et une transformation du système (conversion en alpage bovin et abandon des zones les plus pentues par exemple).</p>

Tableau 18 : Comparaison de la façon dont est mobilisée la diversité des végétations aux différents niveaux de gestion sur deux alpages ovins individuels du dispositif Alpages Sentinelles



Code de l'alpage	SUR	PON
Collectif de travail	Éleveurs locaux et un berger salarié.	Éleveurs transhumants qui gardent à tour de rôle sur l'alpage.
Connaissances et règles de gestion	- éleveurs : pas de vision Claire de la ressource sur l'alpage - pas de règles pour ajuster les dates d'estive ou les effectifs - capacités de détection et de réaction à l'interaction alpage-exploitations limitées (mauvaise connaissances des ressources de l'alpage).	Bonne connaissance des ressources sur l'alpage, et importantes capacités d'ajustements, sur l'alpage, sur les exploitations, à l'interaction alpage-exploitations (plusieurs modifications structurelles importantes)
Adaptations	Ajustements effectués principalement par le berger sur l'alpage	Ajustements progressifs à différents niveaux en réponse à un manque de ressource : - Retard de la date de montée en alpage - Pâturage de nouvelles surfaces avant et après l'alpage - ajustements sur les exploitations et entre les exploitations tout au long de l'année
Conclusion : résilience à l'échelle des alpages	Des difficultés à gérer les aléas climatiques pour le berger, surpâturage localisé Risque de dégradation de la ressource et perte de résilience sur le long-terme	Gestion plus favorable à la préservation de la résilience sur le long-terme.

Tableau 19 : Comparaison de la gestion sur deux alpages ovins collectifs

## 7.3 Discussion

### 7.3.1 Intérêts et limites de cette nouvelle grille de lecture pour l'analyse des systèmes d'élevage

Le regard porté sur la mobilisation de la diversité des végétations permet de caractériser ce qui est réellement mis en œuvre sur les alpages et est complémentaire de plusieurs travaux visant à estimer un potentiel théorique permis par la diversité à l'échelle des parcelles ou du système fourrager (Martin et al. 2009, Jacquot 2012). Au delà du seul cas des alpages, les travaux sur la résilience ont déjà été mobilisés pour caractériser les stratégies d'adaptation des systèmes d'élevages face à des perturbations (Dedieu et Ingrand 2010, Nettié et al. 2010), mais ces approches ne sont pas allées jusqu'à décrire précisément les mécanismes d'adaptation à l'interaction entre la dimension sociale et écologique. Parmi les critères conférant de la résilience identifiés dans notre grille (Tableau 17), certains étaient néanmoins déjà connus et pris en compte sur le terrain, comme par exemple l'importance des connaissances des éleveurs et des bergers (Oteros-Rozas et al. 2013), même s'ils n'étaient pas toujours pensés en termes de résilience (Meuret et Provenza 2014). D'autres aspects que nous avons identifiés renvoient à des travaux scientifiques récents encore peu intégrés dans les pratiques. En particulier les critères liés à la conduite du troupeau pour faire face aux perturbations sont bien étudiés (Blanc et al. 2010, Jacquot et al. 2010, De La Torre et al. 2015) mais demeurent peu pris en compte dans la gestion (Ollion 2015) et dans le conseil technique.

### **7.3.2 Les théories de la résilience socio-écologique ont du sens pour la gestion des alpages**

Parmi les concepts liés à celui de résilience socio-écologique figure le concept de Panarchy (Gunderson et Holling 2002), que l'on peut résumer par deux principes. Le premier principe est que les systèmes socio-écologiques évoluent en permanence au cours du temps et en fonction de perturbations qui les amènent à s'adapter ou à se transformer (Walker et al. 2004). Leur adaptabilité évolue sans cesse au cours du temps : tantôt ils gagnent en résilience et développent leur adaptabilité, tantôt ils perdent en résilience, en gardant toujours les mêmes fonctions, structures, réponses et identité. Il arrive nécessairement à un moment une perturbation trop forte face à laquelle l'adaptabilité est insuffisante. Le système connaît alors une rupture et se transforme pour changer de fonctions, structures, réponses et identité. Cette transformation peut être subie, mais elle peut aussi être souhaitée pour obtenir une situation avec une meilleure résilience. Darnhofer (2014) a bien décrit ce que cela pouvait signifier pour des systèmes agricoles. Le second principe de la Panarchy est que les systèmes socio-écologiques sont constitués par des sous-systèmes à des niveaux d'organisation inférieurs et ils sont inclus dans des systèmes à une échelle supérieure. Ces différents niveaux d'organisation des systèmes ne sont pas indépendants et l'évolution de la résilience à un niveau aura des répercussions sur la résilience aux autres niveaux. Développer l'adaptabilité à un niveau pourra passer par une transformation à un autre niveau. Le modèle que nous avons construit s'accorde bien avec cette lecture du fonctionnement des socio-écosystèmes : aux différentes échelles de gestion correspondent des systèmes semi-autonomes : secteurs, quartiers, alpages, systèmes alpage-exploitations. Dans une logique système alpage-exploitations, on pourrait considérer que l'enjeu est de préserver ou développer l'adaptabilité du système « alpage », éviter d'arriver à une rupture qui conduirait à une transformation de l'alpage (par exemple l'arrêt d'une utilisation pastorale). Les différents niveaux d'organisation sont en interaction, et il est possible, pour préserver les fonctions de l'alpage de recourir à des transformations à des niveaux inférieurs ou supérieurs (abandon d'un quartier, rupture dans le fonctionnement des exploitations par exemple).

### **7.3.3 Deux conditions réunies pour permettre une opérationnalisation des théories de la résilience**

Sur le cas de la gestion des alpages et de son adaptation face aux risques climatiques, nous avons montré que la méthode proposée par Walker et Salt pouvait effectivement donner des clés pour analyser la résilience du socio-écosystème « système alpage-exploitations » en vue de sa gestion. Il nous semble que la capacité du modèle et de la grille d'analyse à bien traduire le fonctionnement d'un alpage et à permettre d'identifier ce qui permet sa résilience tient à deux éléments dans la façon dont nous avons mis en œuvre cette méthode.

#### ***7.3.3.1 Accorder une part équilibrée aux deux dimensions du socio-écosystème***

D'abord, nous avons veillé à accorder dans la modélisation une part équilibrée entre la dimension sociale et la dimension écologique du socio-écosystème. Notre modèle permet ainsi bien de comprendre la cohérence entre les pratiques des éleveurs et des bergers et le fonctionnement des milieux pastoraux. Bien souvent les travaux sur l'analyse de la résilience des socio-écosystèmes mettent l'accent sur une partie du système. Parfois ils se concentrent sur la dimension écologique du système et n'analysent pas ou de manière superficielle les mécanismes sociaux (Allen et al. 2011), en général quand les enjeux sont d'abord environnementaux. Parfois au contraire ils se concentrent sur la dimension sociale du système et abordent très superficiellement son fonctionnement écologique ;

c'est fréquemment le cas dans l'analyse de la résilience de systèmes agricoles (Milestad et Darnhofer 2003, Darnhofer 2010, Darnhofer et al. 2010b, Tiftonell 2014), où on ne s'intéresse guère, au plan écologique, qu'à l'effet de la gestion sur le taux de matière organique du sol et sa capacité à tamponner les sécheresses (Carlisle 2014). Pour les systèmes pastoraux où les dimensions sociales et écologiques sont étroitement liées, avoir cette approche équilibrée semble indispensable (Reid et al. 2014).

### ***7.3.3.2 Définir les contours du socio-écosystème en fonction de sa dimension sociale***

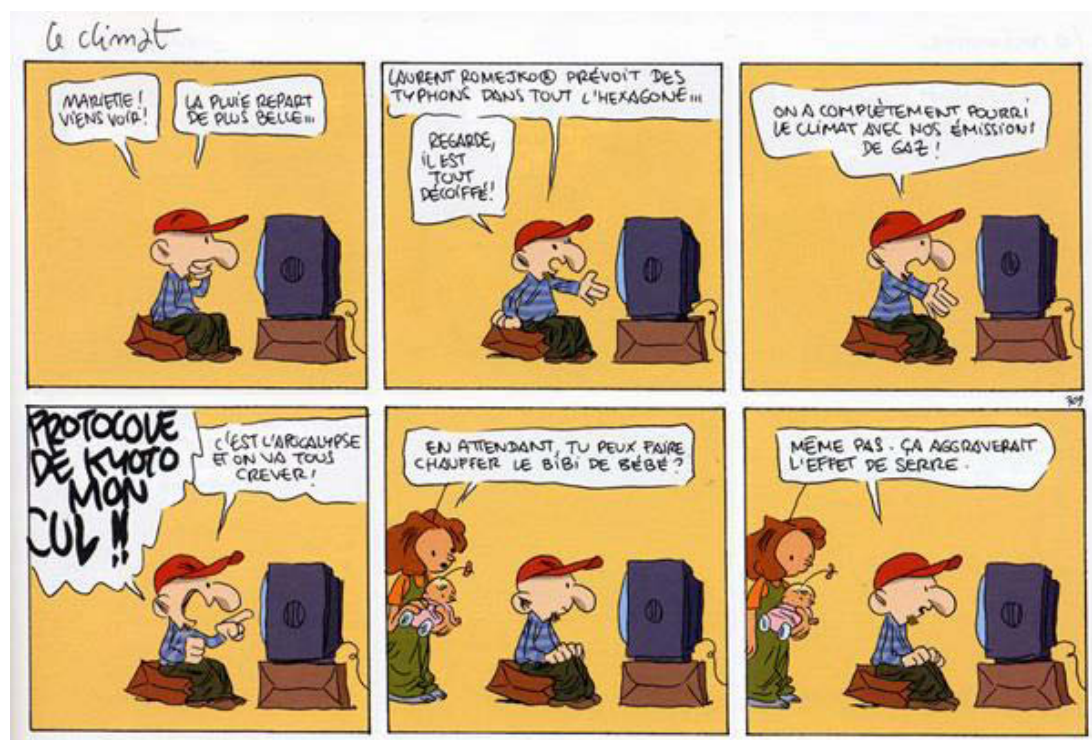
Ensuite, nous avons défini les contours de notre socio-écosystème au travers de sa dimension sociale : nous avons considéré l'alpage d'abord en tant qu'unité de gestion, avec ses sous-unités de gestion, et avons ensuite caractérisé le fonctionnement écologique de ce système. Bien souvent dans les travaux sur la résilience l'approche est inverse (voir Soane et al. (2012) pour le cas des alpages, qui définit différents systèmes en interaction en fonction de leurs caractéristiques écologiques). Cela peut paraître cohérent pour traiter de problématiques environnementales, mais cela peut être une limite pour parvenir ensuite à saisir la cohérence de la gestion et déboucher sur des recommandations concrètes de gestion.

## **7.4 Conclusion**

Par rapport à l'analyse de la vulnérabilité, l'approche par la résilience nous a permis de nous interroger sur le temps long et de mettre à l'épreuve la partie du modèle biophysique portant sur ce temps long (modèle d'état et de transition). A travers les exemples que nous avons choisis, nous avons pu montrer, s'il en était besoin, que les éleveurs et bergers intègrent bien ce temps long dans la gestion, notamment la gestion des dynamiques de végétation. Les dynamiques de végétation décrites dans les cas étudiés sont cohérentes avec le modèle d'état et de transition que nous avons construit et se « lisent » bien avec le modèle (toutefois nous n'avons mobilisé qu'une faible partie de l'ensemble des éléments de ce modèle).

Notre approche est restée exploratoire, néanmoins cette prise en compte du temps long semble pouvoir être intégrée dans une démarche de diagnostic et de conseil. La méthode proposée par Walker et Salt et que nous avons mise en œuvre s'avère prometteuse pour analyser la résilience des systèmes pastoraux en vue d'en améliorer la gestion. La grille de critères à observer que nous avons construite (Tableau 17) est un outil opératoire intéressant, mais c'est bien le modèle de fonctionnement de l'alpage en lui-même qui apporte le plus d'intérêt. Les experts mobilisés avaient déjà une certaine idée de l'effet des perturbations climatiques sur le système et des éléments qui servent à faire face aux perturbations, à mettre en avant dans le modèle. Ils n'étaient pas si loin de penser en terme de résilience. La construction de ce modèle a permis d'explicitier une vision des alpages comme des systèmes dynamiques dans un environnement dynamique, et avec de multiples échelles de fonctionnement en interaction.

## 4ème partie : Discussion générale



Jean-Yves Ferri et Manu Larcenet, *Le Retour à la Terre, Tome 4, Le Déluge*, 2006



## **8 Discussion générale : avancées scientifiques et perspectives opérationnelles**



## 8.1 Principaux résultats de ce travail de thèse

Au cours de ce travail de thèse nous avons présenté différents résultats, que nous rappelons ici.

1. A partir d'un travail de réflexion s'appuyant sur une synthèse bibliographique permettant de définir la problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages, nous avons tout d'abord proposé le concept de système alpage-exploitations, que nous avons défini comme un système d'élevage composé d'un alpage, au centre du système, et des différentes exploitations qui l'utilisent et avec lequel l'alpage est en interaction. Ce concept permet d'aborder le fonctionnement d'un alpage en ne considérant plus les exploitations utilisatrices de l'alpage comme des boîtes noires, mais au contraire en prenant en compte les interactions entre l'alpage et les exploitations utilisatrices.
2. Pour analyser l'adaptation des systèmes alpage-exploitations au changement climatique, nous avons construit un modèle conceptuel du fonctionnement de ce système, en articulant des connaissances expertes et scientifiques. Ce modèle agronomique articule une dimension biophysique, qui décrit les interactions climat-pratiques-végétations à l'échelle de la campagne annuelle et sur le temps long, et une dimension de gestion, qui propose une grille de lecture des pratiques à différentes échelles spatiales et temporelles.

Pour évaluer ce modèle, nous l'avons mis à l'épreuve en testant sa capacité à analyser des cas (1) au travers d'une analyse de leur vulnérabilité aux aléas climatiques, et (2) au travers d'une analyse de leur résilience face au changement climatique. Ces différentes analyses nous ont permis de produire les résultats suivants :

3. Nous avons élaboré une méthode d'analyse de l'exposition des alpages et des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques, à partir de la de la mobilisation de données du modèle climatique SAFRAN et de données de télédétection satellitaire MODIS, en construisant des indicateurs agrométéorologiques ad hoc. Nous avons ainsi établi une typologie de l'exposition des alpages et des exploitations aux aléas climatiques.
4. Nous avons construit une grille de lecture de la gestion du système fourrager à l'échelle du système alpage-exploitations, en adaptant les approches fonctionnelles des systèmes d'alimentation utilisées pour les systèmes méditerranéens (saisons-pratiques).
5. Cette grille de lecture nous a permis de décrire trois grandes logiques d'adaptation aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations, selon la logique dominante dans les ajustements réalisés (régulations intra saisons-pratiques, régulations inter saisons-pratiques, soudures).
6. Nous avons proposé une nouvelle typologie de végétations d'alpage qui s'appuie sur les fonctionnalités et la sensibilité des végétations aux aléas climatiques et aux pratiques
7. Nous avons testé et adapté une méthode d'analyse de la résilience socio-écologique. Cette méthode nous a permis notamment d'articuler les échelles de temps et de considérer le long-terme dans la gestion à l'échelle de la campagne annuelle. Nous contribuons ainsi à l'enjeu d'opérationnalisation de ce concept.

Compte tenu de ces différents résultats, nous discutons dans un premier temps des avancées scientifiques qu'ils apportent, des limites inhérentes à ces résultats, ainsi que des perspectives scientifiques qu'ils ouvrent (section 8.2).



Dans un second temps nous proposons des pistes pour des perspectives plus opérationnelles à ce travail, qui peuvent être mises en œuvre dans le cadre du programme Alpages Sentinelles (section 8.3).

## 8.2 Avancées scientifiques

### 8.2.1 Avancées dans le courant des *farming systems research*

La langue anglaise fait mieux ressortir que la langue française les spécificités des *farming systems*, systèmes au sein desquels sont intégrées les façons de faire (*farming*), les pratiques et les raisons des pratiques (Dent et McGregor 1994), à la différence des *agricultural systems*, focalisés sur les dimensions biotechniques, les dimensions matérielles et techniques de l'activité agricole (Cochet 2012). Pour les systèmes d'élevage, on a la même différence entre les *livestock farming systems* (Gibon et al. 1999, Dedieu et al. 2008b) et les *livestock systems, ou livestock husbandry systems* (De Bonneval 1993).

Tant dans la démarche adoptée que dans l'objet étudié, notre travail se positionne bien dans le courant des *farming systems research* (Darnhofer et al. 2012). Ce courant de recherche, qui trouve son origine dans les travaux sur l'approche globale de l'exploitation agricole et l'étude du système famille-exploitation (Osty 1978, Bonneville et al. 1989), a connu un nouvel essor avec l'émergence de problématiques comme la prise en compte des enjeux environnementaux ou l'adaptation au changement climatique ou global, qui ont conduit à davantage considérer l'exploitation agricole comme un système ouvert, pour s'intéresser notamment aux relations entre l'exploitation agricole et son territoire (Lamine et al. 2012, Lardon et al. 2012, Dedieu et al. 2015). Le système est considéré comme un construit de l'activité de recherche, et cette construction vise à intégrer les dimensions biophysiques et humaines des activités agricoles (Darnhofer et al. 2012). Dans ce courant de recherche, les approches participatives sont privilégiées. Elles permettent de comprendre les raisons des pratiques des acteurs, et également d'éviter les approches classiques « top down » de transfert des recherches académiques vers le terrain, qui montrent souvent leurs limites (Gibbon 2012).

#### 8.2.1.1 Réflexion sur le pilotage des *farming systems*, à partir du concept de système alpage-exploitations

Au sein des *farming systems*, le système alpage-exploitations apparaît cependant assez original. Même si les contours précis des systèmes varient d'une recherche à l'autre, dans l'immense majorité des cas, les systèmes correspondent à l'exploitation agricole ou au système famille-exploitation, qui sont les entités de gestion où se définissent les objectifs, où se construisent les projets des agriculteurs et de leurs familles et où se mettent en œuvre les pratiques en cohérence avec ces objectifs. Dans le système alpage-exploitations, l'exploitation agricole se retrouve dans le système mais plutôt en périphérie. Parfois plusieurs exploitations et donc plusieurs projets coexistent dans le système alpage-exploitations. Sur l'alpage, on peut de la même manière considérer qu'il y a un projet propre et des pratiques mises en œuvre en cohérence avec ce projet. On peut y distinguer deux catégories de « pilotes » : le collectif d'agriculteurs (ou du moins les leaders impliqués dans la gestion de l'alpage), qui fixe des objectifs de manière explicite et implicite, mais qui ne les met que très partiellement en œuvre, et les bergers (quand le travail de gestion de l'alpage est délégué) qui ne peuvent être considérés comme de simples exécutants mais disposent d'une grande autonomie et mettent en œuvre des pratiques en cohérence avec différents objectifs : les objectifs que les éleveurs leur ont assignés (ou ce qu'ils en ont compris) et leurs propres objectifs. Contrairement aux

agriculteurs sur une exploitation agricole, souvent les bergers ne sont présents que durant quelques années sur un même alpage ; dans les faits on peut constater que cela ne les empêche nullement de fixer des objectifs de long-terme et de mettre en œuvre des pratiques qui visent le long-terme, comme l'amélioration progressive des ressources, ou le souci de tenir des cahiers de pâturage très précis qui pourront aider les prochains bergers.

On peut alors s'interroger sur l'existence, implicite ou explicite, d'objectifs et d'un projet à l'échelle du système alpage-exploitations et sur la mise en œuvre de pratiques cohérentes avec ce projet à l'échelle de l'ensemble du système alpage-exploitations. Cette interrogation portée sur le système alpage-exploitations peut apporter des éléments de réflexion intéressants pour l'analyse à l'échelle d'une exploitation agricole.

Si nous avons adopté une approche participative dans le travail de modélisation, la définition des contours du système n'a pas fait l'objet d'un tel processus. Le système alpage-exploitations, entendu comme un système où l'alpage occupe une position centrale et qui inclut l'ensemble des exploitations utilisatrices, n'est vraisemblablement pas un objet pensé par les éleveurs et les bergers, ou rarement, y compris dans le cas des alpages individuels (surtout dans ce cas ?). Les objectifs globaux sont d'abord définis pour l'exploitation (revenu, travail...) et l'alpage est au service de ces objectifs. Au minimum, les différents projets et les pratiques sur les différentes exploitations et sur l'alpage devraient tenir compte les uns des autres. Sur les cas que nous avons étudiés, les différences que nous avons constatées dans le niveau de prise en compte des différents sous-systèmes lorsque des ajustements de pratiques sont réalisés face aux aléas nous conduisent à conclure à une grande variabilité dans le niveau de mise en cohérence entre les différents projets et entre les pratiques.

On peut toutefois nuancer ce propos pour deux types de situations où on pourrait considérer que le système alpage-exploitations est le système pensé par les exploitants : des cas comme le système alpage-exploitation individuel ROS (section 6.2.5), qui a certes des objectifs de revenu pour l'exploitation (dont l'alpage est considéré comme une partie intégrante), mais qui est construit et qui fonctionne avec l'alpage au centre du système : système organisé pour maximiser le revenu sur l'alpage, effectifs fonction des potentialités de l'alpage, ajustements sur l'exploitation pour préserver l'alpage. L'exploitation (ou le reste de l'exploitation) dans le système alpage-exploitation ROS est au service d'un bon fonctionnement de l'alpage. Dans une configuration différente, on peut aussi considérer qu'on a une vision « système alpage-exploitation » avec le cas PLA : les alpagistes prennent en pension des bovins sur l'alpage. Eux-mêmes ont un petit atelier ovin. L'essentiel des revenus de l'activité agricole provient de la prise en pension des animaux et des subventions sur l'alpage. La conduite de l'atelier ovin doit s'adapter à celle de l'atelier « alpage bovin » (calendrier de pâturage sur l'alpage calé sur celui des bovins ; pâturage par les ovins uniquement des espaces inaccessibles aux bovins) et au travail hivernal en station de ski (mise à l'herbe tardive, à la fermeture de la station). Cet atelier ovin est permis parce que l'atelier bovin laisse de la « place » à l'atelier ovin (ressources sur l'alpage et dans la vallée, temps de travail aux intersaisons).

De manière plus générale, la cas du système alpage-exploitations, avec ses différents pilotes aux objectifs plus ou moins cohérents entre eux, interroge le modèle idéal de l'exploitation agricole complètement cohérente où les pilotes partagent complètement les objectifs. Ce modèle, qui est une réminiscence du modèle de l'exploitation familiale à deux UTH (mais où le pilote est surtout Monsieur), apparaît aujourd'hui assez théorique face, entre autres, aux développements des

différentes formes sociétaires d'exploitation De nombreux exemples montrent que sur une même exploitation plusieurs pilotes (exploitants associés, salariés et bénévoles, familiaux ou non familiaux) ne partagent pas complètement les objectifs (et en ont plus ou moins conscience) ; les pratiques mises en œuvre résultent de cette combinaison d'objectifs (Terrier et al. 2012). On peut ainsi trouver des situations où les différents ateliers en interaction sur une même exploitation sont gérés sans grande cohérence les uns vis-à-vis des autres (exemple de l'exploitation PON-LM, section 6.2.4).

Une autre différence entre le système alpage-exploitations et le système « exploitation agricole » est liée à l'évolution potentiellement fréquente des exploitations utilisatrices et donc des pilotes. En nous restreignant aux exploitations suivies (donc pas toutes les exploitations des groupements pastoraux), nous avons deux situations où les exploitations ont changé au cours des années de suivi. Cela entraîne donc des changements de pilotes et des changements de configuration du système alpage-exploitations, et potentiellement des évolutions fortes des objectifs et des pratiques. Néanmoins, là encore le modèle classique de l'exploitation agricole où les agriculteurs ont des objectifs précis, stables dans le temps, et mettent en œuvre des pratiques en conséquence est aujourd'hui remis en cause : les analyses des trajectoires des systèmes famille-exploitations montrent que ces objectifs peuvent régulièrement changer, au gré d'évolutions du contexte ou de ruptures imprévues dans les trajectoires (Madelrieux et al. 2010). Au cours des années de suivi, nous avons eu par exemple parmi les 34 exploitations suivies, entre autres ruptures imprévues, cinq cas de séparations familiales ; nous avons eu aussi six projets d'association, dont un qui n'a pas abouti.

Ainsi, malgré la spécificité des systèmes alpage-exploitations (plusieurs sous-systèmes correspondant à plusieurs pilotes plus ou moins autonomes), il est possible d'établir une analogie entre leur pilotage et celui des exploitations agricoles, qui sont dans les faits aussi des systèmes avec plusieurs pilotes dont les objectifs peuvent au moins partiellement diverger, et qui peuvent subir fréquemment des évolutions.

Dans les suivis que nous avons réalisés, il manque certainement pour les alpages collectifs un suivi du groupement pastoral (GP). Cette instance, dont les membres évoluent mais qui porte des projets qui peuvent transcender les projets individuels des éleveurs et qui peuvent survivre aux évolutions de la composition du GP, a pour objet la gestion de l'alpage mais n'est pas focalisée exclusivement sur l'alpage et intègre les objectifs des éleveurs membres du GP. Elle pourrait être l'entité qui pense et pilote le système alpage-exploitations, et qui définit des objectifs à ce niveau. Des approfondissements pourraient être faits sur le fonctionnement de ces collectifs, qui reste méconnu, y compris sur la façon dont est organisé le travail (Madelrieux et Dedieu 2008). Une approche pluridisciplinaire serait nécessaire, afin d'analyser à la fois les pratiques et les relations entre les éleveurs et avec les bergers. Les enseignements d'une telle approche pourraient être utiles pour l'analyse du fonctionnement des collectifs sur les exploitations agricoles sociétaires.

### *8.2.1.2 D'une identification des logiques d'ajustement vers la description de stratégies d'adaptation*

Nous avons vu que la lecture du fonctionnement des systèmes fourragers en termes de saisons-pratiques permettait de bien comprendre la logique d'ensemble de la gestion à l'échelle d'une campagne annuelle, et d'identifier et décrire les ajustements mis en œuvre ou mobilisables potentiellement face aux aléas. Dans cette lecture les ajustements structurels correspondent souvent

à des modifications du déroulement des saisons-pratiques, et les ajustements conjoncturels à l'activation de régulations intra ou inter saisons-pratiques et de soudures.

A partir de cette lecture, nous avons identifié trois grandes logiques d'ajustements conjoncturels à l'interaction entre alpage et exploitations face aux aléas (section 6.3) : ajustements principalement par des régulations intra saisons-pratiques, par des régulations inter saisons-pratiques, ou par des soudures en complément des régulations. Ces logiques décrivent des mécanismes d'ajustements dans le système fourrager. Elles n'ont pas été décrites pour présager a priori de stratégies de la part des éleveurs et des bergers : elles ne renseignent pas en soi sur le caractère planifié ou non de l'adaptation aux aléas, ni sur la maîtrise du système. Néanmoins on peut se demander si ces trois types d'ajustements renvoient à des différences stratégiques dans la façon de s'adapter aux aléas climatiques.

Par analogie, les « attitudes » décrites par Girard (1995), inspirées des travaux de Bouquin (1986), sont une typologie des pratiques correspondant à différents mécanismes face aux aléas ; nous les avons d'ailleurs mobilisés en ce sens dans un travail antérieur (Nettier et al. 2010). Ces attitudes consistent soit à « éviter » l'aléa (agir sur les causes de l'aléa, par exemple irriguer), à en « atténuer » les effets (par exemple jouer sur la diversité des ressources végétales pour atténuer les effets de l'aléa en les étalant), à le « contourner » (par exemple prévoir une mise à l'herbe tardive pour contourner le risque de printemps tardif), ou à y « réagir » (par exemple mettre en place des soudures lorsque c'est nécessaire). Chez Girard (1995), la combinaison des attitudes mobilisées par les éleveurs reflète aussi des types de stratégies d'adaptation aux aléas.

Hubert et al. (1995) décrivent des stratégies-types de gestion des aléas par les éleveurs pastoraux des Alpes du Sud, et l'on peut se demander si des correspondances peuvent être établies entre ces stratégies-types et nos trois logiques d'ajustements. Ces auteurs décrivent des éleveurs qu'ils qualifient de « *concepteurs de voiliers* », c'est-à-dire des éleveurs dont le système est robuste, très planifié, capable de résister aux aléas sans qu'il y ait besoin d'ajuster les pratiques. Ils les opposent aux éleveurs « *barreurs* », des éleveurs qui n'ont pas forcément un pilotage très planifié et qui réagissent en ajustant leurs pratiques au fur et à mesure des perturbations, qui s'adaptent « chemin faisant ». Les *concepteurs de voiliers* vont privilégier un surdimensionnement généralisé des surfaces pâturées comme des surfaces de fauche, ce qui va permettre de « passer » dans toutes les situations ; ils pourront aussi avoir des objectifs zootechniques en deçà du potentiel de leurs animaux. Ce sont des éleveurs qui ne cherchent pas à optimiser l'utilisation des différents moyens de production, mais qui « gardent du mou » (Landais et Balent 1995). Les *barreurs* ajusteront sans cesse le calendrier de pâturage et le type de ressource mobilisée en cours de saison (adaptations tactiques) ; ils mobiliseront par exemple des surfaces pastorales tampons au coup par coup, ou pâtureront des prés normalement prévus pour la fauche. Ils ajusteront éventuellement la conduite zootechnique ou les effectifs. Sur un pas de temps pluriannuel, on pourra observer chez les *barreurs* des modifications du système (adaptations stratégiques) (implantation de nouvelles espèces ou variétés, agrandissement, évolution de la conduite zootechnique, baisse des effectifs et recherche de valeur ajoutée...), mais aussi une évolution des finalités (Sauvant et Martin 2010). A l'opposé on observera peu de modifications structurelles dans la logique des *concepteurs de voiliers*. Les figures du *concepteur de voiliers* et du *barreur* restent des cas extrêmes un peu théoriques ; dans les faits les systèmes d'élevage seront toujours positionnés entre ces deux cas. On trouvera en effet toujours un minimum de planification, de régularité, ne serait-ce qu'imposée par le rythme des saisons. A

l'inverse dans un contexte caractérisé par un fort degré d'incertitude, aucun système ne pourra être complètement planifié sans qu'il n'y ait jamais aucun ajustement à faire. Entre ces deux figures « extrêmes », Hubert et al. (1995) décrivent d'ailleurs une troisième figure, les « *navigateurs* », qui vont essayer de planifier la meilleure route à suivre, mais bifurquer si nécessaire.

Parmi les systèmes alpage-exploitations que nous avons suivis, il ne nous semble pas qu'il y ait de cas que l'on puisse qualifier de réels *barreurs*, avec un pilotage à vue sans aucune planification. Les systèmes appartenant à la troisième logique, qui activent des soudures en complément des régulations sont sans doute ceux qui seraient le plus proches des *barreurs*, avec de nombreux ajustements en cours de campagne. Mais à la différence des *barreurs*, globalement la campagne est planifiée, y compris la plupart des ajustements. Ils correspondent donc plutôt à des *navigateurs* qui auraient prévu des détours possibles. Les systèmes que l'on trouve dans le premier type, qui gèrent chaque saison-pratique de manière autonome, correspondent pour une partie d'entre eux, comme par exemple le cas LAN décrit en Figure 96 (page 253), à des éleveurs *concepteurs de voiliers* : ne pouvant réaliser des ajustements entre les séquences, ils ont essayé de construire des séquences sécurisées où les régulations se font par le surdimensionnement des ressources, sans qu'il y ait à modifier les pratiques. Mais d'autres cas du type 1 connaissent des situations moins confortables, au moins à certaines périodes, et doivent en quelque sorte adopter une stratégie de *barreurs* sur ces périodes. C'est notamment le cas pour le système CRO au printemps (cf. section 6.2.2), où l'éleveur doit chaque année adapter le calendrier de pâturage aux ressources disponibles sans possibilité de beaucoup anticiper ; l'éleveur essaie néanmoins progressivement de sécuriser le pâturage pour se rapprocher d'une logique de *concepteur de voiliers*. A deux exceptions près (ALP et MOL) les systèmes appartenant à la troisième catégorie correspondent à des systèmes très planifiés dans l'ensemble, avec un nombre limités d'ajustements (régulations inter-saisons-pratiques) ; ils sont donc plutôt proches d'une logique de *concepteurs de voiliers*, ce sont eux qui ont les calendriers de pâturage les plus fixes (voir Camacho 2004 pour les systèmes laitiers des Alpes du Nord). Mais ce n'est pas le classement dans la typologie qui le fait apparaître, cela tient sans doute plus à leur exposition faible aux aléas de toute nature qu'à la logique d'ajustements en tant que telle. Au final, même si des similitudes apparaissent au sein de chaque type, il n'est donc pas possible de faire un parallèle systématique entre les types de logiques d'ajustements que nous avons décrits et des stratégies d'adaptation telles que celles décrites par Hubert et al. (1995). Par contre, analyser les pratiques et identifier les logiques d'ajustement permet d'aider à comprendre les stratégies adoptées.

Au sein d'un même système alpage-exploitations, différentes stratégies semblent co-exister dans certains cas. Par exemple dans le système alpage-exploitations CHP, LA est plutôt un *navigateur* ou un *barreur* (nombreux ajustements réalisés selon les opportunités qui se présentent, certains anticipés, mais d'autres non), quand MF est plutôt *concepteur de voiliers* (calendriers de pâturage très rigides d'une année sur l'autre). Dans le système alpage-exploitations PON, si tous les élevages réalisent des soudures, la planification est plus importante chez LM que chez HP (qui serait peut-être le plus proche de la figure du *barreur* parmi toutes les exploitations suivies). Il serait intéressant d'analyser de manière approfondie comment se passe la coexistence, parmi les pilotes du système alpage-exploitations, entre éleveurs adoptant des stratégies différentes face aux aléas (et parmi les exploitations du système, entre exploitations conduites différemment face aux aléas). Cela peut-il être un atout ou une contrainte pour l'adaptation au changement climatique ? Là encore, c'est par une analyse du fonctionnement du GP que des éléments de réponse pourraient être apportés.

### ***8.2.1.3 Compléter l'analyse par une approche sociologique***

Il aurait également été intéressant d'adopter en complément de notre approche agronomique une approche sociologique afin d'analyser si, au-delà des caractéristiques techniques des systèmes alpage-exploitations, des considérations sociologiques pouvaient expliquer des logiques d'ajustements différentes, en particulier des différences dans la conception du métier (Thévenet et al. 2006) ou dans le rapport au risque et à l'incertitude (Lémercy et al. 2005).

Si nous n'avons pas suffisamment d'éléments pour mener une telle analyse, l'effort mis dans la compréhension des raisons des pratiques nous a permis de décrire la place des alpages dans les systèmes alpage-exploitations en fonction notamment des logiques d'ajustement. Ainsi par exemple nous avons vu que pour les éleveurs du type 1 alpage et exploitations sont des sous-systèmes autonomes, quand la plupart des éleveurs du type 2 considèrent plutôt que l'alpage est au centre du système, et quand les éleveurs dans le type 3, qui prennent en compte les interactions entre alpage et exploitations, estiment que sa préservation doit être prioritaire. Cette place des alpages révèle certainement des différences dans le rapport à l'alpage chez les éleveurs, que nous n'avons qu'à peine évoqué, au travers par exemple de la dimension symbolique qu'il représente chez les producteurs laitiers en zone Beaufort. Il pourrait être intéressant d'approfondir cette analyse du rapport à l'alpage des éleveurs, voire aussi des bergers, en s'inspirant des travaux sur l'analyse du rapport subjectif au travail des éleveurs (Dufour et Dedieu 2010, Fiorelli et al. 2010), qui articulent une approche technique et une approche qu'ils qualifient de « subjective ». L'analyse de ce rapport à l'alpage apporterait sans doute des éléments supplémentaires pour analyser le sens des pratiques (Darré et al. 2006) et mieux comprendre les capacités d'adaptation à l'échelle du système alpage-exploitations ; elle aiderait aussi à mieux déterminer si le système alpage-exploitations est un système « pensé » par les éleveurs. Enfin, là aussi on pourrait, au travers de l'analyse du fonctionnement des groupements pastoraux, s'interroger sur la façon dont peuvent coexister différentes visions de l'alpage au sein d'un même système alpage-exploitations. On peut à nouveau faire l'analogie avec les travaux d'Eychenne (2008a, 2008b) dans les Pyrénées ariégeoises, qui a montré que pouvaient coexister dans un même groupement des éleveurs pour lesquels l'estive occupe une place centrale et détermine toute la conduite de l'exploitation et d'autres pour lesquels l'alpage occupait une position périphérique, et que la vision des premiers l'emportait pour décider des pratiques sur l'alpage.

### ***8.2.1.4 Un modèle qui permet de penser l'articulation entre court-terme et long-terme dans la gestion***

Les travaux en agronomie portent souvent sur le pas de temps de la campagne annuelle, qui correspond à la réalisation d'un cycle de production, que ce soit à l'échelle de la parcelle et de l'étude de l'itinéraire technique, ou à l'échelle de l'exploitation et la compréhension de son fonctionnement. D'autres travaux adoptent plutôt une vision sur le temps long et s'intéressent aux trajectoires des systèmes familles-exploitations. Rares sont les travaux qui articulent différentes échelles temporelles (on pourrait citer l'étude des systèmes de culture, mais qui considère plus le pas de temps de la rotation comme l'échelle du cycle de production qu'elle n'articule réellement des échelles différentes (voir par exemple Deytieux et al. 2016)).

Il y a pourtant un enjeu à parvenir à articuler dans la gestion la double nécessité d'assurer une efficacité à court-terme et de réaliser des transformations sur le long-terme (Darnhofer 2014). C'est ce que nous avons pu faire en articulant un modèle de gestion et un modèle biophysique décrivant

les dynamiques des végétations sur les deux pas de temps, et en mobilisant les travaux sur la résilience socio-écologique. Le cadre d'analyse que nous avons construit nous a ainsi permis d'analyser comment, sur les alpages en particulier, certains éleveurs et certains bergers réalisaient des ajustements face aux aléas, de manière plus ou moins anticipée, et dans le même temps, essayaient d'améliorer leur système sur le long-terme à la fois (1) par des actions ponctuelles d'amélioration (par exemple par la construction d'un impluvium), et (2) progressivement par un lent travail de façonnage des végétations par l'intermédiaire du troupeau.

Le premier type d'actions (actions ponctuelles) peut aussi concerner des pratiques sur les végétations ; on peut par exemple faire le lien avec les « pratiques de rattrapage » décrites par (Camacho et al. 2008), qui visent à éviter la fermeture des milieux par des actions ponctuelles de temps en temps, ou avec les travaux sur le sylvopastoralisme (Tchakérian et al. 2005). Le second type d'action, le travail lent et progressif de façonnage des végétations par la dent du troupeau, reste peu abordé dans les sciences agronomiques. De telles approches restent principalement développées au sujet de la gestion des prairies permanentes et de la question de l'effet des pratiques (fauche, pâturage, fertilisation) sur la préservation ou l'amélioration de la valeur fourragère et de la biodiversité (voir par exemple Gaujour et al. 2011). La question de la façon dont les agriculteurs gèrent l'articulation entre la campagne et le long-terme reste peu abordée à notre connaissance dans les sciences agronomiques ; pourtant il nous semble que cela se pose pour d'autres problématiques agronomiques. La gestion de la fertilité du sol notamment renvoie à de nombreux égards à une question d'articulation entre des objectifs à l'échelle de la campagne ou de la rotation et des objectifs de beaucoup plus long terme : le taux de matière organique dans le sol (Carlisle 2014) ou le stock semencier d'adventices (Macé et al. 2007) se gèrent sur des pas de temps de plusieurs décennies, mais bien au travers des pratiques mises en œuvre au cours de la campagne, en veillant à assurer une certaine efficacité à court-terme.

Concernant les dynamiques de long-terme, les experts ont décrit des dynamiques très lentes et très limitées pour le passage d'un type de végétation à un autre. Pourtant des travaux menés dans les Alpes du Nord que nous avons déjà évoqués dans le chapitre 5 (Brau-Nogué 1996) décrivent des évolutions « relativement » rapides des végétations. Cela s'explique par le fait que sur les alpages laitiers les pratiques peuvent être qualifiées de plus « intensives » (chargements plus élevés, parfois fertilisation organique), mais cela interroge sur le niveau de généralité de notre modèle d'état et de transition, qui n'a été construit qu'avec des acteurs des Alpes du Sud. Même en mettant à part le cas des alpages laitiers, l'analyse que nous avons effectuée sur plusieurs cas des dynamiques de long-terme au travers du prisme de la résilience (notamment le cas DAR, Tableau 18 page 273 et section 6.2.3) nous conduit à penser que les experts ont pu sous-estimer les dynamiques possibles des végétations.

Par ailleurs, une des limites du modèle tient à une description limitée des effets à long-terme du climat sur l'évolution des végétations. Si les experts sollicités ont pu être très précis quant aux effets des pratiques pastorales sur l'évolution des végétations, allant jusqu'à décrire des gradients qualitatifs pour chaque type de végétation, seules quelques hypothèses ont pu être avancées sur l'effet du climat, par manque d'observations empiriques et par manque de connaissances scientifiques établies. Le modèle pourra certainement être complété sur cet aspect lorsque plus de recherches auront été conduites et que les acteurs commenceront à observer massivement des dynamiques de végétations.

## 8.2.2 Apports de la dimension biophysique du modèle

### 8.2.2.1 Une modélisation originale de la dynamique des ressources en alpage

Notre travail de construction d'un modèle conceptuel décrivant les dynamiques des ressources pastorales au cours d'une campagne, de construction d'indicateurs agrométéorologiques ad hoc, et de confrontation du modèle à des données climatiques, peut être rapproché de différents travaux récents et plus anciens de modélisation en agronomie, mais qui avaient adopté une démarche de modélisation très différente, s'appuyant principalement sur des mesures physiques et non sur des dires d'expert. Ces travaux relèvent de deux types :

- (1) Des travaux de modélisation des dynamiques des végétations prairiales au cours de l'année, au travers de modèles de simulation plus ou moins complexes : STICS (Ruget et al. 1999), PASIM (Graux 2011), Herb'sim (Duru et al. 2010a)...
- (2) Des travaux de construction de systèmes fourragers et de calendriers d'alimentation du troupeau en fonction des dynamiques climatiques (Martin et al. 2011, Jacquot et al. 2012, Sautier 2013, Farrié et al. 2015)

Mais un tel travail de modélisation n'avait jamais été effectué en haute montagne, où les végétations herbacées sont principalement restées sous le regard des écologues. Les modèles de plaine ne peuvent s'appliquer en haute montagne, où les effets de l'enneigement et du gel, en particulier, conduisent à des dynamiques de végétation spécifiques. Ils posent également question en moyenne montagne où certaines hypothèses seraient à vérifier. Par exemple, l'hypothèse du lien direct entre somme de degrés-jour et stades de développement, que nous avons retenue dans notre modèle, est parfois discutée pour la haute et la moyenne montagne : en situation de stress hydrique (printemps 2011 notamment) certains techniciens ont observé en moyenne montagne une avance dans les stades par rapport aux sommes de températures (Pauthenet Y., comm. pers.). Au-delà des particularités climatiques de la montagne, les règles établies dans les modèles de simulation pour des mélanges simples de graminées s'appliquent-elles quand, dans le couvert, il y a autant de dicotylédones que de graminées ? Quand il y a une diversité très importante de graminées, de légumineuses et d'autres dicotylédones ?

Le modèle conceptuel demeure fortement qualitatif. Des relations de cause à effet sont établies entre le climat et le pâturage des animaux d'une part, et les végétations d'autre part, sans que ces interactions soient quantifiées ; les végétations sont seulement caractérisées les unes par rapport aux autres (et pas dans l'absolu) vis-à-vis de leurs sensibilités aux différents paramètres météorologiques et aux pratiques ; et dans le modèle d'état et de transition (long-terme) les experts ont uniquement pu distinguer des pas de temps de l'ordre de la décennie de pas de temps de plus long terme. Ce caractère qualitatif est inhérent à la modélisation à dire d'expert, et peut être une limite, par exemple pour la mise en place d'une simulation numérique telle que celles citées ci-dessus. Dans une optique d'aide à la gestion et non d'évaluation quantitative, cela n'empêche pas de comprendre les mécanismes et de raisonner des pistes d'adaptation.

Nous pourrions toutefois envisager de poursuivre les travaux vers la mise en place d'une simulation numérique. La première étape serait de continuer à vérifier les relations de cause à effet que nous avons décrites, en confrontant les données climatiques à des suivis de végétation. Un tel modèle de simulation serait intéressant pour expliquer de manière précise les dynamiques de pousse de l'herbe. Il pourrait aussi conduire à la construction d'outils d'évaluation à des échelles régionales, un peu sur



le modèle du système ISOP (Information et Suivi Objectif des Prairies) qui effectue des bilans fourragers par régions fourragères en fonction des aléas climatiques (Ruget et al. 2006), mais qui est valide uniquement en plaine et ne fournit que des sorties quantitatives (% de tonnes de matière sèche produite à une date donnée par rapport à une moyenne sur une période de plusieurs années).

### ***8.2.2.2 Un modèle biophysique articulant agronomie et écologie***

Coupler agronomie et écologie, comme nous l'avons fait dans notre modèle conceptuel, apparaît comme une nécessité lorsque l'on s'intéresse aux ressources pastorales et à la gestion des espaces pastoraux : dès lors que les possibilités d'intensification par le recours à des intrants sont limitées, c'est en s'appuyant sur les fonctionnalités des écosystèmes que l'on peut jouer sur la production agricole. Avec le changement climatique, coupler agronomie et écologie apparaît encore plus nécessaire, parce qu'il existe le besoin de trouver des marges de manœuvre supplémentaires face aux aléas, parce qu'il faut connaître les dynamiques des milieux face au climat et aux pratiques tout en les « lisant » en termes agronomiques, et enfin parce qu'il est nécessaire d'articuler le temps agronomique de la campagne et le temps écologique des dynamiques des écosystèmes (cf. section précédente 8.2.1.4).

Les travaux sur les ressources pastorales et sur les systèmes pastoraux ont depuis longtemps été développés par des écologues qui ont adopté un regard agronomique à l'échelle de la parcelle ou du système (voir en particulier Garde 1990, Guérin et Bellon 1990, Bornard et Cozic 1998, Cozic et Bornard 1998). Les approches plus récentes en écologie fonctionnelle (Lavorel et Garnier 2002) ou en ingénierie écologique (Rey et al. 2015) témoignent du même rapprochement de l'écologie vers l'agronomie, sans toutefois franchir la frontière disciplinaire nous semble-t-il. Dans cette thèse c'est plutôt la démarche inverse à ces différents travaux qui a été adoptée, avec un ancrage disciplinaire dans les sciences agronomiques et des emprunts à l'écologie, ce qui est relativement nouveau sur les alpages et qui permet des avancées en termes d'approche systémique. Sur les alpages, les travaux précédents articulant écologie et agronomie ont plutôt adopté une approche de la gestion à l'échelle du faciès de végétation (Cozic et Bornard 1998), tandis que les travaux à l'échelle du système « alpage » (Landais et Deffontaines 1988, Savini et al. 1995) n'avaient pas réellement approfondi l'analyse du fonctionnement écologique des milieux.

Sur les systèmes basés sur la prairie permanente, on trouve des approches similaires à l'interface entre agronomie et écologie, reliant dynamique des milieux et gestion tout en se plaçant à l'échelle du système fourrager (Dubeuf et al. 1995, Fleury et al. 1995, 1996).

### ***8.2.2.3 Une contribution à l'agroécologie***

Par cette approche couplant agronomie et écologie, notre travail de thèse contribue à montrer, s'il en était besoin, que la diversité est un facteur clé pour l'adaptation au changement climatique, et précise quels éléments de diversité des végétations peuvent être mobilisés aux différentes échelles de gestion (cf. chapitre 7). En analysant la façon dont il est possible (1) de s'appuyer sur le fonctionnement des écosystèmes pour la production agricole et (2) de gérer sur le long-terme ces écosystèmes pour maintenir leurs fonctionnalités, cette thèse s'inscrit dans une certaine mesure dans le courant de l'agroécologie en tant que discipline scientifique telle que définie pour les systèmes d'élevage par Dumont et al. (2012) et Thomas et al. (2014), à savoir « une amplification des processus naturels pour promouvoir des systèmes productifs moins dépendants des intrants », qui s'inscrit dans la continuité de la définition initiale proposée par Bensin (1928), cité par Wezel et al.

(2009)<sup>28</sup>. Cette définition correspond toutefois à une acception restreinte de la notion d'agroécologie, et notre travail n'aborde pas la dimension de justice sociale et de viabilité économique parfois comprise dans la notion d'agroécologie (Altieri 1995, 2002)<sup>29</sup>. Nous restons par ailleurs focalisés sur le système de production agricole et n'abordons pas dans notre analyse l'ensemble du système alimentaire, qui est parfois le système considéré dans les travaux en agroécologie (Francis et al. 2003).

Si l'on considère à présent l'agroécologie en tant que pratique, les systèmes pastoraux, et notamment les alpages, ont a priori par essence une forte propension à être agroécologiques. Cela n'est toutefois pas automatique et l'on peut trouver des pratiques qui ne vont pas dans le sens de pratiques agroécologiques (Garde 2015) : parcs de nuit fixe, gestion parfois « minière » de la ressource pastorale... A l'échelle du système alpage-exploitations, si la séquence en alpage prise isolément peut dans la majorité des cas être qualifiée d'agroécologique, d'autres séquences ne le sont pas. Le système alpage-exploitations, en élargissant le champ de vision par rapport à l'alpage, réinterroge ainsi la durabilité des pratiques en alpage : par exemple, la conduite extensive d'un troupeau de brebis sur un alpage peut-elle être qualifiée d'agroécologique lorsque les agneaux ne profitent pas des ressources pastorales et sont à l'engraissement en bergerie durant l'été avec des concentrés du commerce ?

Enfin, selon Gliessman (2007), cité par Tichit et al. (2015), réfléchir en termes agroécologiques pour les activités d'élevage consiste à réfléchir à l'intégration de l'animal dans son agroécosystème. Notre modèle, qui est plus agronomique que zootechnique, reste très centré sur la végétation et mériterait certainement d'être enrichi par des considérations zootechniques pour intégrer cette dimension.

### 8.2.3 Vers une analyse de la gouvernance des biens communs

#### 8.2.3.1 Un concept pour analyser les interactions entre ressources communes et ressources individuelles

Les ressources communes sont « un système de ressources suffisamment important pour qu'il soit coûteux (mais pas impossible) d'exclure ses bénéficiaires potentiels de l'accès aux bénéfices liés à son utilisation » (Ostrom 2010 p. 44). Les travaux sur les biens communs s'intéressent principalement aux modes de gouvernance pour l'utilisation des ressources ; d'autres travaux s'intéressent aux pratiques mises en place sur ces communs (sans nécessairement faire référence à la notion de commun). Très peu de travaux s'intéressent à l'articulation entre les communs et les espaces ou ressources individuelles des exploitations. L'approche que nous avons adoptée au travers du système alpage-exploitations, en plaçant les communs au centre du système et en englobant dans le système les exploitations et leurs logiques propres, semble pouvoir être transposée à d'autres cas de systèmes combinant l'utilisation de ressources individuelles et de ressources communes (qu'elles soient utilisées de manière individuelle ou collective). Ce peut être bien sûr le cas d'autres ressources

---

<sup>28</sup> On notera à ce sujet que des travaux précédents sur les alpages conduits au Cemagref (Irstea) de Grenoble sur la gestion des végétations d'alpage se réclamaient déjà dès les années 90 d'être « agro-écologiques » (Bornard et Dubost 1992, Cozic et Bornard 1998).

<sup>29</sup> Wezel et al. (2009) notent que l'agroécologie en tant que science, telle qu'elle est définie notamment aux Etats-Unis (Altieri 1995), montre de nombreuses similitudes avec le développement de l'agronomie en France : « approche holistique, intégration des dimensions non-productives, incluant la dimension sociale, telle que l'analyse des attitudes et des pratiques des agriculteurs ».

pastorales, mais aussi des ressources non pastorales (eau, terres cultivables ...), dès lors que l'on veut mettre le focus sur cette ressource tout en conservant un point de vue sur la cohérence du fonctionnement des exploitations individuelles et leurs interactions avec la ressource commune et entre elles.

De nombreux systèmes pastoraux ou agropastoraux combinent en effet l'usage de terres communes et de terres individuelles. On assiste aujourd'hui dans différentes régions du monde à un phénomène important d'appropriation individuelle des biens communs, pouvant aller jusqu'à la privatisation. On peut prendre l'exemple du Maghreb décrit par (Bourbouze et al. 2009), où l'on observe une privatisation de fait de ces espaces par les éleveurs. Cette privatisation s'accompagne de changements d'usage des terres (mise en culture, hausse du chargement...) et de transformations des systèmes d'élevage, ainsi que, dans cet exemple, d'un creusement important des inégalités entre « gros » et « petits » éleveurs, qui n'ont pas la même capacité à s'approprier les terres. Dans ce cas précis, une approche par un « système communs-individuels » telle que celle que nous proposons permettrait dans le même temps (1) d'analyser les conséquences de ce phénomène sur les communs (évolutions des pratiques et des milieux notamment), (2) d'analyser les conséquences sur le fonctionnement des exploitations (celles qui s'approprient les espaces et les transforment, et celles qui en sont exclues), et (3) d'analyser la façon dont les différentes exploitations interagissent entre elles pour l'accès aux communs (les mode de gestions mis en place, mais aussi en l'occurrence les défaillances des systèmes de régulation collectifs).

L'articulation entre ressources communes et individuelles ne renvoie pas qu'à une question de propriété des terres ; elle a surtout trait à des règles collectives de gestion qu'il faut concilier avec les cohérences individuelles des exploitations. On peut l'illustrer en reprenant une étude de cas réalisée à la fin des années 80 à Laraos, dans les Andes centrales (Pérou), et assez représentative de nombreux systèmes d'élevage de la région à cette époque (Brunschwig 1988, 1992). Les terres de ce village sont réparties entre différents usages, conditionnés par l'altitude, la pente (présence ou non de terrasses) et l'accès à l'irrigation. Historiquement les terres étaient toutes communes. Dans les faits, les terres cultivées sont devenues des propriétés privées ; si les pâturages sont toujours propriétés communales et si les exploitants continuent de verser un loyer à la communauté, les redistributions annuelles des terres semblent avoir disparu. Néanmoins, dans les pratiques, une part de « gestion commune » demeure, même dans les terres cultivées privatisées, au travers de règles de gestion discutées collectivement et qui s'imposent à tous. Tous les exploitants disposent par exemple de terres dans le « Maizal », une zone délimitée dans l'espace, aménagée en terrasses irriguées et dévolue à la monoculture du maïs. Dans cette zone les dates de semis et de récolte sont décidées collectivement, ce qui permet d'ouvrir la zone au pâturage par les bovins de tous les éleveurs, à une date fixée par la communauté. Ainsi, si l'exploitation des terrains est très majoritairement individuelle et si une bonne partie des terres est de fait privatisée, la gestion demeure en grande partie basée sur des règles collectives qui interagissent fortement avec les fonctionnements individuels des exploitations. Ces règles d'usage imposent dates et assolements, et influencent aussi fortement les pratiques culturelles et la conduite du pâturage sur l'ensemble de l'année. Elles peuvent potentiellement aller à l'encontre des intérêts individuels : par exemple, les bovins pâturant le Maizal sont vraisemblablement sous alimentés sur la fin de la période, mais c'est un moyen pour assurer un pâturage (et surtout un désherbage, une destruction des résidus de

culture et une fumure qui vont avec) à peu près homogène sur l'ensemble des parcelles, donc une gestion durable et équitable des milieux<sup>30</sup>. Du point de vue de l'exploitation agricole individuelle, on pourrait conclure à une contrainte du commun ; du point de vue de la ressource commune et de l'ensemble de la communauté, on comprend l'intérêt d'une telle pratique pour assurer le renouvellement de la fertilité sur l'ensemble du Maizal, indépendamment de qui l'exploite. Il paraîtrait intéressant d'analyser le fonctionnement de ces systèmes agropastoraux de manière analogue à celle du système alpage-exploitations, avec une analyse fine de ce qui relève de la gestion commune et en cherchant aussi à comprendre les interactions avec les pratiques et stratégies individuelles. Il serait ainsi possible d'analyser en quoi les transformations importantes des exploitations agricoles andines qui ont cours actuellement (Brunschwig et al. 2009) remettent en cause les interactions entre ressources communes et individuelles : orientation laitière et intensification de la production animale, au détriment de la gestion durable des terres cultivées, mais aussi désenclavement, évolutions démographiques, dispersion des familles.

### *8.2.3.2 Des évolutions récentes dans la gouvernance des alpages qui interrogent les capacités d'adaptation au changement climatique*

Dans les Alpes françaises, les règles d'usage des alpages liées à leur statut de bien commun sont parfois citées par les éleveurs comme des contraintes qui limitent les capacités d'adaptation et seraient contreproductives pour une gestion durable des ressources. Les dates d'utilisation imposées et les plafonds de chargement, critères très rigides, limiteraient ainsi les marges de manœuvre face aux aléas, et ne seraient plus toujours pertinents. Par ailleurs, on peut noter plusieurs évolutions récentes dans la gouvernance des alpages, qui créent parfois un sentiment de malaise parmi les éleveurs (Fédération des Alpages de l'Isère 2016), qui peuvent avoir un effet sur la durabilité de la gestion des ressources et sur les capacités d'adaptation au changement climatique, et qu'il serait intéressant d'analyser au regard des travaux d'Ostrom (2010) sur la gouvernance des biens communs.

Afin de mieux comprendre quelles sont ces différentes évolutions en cours, en quoi elles interrogent la gestion en biens communs des alpages, et comment elles peuvent jouer sur les capacités d'adaptation, nous proposons d'aborder ces évolutions en nous appuyant sur une grille de lecture proposée par Lazaro (2015) pour décrire les modalités de gestion en biens communs des estives pyrénéennes. Nous nous interrogeons ensuite sur l'adéquation entre ces modalités de gestion et les préconisations d'Ostrom (2010) pour la gouvernance locale des biens communs. Enfin dans la section suivante (8.2.3.3), nous réfléchissons aux limites de notre modèle pour prendre en compte cette problématique de gouvernance, et à la façon dont nous pourrions adapter notre approche pour réfléchir à la gouvernance des alpages, pour in fine améliorer les capacités d'adaptation au changement climatique.

Pour décrire les modalités de gestion en biens communs des estives pyrénéennes, Lazaro (2015) distingue les règles d'accès à la ressource, les modalités de définition des règles, et les différents niveaux de gestion :

---

<sup>30</sup> Cette organisation permet aussi aux plus pauvres d'avoir accès à un mâle reproducteur pour saillir leurs femelles adultes, car tous les troupeaux sont mélangés.

- Règles d'accès à la ressource :

On observe depuis quelques années, en Isère notamment, quelques situations d'alpages utilisés par les éleveurs de la commune, et où les conventions de pâturage ne sont plus renouvelées automatiquement par les conseils municipaux, qui ne sont pas satisfaits des pratiques ou du comportement des éleveurs estivants. Certains propriétaires publics (communes, Conseil Départemental propriétaire d'alpages au travers de la politique des Espaces Naturels Sensibles) attribuent la gestion des alpages au travers de procédures d'appels d'offre. Même si ces situations demeurent rares, cela crée le sentiment d'une précarité dans l'accès aux alpages parmi les éleveurs, qui considèrent pour la plupart que l'accès aux alpages est un droit pour les éleveurs de la commune<sup>31</sup>. Il n'est pas sûr que cela mette en péril le renouvellement de la ressource, mais cela change certainement les objectifs à long-terme que les éleveurs vont se fixer sur l'alpage, en plus de précariser les éleveurs.

- Modalités de définition des règles :

Ce que nous venons de décrire témoigne du fait que les règles d'accès (et d'exclusion) sont bien définies d'abord par les propriétaires, notamment publics, des alpages et que ces propriétaires tendent aujourd'hui à se (ré)approprier ce pouvoir. Les propriétaires fixent généralement aussi des règles concernant les périodes d'accès et les effectifs autorisés, les tarifs... D'autres règles existent, au travers des mesures agri-environnementales, mais aussi dans le cadre des procédures d'appels d'offre évoquées ci-dessus, qui fixent des pratiques ou des objectifs d'état de la ressource beaucoup plus précis (Voir par exemple Figure 12, page 39). Il en résulte que de plus en plus les règles ne visent plus uniquement à préserver les alpages du point de vue de la ressource pastorale, mais aussi à préserver la biodiversité et à assurer la conciliation des activités pastorales avec les autres usages et les autres points de vue sur l'alpage. Ce phénomène accompagne la tendance décrite par Eychenne et Lazaro (2014) du glissement des alpages du statut de biens communs vers celui de biens collectifs : espaces « ouverts à tous », fournisseurs de biens collectifs matériels et immatériels.

- Niveaux de gestion :

Différents niveaux de gestion des alpages existent, qui correspondent à différentes institutions et niveaux de gouvernances (Schermer et al. 2016). Le premier est le niveau de l'alpage et du GP, puis on trouve celui de la commune et de l'éventuelle association foncière pastorale (AFP) (souvent il y a plusieurs alpages dans une même commune et dans une même AFP). On trouve ensuite différents échelons territoriaux intermédiaires plus ou moins imbriqués et apparus plus récemment, et qui

---

<sup>31</sup>Dans les faits, cela relève de droits d'usage plus ou moins anciens et pas toujours avérés. Aux dires de certains anciens, avant l'instauration de la Loi Pastorale de 1972, la précarité de l'accès au foncier en alpage était assez forte, et la situation était apparemment assez fréquente d'alpages offerts aux plus offrants. Dans ces conditions le souci de gérer durablement la montagne était assez limité (Plançon C., comm. pers.). Ce phénomène illustre le fait que le « coût d'exclusion » des bénéficiaires d'un bien commun est élevé, mais pas impossible. Ce coût est principalement un coût social et politique (Lazaro 2015).

La loi pastorale de 1972, dont la dernière modification date de 1992, stipule uniquement que « *lorsque les pâturages à exploiter inclus dans le périmètre d'une association foncière pastorale sont situés principalement en zone de montagne, une priorité d'utilisation est accordée, sous réserve des dispositions de l'article L. 411-15 du code rural, aux groupements pastoraux comptant le plus d'agriculteurs locaux ou, à défaut, comptant le plus d'agriculteurs installés dans les zones de montagne* ».

portent la mise en place des mesures agri-environnementales sur les alpages (Parcs, communautés de communes, autres territoires porteurs de Projets agri-environnementaux et climatiques (PAEC). En Rhône-Alpes, à un niveau d'organisation similaire, mais avec un découpage différent, on trouve les territoires porteurs de Plans Pastoraux Territoriaux (PPT), qui gèrent les crédits pastoraux d'investissements de l'Europe et de la Région (principalement des subventions aux équipements et aux aménagements pastoraux). A l'échelon supérieur (départemental en Rhône-Alpes et régional avec des antennes départementales en PACA) on trouve les services pastoraux, qui mettent en œuvre un accompagnement technique à la gestion des alpages et aux politiques pastorales ; une certaine coordination des services pastoraux se fait au niveau du massif Alpin. On trouve ensuite les échelons supérieurs (régionaux, nationaux et européens), qui agissent à différents niveaux dans la construction et la mise en œuvre des politiques publiques en faveur du pastoralisme, principalement au travers de la PAC<sup>32</sup>.

Hardin (1968) estimait que pour gérer durablement les ressources communes et éviter leur pillage, il n'y avait que deux alternatives : la privatisation, qui encourage la gestion durable par le profit escompté à long-terme, ou la gestion par l'Etat, institution publique détentrice du monopole de l'usage de la force et seule à même de contrôler les pratiques et d'exercer une pression sur les utilisateurs. Ostrom (1990, 2010) critique l'analyse de Hardin, qui repose sur une confusion entre biens communs et biens en libre accès. En s'appuyant sur de nombreux exemples de biens communs gérés localement par les communautés qui les utilisent (Ostrom parle « d'appropriation » des ressources), notamment des cas de gestion locale des ressources pastorales, elle montre qu'il existe une troisième voie, et met en lumière un certain nombre de limites aux préconisations de Hardin. A partir des nombreux cas qu'elle a pu analyser, Ostrom conclut que la mise en place d'une gouvernance locale durable des biens communs par les appropriateurs de ces biens est possible uniquement à trois conditions : parvenir à mettre en place (1) des institutions ad hoc, (2) des engagements crédibles, et (3) une surveillance mutuelle.

Or il nous semble que certaines des évolutions récentes que nous avons décrites témoignent d'une dissociation entre la communauté utilisatrice des alpages (éleveurs) et celle qui édicte les règles d'usage, du fait de quatre évolutions conjointes : (1) du fait de l'émergence des enjeux de multifonctionnalité et des politiques associées, (2) du fait de la multiplication des échelles de gouvernance, (3) du fait que les éleveurs se trouvent en minorité dans les conseils municipaux ainsi que dans les autres collectivités gestionnaires d'espaces et (4) du fait d'un regain d'intérêt pour les alpages de la part des populations et des élus. Ainsi, on ne se trouve plus dans les conditions décrites par Ostrom de gouvernance locale des biens communs avec des règles édictées par les appropriateurs des ressources et une surveillance effectuée par les pairs, mais plutôt dans une gouvernance pilotée principalement, si ce n'est par l'Etat, du moins par des institutions publiques à différents niveaux institutionnels, avec des règles d'accès dictées par les propriétaires (communes le

---

<sup>32</sup> Dans les Pyrénées centrales, on trouve une institution majeure qui n'a pas d'équivalent dans les Alpes : le syndicat valléen. Le syndicat valléen gère la répartition des troupeaux des différentes communes d'une vallée sur les différentes estives. C'est un niveau de gestion qui supprime le groupement pastoral et la commune pour de nombreuses décisions (Lazaro 2015). Dans les Pyrénées l'échelle du massif est plus fortement présente que dans les Alpes, à travers le plan de soutien à l'économie de montagne (PSEM), qui permet une articulation des différents niveaux de gouvernance (Eychenne 2012).

plus souvent), une surveillance effectuée parfois par les communes, et surtout par les opérateurs de la PAC à différents niveaux, (territoires porteurs de projets, région, Etat, Union Européenne), et des sanctions établies (1) via des contrôles PAC, et (2) par les communes lorsqu'elles ne renouvellent pas les conventions de pâturage. Par ailleurs on peut penser que les pratiques de mise en marché de la gestion des alpages pourraient évoluer vers des formes de gestion privée de concessions proches des formes de privatisation prônées par Hardin.

Cette situation aboutit dans un certain nombre de cas à une dissociation entre les objectifs d'état de l'alpage visés par les institutions publiques et celles visant à une utilisation pastorale stricto sensu. Elle conduit également à des sanctions qui restent rares, mais apparaissent disproportionnées aux yeux des éleveurs : remboursement de plusieurs années de subventions, exclusion des alpages sans préavis (Ostrom explique l'importance de sanctions graduelles, nécessaires pour permettre de courir le risque de prendre des engagements crédibles). Enfin la gouvernance par les communautés utilisatrices présente l'avantage de pouvoir être évolutive et de s'adapter aux évolutions des besoins des utilisateurs. Les exemples décrits par Ostrom de systèmes de gouvernance qui ont perduré durant plusieurs siècles ont connu différentes évolutions pour s'adapter à de nombreuses perturbations sans doute plus fortes que le changement climatique (guerres, changements de régimes...).

Mais cette situation doit aussi conduire à se demander si les conditions décrites par Ostrom seraient réunies pour une gestion des ressources pastorales par les communautés d'éleveurs qui les utilisent (Ostrom évoque aussi un certain nombre d'échecs dans la gouvernance locale des ressources pastorales). La présence d'autres acteurs dans la gouvernance peut être la garantie d'une vision à long-terme, alors que les éleveurs sont souvent contraints de gérer l'urgence (climatique ou autre). Par ailleurs, du fait de la dissociation entre le métier d'éleveur et celui de berger, les éleveurs n'ont pas tous une bonne vision du fonctionnement de l'alpage, comme nous avons pu le constater sur certains cas suivis ([Tableau 19](#), page 274) et comme Eychenne (2006) l'a également noté. L'enjeu serait plutôt de mieux parvenir à faire entendre les besoins des éleveurs aux différents niveaux institutionnels : à l'échelle communale principalement, mais aussi à d'autres niveaux. Les territoires des PPT ont été pensés comme de tels espaces de concertation. Les services pastoraux départementaux ou régionaux pourraient également servir de lieu de gouvernance partagée (les services pastoraux sont des associations aux statuts divers ; souvent ils associent des éleveurs et des représentants des territoires). Une utilisation du concept de système alpage-exploitations dans cette problématique qui dépasse la question de l'adaptation au changement climatique pourrait être intéressante. Elle offrirait un point de vue qui pourrait aider à mieux comprendre le rôle des ressources communes et mieux exprimer les besoins des éleveurs. Cela demanderait de redéfinir les contours du système à considérer, pour les adapter à cette problématique. C'est ce que nous allons aborder dans la section suivante.

### ***8.2.3.3 Un modèle aux contours très strictement « pastoraux », qui pourrait être adapté pour l'analyse de la gouvernance des alpages***

Dans notre problématique, nous avons évoqué le caractère multifonctionnel des alpages et les nombreux acteurs qui fréquentent ou sont concernés par les alpages, dont certains sont concernés par le changement climatique. Nous avons ainsi décrit un modèle général de système d'élevage où les végétations constituaient des ressources pastorales pour les troupeaux, mais aussi d'autres types de ressources pour d'autres acteurs (Figure 14, page 45), l'effet des pratiques pastorales sur ces

végétations pouvant avoir un impact pour les autres usages. Au final le modèle que nous avons construit reste très centré sur les végétations du point de vue de leur mobilisation pour constituer une ressource pastorale. Les critères qualitatifs des végétations et les types de végétations ne sont définis qu'en référence à leur fonctionnalité au cours d'une utilisation pastorale ; les dynamiques d'évolution des végétations ne sont décrites que vis-à-vis des fonctions pastorales. En outre, les seuls acteurs de notre modèle sont les éleveurs et les bergers, alors que d'autres acteurs sont bien présents sur les alpages ou dans les différents niveaux de gouvernance décrits précédemment, et ils vont avoir une influence sur la gestion pastorale.

Pourtant le changement climatique, et surtout les interactions entre climat et pratiques pastorales dans le contexte du changement climatique, interrogent sur l'évolution des végétations vis-à-vis d'autres enjeux que la seule constitution d'une ressource pastorale et concernent d'autres acteurs que les éleveurs et les bergers. En particulier, la biodiversité patrimoniale, qui a peu à voir avec la ressource pastorale en général, apparaît fortement menacée en montagne avec le changement climatique (Engler et al. 2011), et le pastoralisme est aujourd'hui fortement sollicité pour participer à la préservation de la biodiversité patrimoniale (au travers des mesures agri-environnementales principalement). On pourrait donc considérer que la biodiversité patrimoniale a sa place dans un modèle, même très pastoral, de fonctionnement des alpages. Par ailleurs on aurait pu penser que la présence d'agents de Parcs nationaux dans le travail de modélisation aurait pu permettre de prendre en compte la biodiversité patrimoniale ainsi que d'autres fonctionnalités des végétations d'alpages qui sont directement dépendantes des pratiques pastorales (intérêt paysager et attrait touristique, prévention des avalanches...) (Bornard et Cozic 1998).

Nous avançons ici plusieurs hypothèses, qui pourraient expliquer cette restriction du champ de la modélisation aux fonctions pastorales des végétations.

- Tout d'abord, et c'est vraisemblablement de loin la raison principale, la démarche de modélisation a été fortement guidée par le souci de s'appuyer sur le cadre d'analyse antérieur de la gestion de l'alpage (Savini et al. 1995) pour l'adapter. Ce cadre étant fortement centré sur une vision pastorale des végétations, nous avons (peut-être trop) guidé la modélisation vers ces fonctions pastorales.
- Par ailleurs, les agents des Parcs nationaux, en particulier les agents du Parc national des Ecrins, considèrent souvent que le patrimoine naturel et le patrimoine culturel sont liés (Siniscalchi 2008), et que la préservation des milieux d'alpage et de leur multifonctionnalité passe d'abord par un maintien des activités pastorales ; de ce fait on peut faire l'hypothèse qu'ils ont pu accorder plus d'importance à la préservation d'une diversité fonctionnelle des végétations (qui apparaît bien dans le modèle) qu'aux enjeux de préservation des espèces patrimoniales. En outre la préservation de certaines espèces patrimoniales qui sont déjà aujourd'hui en limite de leurs conditions écologiques, dans des écosystèmes qui correspondront de moins en moins à ces conditions, apparaît de plus en plus difficile avec le changement climatique. Devant l'absence de solutions pour assurer à long-terme le maintien de ces espèces, il est sans doute difficile de se projeter dans une démarche de modélisation.
- Enfin, chaque espèce qui fait l'objet de mesure de préservation répond à des mécanismes différents, réagit différemment aux pratiques et au climat, si bien qu'il paraît difficile d'intégrer l'enjeu de la préservation de la biodiversité patrimoniale dans un modèle qui se veut générique, sans faire du cas par cas. Une solution pragmatique pour intégrer les enjeux



patrimoniaux (biodiversité, mais aussi paysage...) serait sans doute de s'appuyer sur la typologie que nous avons construite, d'étudier dans quelle mesure les types de végétation que nous avons définis ont des enjeux spécifiques, et d'enrichir l'effet des pratiques et du climat décrits dans le modèle pour ces types de végétation au regard de ces enjeux.

Par rapport au multiusage, en lien avec les difficultés évoquées précédemment de gouvernance des alpages, il pourrait être intéressant de refaire un travail de modélisation participative s'efforçant davantage de considérer la multifonctionnalité des alpages et de prendre en compte les différents niveaux de gouvernance. En complément d'un modèle de système alpage-exploitations, qui permet de comprendre de manière précise les interactions entre alpage et exploitations et les fonctions de l'alpage pour les exploitations, il pourrait être intéressant de modéliser plus largement un système « alpage-utilisateurs », où les utilisateurs ne seraient plus uniquement les appropriateurs des ressources pastorales, mais l'ensemble des types d'acteurs concernés par la gestion des alpages. Les travaux du collectif ComMod (ComMod 2005), qui ont souvent traité à des conflits entre différents usages d'une même « ressource<sup>33</sup> », pourraient constituer une base intéressante pour réfléchir à la structuration d'un tel modèle et aux formalismes à adopter (voir par exemple Richard-Ferroudji 2008, Anselme et al. 2010).

### 8.3 Perspectives opérationnelles

L'objectif d'un transfert opérationnel facile de ce travail de thèse vers l'accompagnement technique (techniciens pastoraux et agricoles, gestionnaires d'espaces protégés en particulier) a guidé la démarche méthodologique suivie : adaptation des cadres d'analyse et des référentiels techniques actuellement utilisés, implication de techniciens experts dans la démarche de modélisation. L'insertion de ce travail de thèse dans le dispositif Alpages Sentinelles donne un cadre pour mettre en œuvre cette démarche de transformation d'un travail académique en outils opérationnels et des actions dans ce sens sont déjà en cours.

L'opérationnalisation de ce travail renvoie aux trois questions suivantes :

- Dans quelle mesure le concept et le modèle construit sont-ils en adéquation avec la problématique de l'adaptation au changement climatique telle qu'elle est perçue et vécue localement ?
- Est-il facile pour un technicien de s'approprier le concept de système alpage-exploitations et le modèle que nous avons construit ?
- Comment adapter le modèle conceptuel et l'analyse de la vulnérabilité et de la résilience que nous avons effectuée pour une utilisation opérationnelle ?

Dans cette section, nous apportons des premiers éléments de réflexion sur ces différents points.

#### 8.3.1 Adéquation du modèle avec les réalités locales : domaine de validité du modèle

##### 8.3.1.1 L'importance des aléas du quotidien pour les alpages laitiers

La principale limite du modèle que nous avons identifiée en termes de domaine de validité a trait à une prise en compte limitée des aléas du quotidien (journée de mauvais temps, coup de neige...).

---

<sup>33</sup> Entendue ici dans une acception large, différente de l'acception employée dans cette thèse où la ressource est une façon de mobiliser la végétation.

L'échelle de gestion du quotidien et les ajustements de pratiques à l'échelle de la journée et du circuit de pâturage ont bien été identifiés et décrits parmi les cinq échelles de gestion du système alpage-exploitations (Tableau 6, page 105), mais l'échelle du quotidien n'est pas prise en compte par la grille de lecture en termes de saisons-pratiques (Bellon et al. 1999) que nous avons adaptée. Les aléas du quotidien ne sont en effet pas les aléas qui posent le plus de difficultés pour les systèmes pastoraux allaitants des Alpes du Sud et méditerranéens, en comparaison des aléas de sécheresses, ou des variations phénologiques. En revanche sur les alpages laitiers, ce sont des aléas majeurs, voire les principaux (étant donné que l'exposition aux sécheresses et aux variations phénologiques est limitée en Vanoise). Les aléas du quotidien jouent directement sur la production laitière, qui chute les jours de mauvais temps (alimentation des vaches perturbée, perte d'énergie pour maintenir la température corporelle), et ils jouent sur les pratiques et les conditions de travail (déplacement du troupeau du troupeau, traite dans la boue...). Les animaux allaitants sont sans doute aussi impactés par ces aléas de mauvais temps, mais leur effet est lissé sur l'ensemble du cycle de production.

Ces aléas du quotidien ne jouent pas directement sur la dynamique des végétations, mais sur les conditions d'exploitation (accessibilité des végétations, comportement animal...), et n'ont pas été pris en compte dans les cartes causales du modèle biophysique (Figure 38, page 115) qui décrit principalement les effets du climat sur la dynamique des végétations (à l'exception de l'aléa de mauvais temps sur le quartier d'août en fin de saison, mais que nous n'avons pas retenu dans le travail de caractérisation de l'exposition des alpages aux aléas climatiques).

Cette limite du modèle tient au fait que malgré les précautions que nous avons prises pour construire un modèle générique, le modèle reste marqué par certaines spécificités des alpages des Ecrins. Déjà le modèle décrit par Savini et al. (1995) est un modèle très marqué par le contexte des Ecrins : alpages ovins, étagement altitudinal important, climat sec. Bien qu'il serve de modèle de référence pour analyser le fonctionnement de tous les types d'alpages dans le massif alpin, ce modèle présente des limites pour certains types d'alpages : (1) pour des alpages bovins allaitants ou à génisses, et même certains alpages ovins où il n'y a pas de logique de circuit de pâturage guidé par le berger ; (2) pour les alpages avec des parcs (dont on considère alors qu'il sont l'équivalent de quartiers), où le comportement animal et la définition de secteurs est moins centrale (sauf lorsqu'il s'agit de déterminer l'emplacement des clôtures, action de base qui va conditionner les circuits de pâturage, la consommation des ressources dans les différents secteurs et le découpage en (pseudo) quartiers) ; (3) pour les alpages laitiers, où la plupart du temps il y a un découpage en parcs quotidiens (différents des parcs à l'échelle du quartiers), constituant l'équivalent de l'échelle de la journée et du circuit de pâturage ; (4) enfin il y a le cas des alpages sans parc et non gardés, où il n'y a aucun découpage fonctionnel de l'espace et du temps dans les pratiques (dans ces situations on pourrait peut-être décrire une partition de l'espace en fonction des territoires des différents lots d'animaux qui se constituent).

### **8.3.1.2 Découpage en quartiers**

Le modèle de Savini et al. (1995) est aussi très marqué par l'étagement altitudinal et le relief marqué des alpages des Ecrins, et par un découpage des quartiers imposé par le relief. Dans de nombreuses situations où il n'y a pas un tel étagement altitudinal et des contraintes de relief moins fortes, on pourrait parfois considérer qu'il y a qu'un seul quartier : n'importe quel secteur de l'alpage peut être pâturé à n'importe quel moment de la saison d'alpage. Dans les diagnostics pastoraux, les techniciens distinguent souvent plusieurs quartiers en s'appuyant sur les pratiques, révélant des

fonctionnalités différentes associées à ces quartiers, selon notamment les caractéristiques fonctionnelles des végétations (aptitude au report sur pied...), et des contraintes d'accès aux ressources (MAE, autres usages, sources intermittentes...). Par rapport à ces situations-là, notre modèle qui s'appuie sur une approche fonctionnelle permet de mieux décrire les pratiques sans « tordre » le cadre d'analyse.

### **8.3.1.3 Autres limites**

Enfin, on peut rappeler deux autres limites à notre travail, qui sont liées à une trop grande spécificité « Ecrins » de notre modèle :

- Une sous-estimation des dynamiques de végétation sur le long-terme, que nous avons déjà évoquée pour les alpages de Vanoise (cf. section 8.2.1.4), et qui est vraie aussi pour les alpages bas en altitude (Vercors, Chartreuse...), où les dynamiques ligneuses peuvent être très rapides.
- Une non prise en compte de la ressource en eau, dans les Ecrins la fonte des neiges et les glaciers assurant encore aujourd'hui largement l'alimentation des cours d'eau jusqu'en fin de saison d'alpage. Sur d'autres territoires, plus bas en altitude et/ou karstiques, la question de la ressource en eau est un enjeu majeur pour l'adaptation au changement climatique (voir par exemple le cas DAR, section 6.2.3).

### **8.3.2 Quelle appropriation de ce travail de thèse ?**

Nous n'avons pas réellement mis en œuvre de mesure pour évaluer l'appropriation du concept de système alpage-exploitations, ni du modèle auprès des techniciens qui ont participé à la démarche ni auprès d'autres techniciens. Néanmoins les retours issus de premières présentations auprès des techniciens en réunion et sur le terrain permettent d'avancer quelques éléments. Appropriation et opérationnalisation du concept de système alpage-exploitations pour l'accompagnement technique.

Il nous semble que l'importance de mieux prendre en compte les interactions entre alpage et exploitations utilisatrices apparaît aujourd'hui comme une évidence pour les techniciens pastoraux ; ainsi, c'est bien un regard sur le système alpage-exploitations que ces techniciens adoptent (regard centré sur l'alpage, mais qui cherche à prendre en compte les exploitations utilisatrices). Néanmoins, ils n'ont pas forcément les outils, ni le temps pour entrer en détail dans la complexité du fonctionnement des exploitations agricoles. Se posent également des questions de « domaines réservés » entre services pastoraux et chambres d'agriculture. « Opérationnaliser » le conseil à l'échelle du système alpage-exploitations reste donc une tâche à part entière et un défi.

Les réflexions conduites durant la thèse ont en tout cas fait ressortir la nécessité de mieux s'intéresser au fonctionnement des groupements pastoraux (cf. section 8.2.3), maillon clé de la gouvernance des alpages, y compris en abordant des dimensions sociologiques. A la différence des exploitations agricoles, l'objet « groupement pastoral » fait sans conteste partie du champ d'action des services pastoraux. Aujourd'hui l'accompagnement des GP est principalement administratif ; il paraîtrait intéressant de développer un accompagnement plus ciblé sur l'animation du collectif, ou de formaliser et reconnaître un tel accompagnement, parfois déjà à l'œuvre.

### **8.3.2.1 Appropriation du modèle biophysique**

Le modèle d'état et de transition n'a pas été rediscuté ou présenté au-delà des acteurs impliqués dans la démarche suite aux phases de modélisation participative. En revanche, nous avons eu plusieurs occasions de présenter les cartes causales.

Ces cartes restent complexes et difficiles à comprendre pour qui n'a pas participé à leur construction. Cela ne constitue pas un problème en soi, car dans une optique d'utilisation opérationnelle, ces cartes sont un objet intermédiaire qui a permis d'identifier ce qui faisait aléa climatique, de construire des indicateurs agrométéorologiques et de décrire des types de végétations en fonction de leur sensibilité aux aléas. L'analyse de l'exposition aux aléas climatique que nous avons effectuée est l'étape qui peut être opérationnalisée et dont il faut s'assurer prioritairement de l'appropriation<sup>34</sup>.

Néanmoins pour faciliter une adhésion à l'ensemble de la démarche, on pourrait imaginer une itération supplémentaire, qui intégrerait notamment les résultats de la confrontation des cartes causales aux données SAFRAN (section 5.3.2, qui pourrait aussi être approfondie) pour ne retenir que les facteurs les plus importants.

Enfin il faudrait ajouter à ces cartes causales les aléas du quotidien spécifiques aux alpages laitiers, évoqués précédemment (section 8.3.1.1). De manière plus générale comme pour toute démarche de modélisation participative, notre modèle ne représente qu'un point de vue partagé à un moment donné sur le fonctionnement d'un système (Le Page et al. 2010). Selon les contextes régionaux, selon l'évolution des connaissances, des nuances pourraient être apportées sur le modèle, pour une utilisation à une échelle éventuellement plus large que celle des Alpes françaises.

### **8.3.2.2 Appropriation des approches fonctionnelles**

Notre analyse, qui s'appuie sur un nombre trop limité d'échanges avec des techniciens pastoraux pour permettre de tirer des conclusions définitives, tend à nous faire penser que l'appropriation des approches fonctionnelles est différente entre les Alpes du Nord et les Alpes du Sud. Dans les Alpes du Sud (jusque dans les Ecrins et le Vercors), le principe des saisons-pratiques « parle » aux techniciens, semble bien correspondre aux façons de penser la gestion et aux pratiques d'ajustements sur les exploitations (à forte composante pastorale) et sur les alpages (en particulier les alpages du Vercors où du fait du faible étagement altitudinal, les différences de fonctionnalités des végétations priment dans les ajustements). Les systèmes alpage-exploitations des Alpes du Sud connaissent aussi une plus forte variabilité climatique et donc un besoin d'ajustements plus important.

En Vanoise, les aléas sont moins marqués, les calendriers de pâturage évoluent moins d'une année sur l'autre (les ajustements sur les exploitations sont en grande partie basés sur une régulation « invisible » par un surdimensionnement des ressources ou sur des achats). L'intérêt d'une approche fonctionnelle paraît moins évident qu'au Sud. Néanmoins, avec la poursuite du réchauffement

---

<sup>34</sup> Une extrapolation de ce travail à l'ensemble des alpages recensés dans le massif alpin pourrait être envisagée sous certaines conditions (les contours des alpages sont renseignés dans l'enquête pastorale) de façon à produire une « carte d'identité » des alpages selon leur exposition aux aléas climatiques. Un entretien avec le berger, avant une démarche de diagnostic pastoral, permettrait d'enrichir cette analyse pour tenir compte de phénomènes météorologiques locaux mal pris en compte dans le modèle SAFRAN (exemple : fréquence des orages,...).

climatique, les extrêmes climatiques connus jusqu'ici dans les Alpes du Sud ont vocation à s'étendre vers les Alpes du Nord. Tout comme nous avons emprunté aux approches des systèmes méditerranéens pour construire notre modèle, les outils qui présentent un intérêt dans les Alpes du Sud aujourd'hui peuvent rapidement s'avérer pertinents dans les Alpes du Nord. Les craintes suscitées par l'été sec de 2015 en sont sans doute un premier signe.

### **8.3.3 Passer d'un modèle scientifique à un outil d'analyse et de conseil**

#### ***8.3.3.1 Intérêt du découpage analytique offert par l'analyse de vulnérabilité***

L'approche de la vulnérabilité que nous avons adoptée au cours des chapitres 5 et 6, correspond à un cadre analytique qui a montré son intérêt dans les démarches de diagnostic en alpage, face aux perturbations liées à la prédation (UCP Pastoralisme méditerranéen 2008, CERPAM et al. 2012). Le découpage du diagnostic en trois étapes que sont l'analyse de l'exposition, de la sensibilité et des capacités d'adaptation permet une approche progressive, considérant le climat, puis le milieu, et enfin les pratiques. Dans une démarche de conseil à l'issue de ce diagnostic, les pistes d'adaptations pourront sans doute être abordées en sens inverse, du plus simple au plus complexe à mettre en œuvre : jouer sur les capacités d'adaptation prioritairement au travers de changement de pratiques, jouer sur la sensibilité du système (action sur les végétations, les équipements), ou sur l'exposition (redécouper les contours des alpages, recomposer les collectifs d'exploitations en fonction de leurs exposition aux aléas climatiques...).

La démarche mise en œuvre à travers l'analyse de la résilience, plus globale, a également montré tout son intérêt pour comprendre - en plus de permettre de traiter la dimension de long-terme de l'adaptation au changement climatique - comment s'articulaient court-terme et long-terme, et comment s'articulaient le fonctionnement écologique des milieux et les pratiques, aux différents niveaux de gestion (en plus de permette de traiter la dimension de long-terme de l'adaptation au changement climatique). Les enseignements issus de cette analyse peuvent être intégrés dans une démarche d'analyse de la vulnérabilité pour traiter des aspects de long-terme. Il est notamment possible de reprendre les éléments que nous avons listés comme susceptibles de conférer de la résilience au système (Tableau 16, page 266), pour les intégrer dans la démarche de diagnostic.

#### ***8.3.3.2 Articuler l'analyse de l'exposition et celle de la sensibilité***

Reprenant les préconisations de Smit et Wandel (2006), nous avons considéré d'un côté l'exposition et la sensibilité, conditionnées par les facteurs du milieu et sur lesquels il n'est pas possible d'agir à court terme, et de l'autre des capacités d'adaptation, qui dépendent en partie de l'exposition et de la sensibilité, mais correspondent aux pratiques mises en œuvre et aux possibilités d'ajustement de ces pratiques.

Dans une optique opérationnelle, l'analyse de la sensibilité des systèmes menée à partir de l'analyse des milieux peut être interprétée comme une nuance, ou une « correction », de l'analyse de l'exposition, comme nous l'avons évoqué en conclusion du chapitre 6. Tantôt les aléas auxquels un système est exposé vont être amplifiés par les caractéristiques du milieu. Tantôt l'exposition aux aléas sera atténuée (par exemple atténuation d'une exposition à un climat tardif par une surface importante de végétations précoces – cas des alpages laitiers de Vanoise), tantôt l'exposition sera amplifiée (par exemple exposition à une variabilité forte de la précocité des saisons et faible diversité de végétations, ou faible souplesse d'exploitation des végétations présentes).

L'analyse de l'exposition et de la sensibilité peut donc être considérée comme un continuum ; d'ailleurs l'étalement de la maturité sur l'alpage, que nous avons intégré à l'analyse de l'exposition, aurait tout aussi bien pu constituer un critère de sensibilité.

### 8.3.3.3 Opérationnalité de la typologie des végétations d'alpage

L'analyse de la sensibilité s'appuie principalement sur une analyse des végétations présentes. A la lumière des analyses effectuées sur les six cas (section 6.2), la typologie des végétations semble dans l'ensemble pertinente pour mettre en lumière les spécificités des différents alpages. L'analyse de la résilience, qui s'est également appuyée sur cette typologie, confirme cette impression. Il nous semble cependant que le type intermédiaire renferme une importante diversité fonctionnelle qui nécessite d'être prise en compte dans l'adaptation au changement climatique. Les bergers qui ne disposent pratiquement que de ce type de végétation (par exemple DAR, cf. section 6.2.3 et Tableau 18 page 273) parviennent à mobiliser la diversité interne au type intermédiaire. On peut faire l'hypothèse que selon l'ampleur du (ou des) gradient(s) de diversité fonctionnelle sur un alpage, le niveau de finesse de diversité que les bergers devront mobiliser sera différent.

Cela pose la question plus largement du type de référentiel à mobiliser pour l'analyse de la sensibilité des végétations : faut-il une typologie « fixe » comme nous l'avons proposée dans le modèle conceptuel, ou bien faut-il regarder les caractéristiques fonctionnelles des plantes à l'échelle de l'alpage et construire une typologie ad hoc pour saisir le grain de finesse nécessaire dans la diversité fonctionnelle. C'est la démarche proposée par Cruz et al. (2010), Duru et al. (2010b), Theau et al. (2010) qui définissent des types fonctionnels de graminées puis proposent d'évaluer les propriétés des prairies en fonction de la proportion de ces différentes espèces dans le couvert, ce qui laisse des marges de manœuvre dans la finesse d'analyse.

La première possibilité présente l'avantage d'être plus facile à mettre en œuvre (il est plus facile sur le terrain de se référer à une typologie préétablie que de reconstruire une typologie, surtout sur les alpages où l'on a une diversité floristique très importante, y compris un grand nombre de graminées, dont certaines peuvent être difficiles à reconnaître, et une grande hétérogénéité spatiale des couverts). Elle présente aussi l'avantage de pouvoir faire le lien avec des travaux antérieurs, par exemple de reprendre une cartographie ancienne des végétations d'alpage et de la réinterpréter.

La seconde possibilité permettrait un travail plus adapté à chaque niveau de diversité. Elle permettrait aussi plus facilement de prendre en compte de manière homogène le gradient de diversité des végétations à l'échelle du système alpage-exploitations. Enfin, cette approche pourrait permettre de distinguer les différents types de ressources qui peuvent être présents dans un même faciès : par exemple sur les pelouses intermédiaires du cas DAR, le berger fait d'abord pâturer ses animaux en les laissant trier ; de ce fait la ressource est constituée des espèces de type C<sup>35</sup> (Cruz et al.

---

<sup>35</sup> **Type C** : Ces sont des espèces de petite taille, typiques de pacages maigres (forte Teneur en Matière Sèche des feuilles (TMS) et faible surface spécifique foliaire (SSF)), peu adaptées aux pratiques de fauche tant pour leurs caractéristiques de faible production que par les surfaces qu'elles occupent (souvent des pentes). Il s'agit d'espèces ayant une résistance à la cassure faible, caractéristique leur conférant une assez bonne valeur fourragère au stade végétatif. Leur phénologie est assez précoce par rapport aux Types Fonctionnels de Plantes (TFP) de type conservation (floraison à 1 300°.j). Espèces types : *Festuca rubra*, *Cynosurus cristatus*, *Briza media*.

2010) ; en fin de saison le troupeau pâture la première pousse des graminées de type C restante, les repousses des espèces de type C s'il y en a, et/ou les espèces de type D plus ou moins complètement selon la ressource disponible (en veillant à réguler la pression sur le type D sur le long-terme). Cette possibilité de « déconstruction » des faciès de végétation n'a pas été décrite par Duru et al. (2010b), qui a appuyé son raisonnement principalement sur des prairies de fauche ou des pâtures productives qui sont pâturées complètement à chaque passage. Elle paraît toutefois offrir des pistes intéressantes pour les systèmes pastoraux.

Au final, c'est sans doute une approche intermédiaire entre ces deux possibilités qu'il faut retenir : s'appuyer d'abord sur une typologie de végétations préconstruite, mais qui peut être complétée par des relevés sur le terrain, si besoin, pour prendre en compte la diversité intra-type et les pratiques de prélèvement des ressources.

#### **8.3.3.4 Vers une typologie de systèmes**

La typologie de logiques d'ajustement des systèmes que nous avons construite permet de comprendre les logiques d'ajustements face aux aléas. Cette typologie transcende les caractéristiques habituelles des systèmes d'élevage que sont la taille du système, le type de production(s), le type de ressources mobilisées, la situation géographique et le climat subi... Nous avons volontairement cherché à éviter ces critères pour mettre l'accent sur le caractère générique des types d'ajustement issus du modèle.

Dans une optique de conseil néanmoins, il peut être intéressant de se rattacher à ces caractéristiques des systèmes d'élevage qui vont conditionner les adaptations concrètes qu'il sera possible de mettre en œuvre. Il pourrait ainsi être intéressant de faire des cas-types régionaux sur le modèle des cas-types des réseaux d'élevage (Charroin et al. 2005), mixant des caractéristiques techniques de systèmes de production et des logiques d'ajustements, et déclinés dans différentes sous-régions. La méthode proposée par les réseaux d'élevage avec des suivis annuels s'inscrit bien dans la même logique que les suivis alpages sentinelles ; néanmoins pour disposer de plusieurs cas par cas-type et pouvoir produire des références, il faudrait probablement multiplier le nombre d'alpages suivis.

Une alternative pourrait être de construire des « prototypes » de cas-types à dire d'expert (Girard 2006b) en sollicitant les techniciens pastoraux et agricoles, c'est-à-dire proposer des cas stylisés de systèmes et de logiques d'ajustements, s'appuyant plus ou moins sur des cas réels. Cette approche ne permet pas de se référer à des données quantitatives issues de suivis, mais elle permet de positionner un cas donné par rapport à des cas de référence et de raisonner les possibilités d'adaptation par rapport à ces cas-types. La construction de prototypes s'accorderait bien avec les types que nous avons construits selon les logiques d'ajustement, qui ont un certain côté prototypique : classement qui ne s'appuie pas sur une approche quantitative, mais sur la compréhension et la description d'une logique dominante.

---

**Type D** : Espèces de taille moyenne, très tardives (floraison à environ 1 700°.j) et typiques des estives ou parcours peu fertiles et peu utilisés. Leur grande résistance à la cassure est un indicateur de leur faible valeur fourragère. Espèces types : *Brachypodium pinnatum*, *Helictotrichon sulcatum*.

## **Conclusion générale**





## Conclusion générale

Dans ce travail de thèse, nous avons formulé une problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages, qui nous a conduits à proposer le concept de système alpage-exploitations : un système d'élevage où l'alpage est au centre et qui inclut les exploitations utilisatrices. Nous avons modélisé le fonctionnement de ce système sur le plan biophysique et sur le plan de la gestion, afin de pouvoir traiter des deux dimensions de l'adaptation au changement climatique sur les alpages : celle de l'adaptation à la recrudescence des aléas climatiques sur le pas de temps de la campagne annuelle et celle de la coévolution progressive du climat, des milieux, des exploitations, des pratiques. Nous avons testé le caractère opératoire de ce modèle en analysant la vulnérabilité aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations, suivis dans le cadre du dispositif Alpages Sentinelles, et nous avons proposé une méthode d'analyse de la résilience de ce système qui s'appuie aussi sur ce modèle et qui permet d'articuler les deux pas de temps de l'adaptation au changement climatique. Notre travail confirme bien l'intérêt de considérer d'une part le caractère dynamique des alpages et d'autre part l'articulation entre l'alpage et les exploitations qui l'utilisent pour analyser l'adaptation au changement climatique des alpages.

De manière générale, le champ du pastoralisme reste un champ peu exploré dans les sciences agronomiques. Notre travail contribue à montrer que les systèmes pastoraux, et en particulier les systèmes utilisateurs d'alpages, permettent d'aborder un certain nombre de problématiques qui peuvent intéresser d'autres types de systèmes aux différents niveaux de gestion auquel s'intéresse l'agronome : la parcelle, l'exploitation, le territoire. Ce travail ouvre ainsi différentes perspectives de recherche dans le champ de l'agronomie :

(1) Certaines des propositions méthodologiques que nous avons faites pour analyser l'adaptation au changement climatique du système alpage-exploitations pourraient être remobilisées et adaptées pour d'autres systèmes et d'autres contextes territoriaux. Nous l'illustrons ici en développant deux éléments de notre thèse et en les appliquant aux cas des systèmes de grandes cultures, qui sont par de nombreux aspects à l'opposé des systèmes que nous avons étudiés dans cette thèse : (i) l'idée, déjà évoquée en discussion, d'articuler le pas de temps du cycle de production et le long-terme afin d'analyser l'adaptation au changement climatique paraît intéressante pour une diversité de contextes et de types de systèmes ; (ii) les approches fonctionnelles que nous avons mobilisées permettent de réfléchir aux possibilités d'utilisation de la diversité d'un territoire d'exploitation pour s'adapter face aux aléas. On sait que ces approches sont intéressantes pour les systèmes d'élevage au-delà des seuls systèmes pastoraux ou extensifs (Guérin et al. 2009). Nous pensons qu'elles pourraient être intéressantes pour des systèmes agricoles au delà de l'élevage, jusque par exemple aux systèmes de grandes cultures. Les systèmes de grandes cultures ont certes une moins grande nécessité que les systèmes d'élevage de raisonner l'organisation spatiale de leur territoire d'exploitation (théoriquement l'itinéraire technique de chaque parcelle pourrait être raisonné indépendamment des autres parcelles), et le pas de temps de la campagne annuelle est fortement prédominant pour ces systèmes comparativement aux systèmes d'élevage qui doivent assurer l'alimentation des animaux tous les jours et année après année et assurer en même temps le renouvellement de la ressource fourragère. Pourtant, les agriculteurs réfléchissent bien déjà les assolements et les successions culturales en prenant en compte la diversité au sein du parcellaire et intègrent cette diversité dans leurs pratiques : diversité de sensibilité à la sécheresse, aux excès d'eau, d'accessibilité à l'irrigation, de fertilité et de portance du sol, de taille des parcelles, de

## Conclusion générale

morcellement des différents îlots de parcelles... (Morlon et Benoit 1990, Soulard 2005a). Comme pour les systèmes d'élevage, raisonner de manière plus systématique le parcellaire en termes de fonctionnalités et de possibilités d'ajustements pourrait certainement être une piste pour construire des systèmes d'exploitation de grande culture plus résilients face au changement climatique : répartir les risques, ajuster les pratiques aux conditions climatiques.

(2) L'articulation entre l'alpage et les exploitations, telle que nous la traitons, pourrait être lue comme une déclinaison particulière de l'articulation chère aux agronomes entre parcelle et exploitation, l'alpage pouvant être considéré comme une parcelle ou un groupe de parcelles qui seraient l'objet de préoccupations particulières au sein du système alpage-exploitations. De ce point de vue, le système alpage-exploitations pourrait être un système intéressant pour aborder d'autres problématiques que celle de l'adaptation au changement climatique. Par exemple différents travaux ont montré qu'analyser l'efficacité des mesures agri-environnementales nécessitait de considérer les niveaux de la parcelle et de l'exploitation, pour comprendre comment des pratiques sur les parcelles sous contrat s'accordaient, ou non, avec la logique de fonctionnement à l'échelle de l'exploitation et juger de la pertinence des mesures mises en œuvre (Thévenet et al. 2006, Nettier et al. 2011a). En effet les MAE ne sont efficaces à long-terme qu'à la condition de s'intégrer dans la cohérence d'ensemble du fonctionnement des exploitations, et à la condition d'une adhésion des éleveurs (ou des bergers) aux mesures. Sur les alpages, les enjeux environnementaux sont importants et les mesures agri-environnementales sont un élément majeur dans la conduite pastorale. Nous pensons donc qu'il serait intéressant d'aborder leur mise en œuvre au travers du prisme du système alpage-exploitations, pour analyser comment elles s'intègrent dans la cohérence de l'alpage et des exploitations utilisatrices et comment elles jouent sur l'articulation entre l'alpage et les exploitations. Par ailleurs, les pratiques ou les objectifs des MAE représentent souvent des contraintes qui limitent les capacités d'adaptation au changement climatique (dates de pâturage imposées...). Il nous semble qu'il serait intéressant de réfléchir à des MAE qui aillent dans le sens d'une meilleure adaptation au changement climatique sur les alpages : pour cela le niveau du système alpage-exploitation pourrait être intéressant à considérer. Dans la PAC 2015-2020, le « C » des MAEC (Mesures Agri-Environnementales et Climatiques) semble plutôt avoir été pensé pour imaginer des mesures d'atténuation du changement climatique, mais cela aurait du sens en termes de politiques agricoles de proposer des mesures d'adaptation au changement climatiques à l'heure du « projet agro-écologique pour la France ».

(3) Notre travail interroge aussi le fonctionnement des collectifs d'agriculteurs. La lecture que nous proposons de l'articulation entre espaces communs et espaces individuels et de la mise en cohérence entre les objectifs collectifs et individuels pourrait être élargie aux collectifs d'agriculteurs au-delà du sujet de la gestion des communs : l'organisation du partage de matériel au sein d'une Cuma, l'entraide, le fonctionnement de groupes de développement ou de sections syndicales pourraient être analysés avec un regard agronomique à travers une vision analogue à celle du système alpage-exploitations. Cela permettrait de comprendre comment les aspects collectifs et le fonctionnement individuel des exploitations s'accordent. Cela donnerait des clés, par exemple, pour comprendre le niveau ou les modalités d'investissement dans les collectifs et trouver des pistes pour faciliter cet investissement.

## Conclusion générale

La problématique que nous avons traitée nous a conduit à dépasser les cadres conceptuels strictement agronomiques pour mobiliser des approches en sciences biophysiques et en sciences sociales. C'est sans doute dans l'articulation entre agronomie et écologie que notre travail est le plus abouti. Le fonctionnement écologique des milieux d'alpage est un élément fondamental dans la gestion, tout particulièrement pour l'adaptation au changement climatique. Sur ce type de milieux, nous pourrions à l'avenir approfondir encore le rapprochement entre agronomie et écologie, afin de mieux parvenir à adopter une lecture du fonctionnement des milieux selon leurs fonctionnalités. Du point de vue d'un agronome, les approches par les services écosystémiques actuellement développés en écologie, qui vont dans le sens d'une lecture du fonctionnement des écosystèmes en relation avec leur utilisation par les activités humaines (Zhang et al. 2007, Lavorel et al. 2011), restent en effet trop souvent cantonnées au calcul d'indicateurs très génériques (productivité...). Notre travail a montré qu'il pouvait être intéressant de construire des indicateurs plus précis en lien avec les pratiques pour vraiment comprendre la façon dont sont utilisés et gérés les écosystèmes. Par ailleurs les méthodes de modélisation participative peuvent également être un outil d'aide au raisonnement à même d'éclairer le fonctionnement des écosystèmes.

Enfin, nous avons réalisé ce travail de thèse au cours d'une démarche de recherche-action : les acteurs du pastoralisme ont été associés à sa construction, de façon à ce que les résultats puissent être facilement et rapidement transformés en perspectives opérationnelles. Nous avons déjà commencé à travailler sur cette perspective, en commençant à formaliser une démarche de diagnostic de la vulnérabilité des alpages et des systèmes alpage-exploitations au changement climatique, et en commençant à construire des outils d'analyse associés. Pour l'instant les éleveurs et les bergers n'ont été impliqués que de manière ponctuelle dans l'ensemble de la démarche de modélisation. Pour aller plus loin dans le renouvellement des cadres d'analyse et dans la construction d'outils qui aient un sens au plus près des pratiques sur le terrain, nous pourrions enrichir le modèle en mobilisant davantage les éleveurs et les bergers dans une démarche participative. Cela permettrait sans doute d'apporter des visions complémentaires à celles des techniciens sur les modes d'ajustements, sur les caractéristiques des végétations à considérer et sur les dynamiques des végétations.

A l'issue de ce travail de thèse, il nous semble que la position d'un chercheur dans un processus de recherche-action est celle d'un équilibriste. Au-delà d'un apport de méthode et de connaissances scientifiques, la plus-value du chercheur dans ce type de démarche est bien de permettre de prendre du recul et dépasser les cadres d'analyse habituels, les façons de voir des acteurs. Mais il faut en même temps veiller à ne pas décrocher de leurs préoccupations et de toujours garder à l'esprit les possibilités de mises en œuvre, pour que ces nouveaux cadres d'analyse puissent être appropriés et opérationnalisés.

In fine, la réussite ou non de la phase d'opérationnalisation de notre thèse sera donc aussi un élément à considérer pour évaluer la qualité du travail de recherche que nous avons conduit.



# Références bibliographiques

ADGER W.N., 2000, « Social and ecological resilience: are they related? », *Progress in Human Geography*, 24, 3, p. 347-364.

ADGER W.N., 2006, « Vulnerability », *Global Environmental Change*, 16, 3, p. 268-281.

ADGER W.N., HUGHES T.P., FOLKE C., CARPENTER S.R., ROCKSTRÖM J., 2005, « Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters », *Science*, 309, 5737, p. 1036-1039.

AHAMED T., TIAN L., ZHANG Y., TING K.C., 2011, « A review of remote sensing methods for biomass feedstock production », *Biomass and Bioenergy*, 35, 7, p. 2455-2469.

ALARD D., BALENT G., 2007, « Sécheresse : quels impacts sur la biodiversité en systèmes prairiaux et pastoraux ? », *Fourrages*, 190, p. 197-206.

ALLEN C.R., CUMMING G.S., GARMESTANI A.S., TAYLOR P.D., WALKER B.H., 2011, « Managing for resilience », *Wildlife Biology*, 17, 4, p. 337-349.

ALLEN C.R., GUNDERSON L., JOHNSON A.R., 2005, « The Use of Discontinuities and Functional Groups to Assess Relative Resilience in Complex Systems », *Ecosystems*, 8, 8, p. 958-966.

ALLERBERGER F., LIESEGANG A., GRIF K., KHASCHABI D., PRAGER R., DANZL J., HÖCK F., ÖTTL J., DIERICH M.P., BERGHOLD C., NECKSTALLER I., TSCHÄPE H., FISHER I., 2003, « Occurrence of *Salmonella enterica* serovar Dublin in Austria », *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 153, 7-8, p. 148-152.

ALTIERI M.A., 1995, *Agroecology: the science of sustainable agriculture*, Westview Press, Boulder, CO, USA, 433 p.

ALTIERI M.A., 2002, « Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93, 1-3, p. 1-24.

ALZIEU J.P., BRUGERE-PICOUX J., BRARD C., 2014, « Particularités pathologiques des ruminants domestiques en estive dans les montagnes françaises », *INRA Productions Animales*, 27, 1, p. 31-40.

ANCEY V., AVELANGE I., DEDIEU B., 2013, *Agir en situation d'incertitude en agriculture. Regards pluridisciplinaires au Nord et au Sud*, Peter Lang, 419 p.

ANDERIES J.M., WALKER B.H., KINZIG A.P., 2006, « Fifteen weddings and a funeral: Case studies and resilience-based management », *Ecology and Society*, 11, 1.

ANDERIES J.M., FOLKE C., WALKER B., OSTROM E., 2013, « Aligning Key Concepts for Global Change Policy: Robustness, Resilience, and Sustainability », *Ecology and Society*, 18, 2.

ANDRIEU N., 2004, *Diversité du territoire de l'exploitation d'élevage et sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques : étude empirique et modélisation*, Thèse de doctorat, Paris, Institut national agronomique Paris-Grignon, 320 p.

- ANDRIEU N., JOSIEN E., DURU M., 2007, « Relationships between diversity of grassland vegetation, field characteristics and land use management practices assessed at the farm level », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120, 2–4, p. 359–369.
- ANSELME B., BOUSQUET F., LYET A., ETIENNE M., FADY B., LE PAGE C., 2010, « Modelling of spatial dynamics and biodiversity conservation on Lure mountain (France) », *Environmental Modelling & Software*, 25, 11, p. 1385–1398.
- ANSQUER P., AL HAJ KHAKED R., DURU M., THEAU J.P., VIEGAS J., 2004, « Caractérisation de la diversité fonctionnelle des prairies à flore complexe : vers la construction d'outils de gestion », *Fourrages*, 179, p. 353–368.
- APLIN P., ATKINSON P.M., CURRAN P.J., 1999, « Fine Spatial Resolution Simulated Satellite Sensor Imagery for Land Cover Mapping in the United Kingdom », *Remote Sensing of Environment*, 68, 3, p. 206–216.
- ARTHO R., SCHNYDER M., KOHLER L., TORGERSON P.R., HERTZBERG H., 2007, « Avermectin-resistance in gastrointestinal nematodes of Boer goats and Dorper sheep in Switzerland », *Veterinary Parasitology*, 144, 1–2, p. 68–73.
- ASHEIM L.J., LUNNAN T., SICKEL H., 2014, « The profitability of seasonal mountain dairy farming in Norway », *German Journal of Agricultural Economics*, 63, 2, p. 81–95.
- ASTIGARRAGA L., INGRAND S., 2011, « Production flexibility in extensive beef farming systems », *Ecology and Society*, 16, 1.
- AUBRON C., LURETTE A., MOULIN C.H., 2010, « Simulation des conséquences économiques de différentes stratégies fourragères avec foin face aux aléas climatiques en élevage bovin laitier », *17èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Élevage*, 17, p. 249–252.
- AUER I., BÖHM R., JURKOVIC A., LIPA W., ORLIK A., POTZMANN R., SCHÖNER W., UNGERSBÖCK M., MATULLA C., BRIFFA K., JONES P., EFTHYMIADIS D., BRUNETTI M., NANNI T., MAUGERI M., MERCALLI L., MESTRE O., MOISSELIN J.-M., BEGERT M., MÜLLER-WESTERMEIER G., KVETON V., BOCHNICEK O., STASTNY P., LAPIN M., SZALAI S., SZENTIMREY T., CEGNAR T., DOLINAR M., GAJIC-CAPKA M., ZANINOVIC K., MAJSTOROVIC Z., NIEPLOVA E., 2007, « HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region », *International Journal of Climatology*, 27, 1, p. 17–46.
- BABAI D., MOLNÁR Z., 2014, « Small-scale traditional management of highly species-rich grasslands in the Carpathians », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 182, p. 123–130.
- BARANGER D., SCHIAVONI G., ALBALADEJO C., 1991, « L'obscur insertion d'André L. », dans *André L. : Contrepoint*, INRA, Versailles, Landais E. (Ed.), p. 13–20.
- BARRETEAU O., BOUSQUET F., ETIENNE M., SOUCHERE V., D'AQUINO P., 2010, « La modélisation d'accompagnement : une méthode de recherche participative et adaptative », dans *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, Quae, Etienne, M. (Ed.) (Update Sciences & Technologies), p. 21–46.

- BELLIVEAU S., SMIT B., BRADSHAW B., 2006, « Multiple exposures and dynamic vulnerability: Evidence from the grape industry in the Okanagan Valley, Canada », *Global Environmental Change*, 16, 4, p. 364-378.
- BELLON S., GIRARD N., GUERIN G., 1999, « Caractériser les saisons-pratiques pour comprendre l'organisation d'une campagne de pâturage », *Fourrages*, 158, p. 115-132.
- BENISTON M., 2006, « Mountain Weather and Climate: A General Overview and a Focus on Climatic Change in the Alps », *Hydrobiologia*, 562, 1, p. 3-16.
- BENNETT E.M., CUMMING G.S., PETERSON G.D., 2005, « A Systems Model Approach to Determining Resilience Surrogates for Case Studies », *Ecosystems*, 8, 8, p. 945-957.
- BENOIT M., DEFFONTAINES J.-P., LARDON S., 2006, *Acteurs et territoires locaux. Vers une géoagronomie de l'aménagement*, Quae, Paris (Savoir faire), 174 p.
- BENOT M.-L., SACCONI P., PAUTRAT E., VICENTE R., COLACE M.-P., GRIGULIS K., CLÉMENT J.-C., LAVOREL S., 2013, « Stronger Short-Term Effects of Mowing Than Extreme Summer Weather on a Subalpine Grassland », *Ecosystems*, 17, 3, p. 458-472.
- BENSIN B.M., 1928, *Agroecological characteristics description and classification of th local corn varieties chorotypes*.
- BERKES F., COLDING J., FOLKE C., 2008, *Navigating Social-Ecological Systems. Building Resilience for Complexity and Change*, Cambridge, 416 p.
- BERNARD-BRUNET J., BORNARD A., 2004, « Outils pour les diagnostics pastoraux et la gestion des milieux pâturés d'altitude », *Ingénieries EAT, numero special 20014*, p. 69-80.
- BIGOT S., ANCELET E., RABATEL A., BONET R., 2010, « Étude du déneigement saisonnier des "Alpages sentinelles" du Parc National des Écrins (France) grâce à l'imagerie MODIS », *12èmes Rencontres scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUF, Monastir, Tunisie, AUF*, p. 38-40.
- BIGOT S., ROME S., 2010, « Contraintes climatiques dans les Préalpes françaises : évolution récente et conséquences potentielles futures », *EchoGéo*, 14.
- BLANC F., BOCQUIER F., AGABRIEL C., D'HOOR P., CHILLIARD Y., 2008, « Un regard des sciences de gestion sur la flexibilité : enjeux et perspectives », dans *L'Élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*, Quae, Dedieu B., Chia E., Leclerc B., Moulin C.H., Tichit M. (Eds.) (Update Sciences & Technologies), p. 73-94.
- BLANC F., DUMONT B., BRUNSCHWIG G., BOCQUIER F., AGABRIEL J., 2010, « Robustesse, flexibilité, plasticité : des processus adaptatifs révélés dans les systèmes d'élevage extensifs de ruminants », *INRA Productions animales*, 23, 1, p. 65-80.
- BLANCO M., JOY M., PANEA B., ALBERT P., RIPOLL G., CARRASCO S., REVILLA R., CASASS I., 2012, « Effects of the forage content of the winter diet on the growth performance and carcass quality of steers finished on mountain pasture with a barley supplement », *Animal Production Science*, 52, 9, p. 823-831.



BLÄTTLER T., DURGIAI B., PEGUIRON D., RAAFLAUB M., WINCKLER L., 2013, « Wirtschaftlichkeit der Alpung in der Schweiz », *Agrarforschung Schweiz*, 4, 3, p. 108-115.

BOMMEL P., 2009, *Définition d'un cadre méthodologique pour la conception de modèles multi-agents adaptée à la gestion des ressources renouvelables*, Thèse de doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 285 p.

BONIZZI I., BUFFONI J.N., FELIGINI M., ENNE G., 2009, « Investigating the relationship between raw milk bacterial composition, as described by intergenomic transcribed spacer-PCR fingerprinting, and pasture altitude », *Journal of Applied Microbiology*, 107, 4, p. 1319-1329.

BONNEVIALE J.-R., JUSSIAU R., MARSHALL E., 1989, *Approche globale de l'exploitation agricole : Comprendre le fonctionnement agricole : une méthode pour la formation et le développement*, La Documentation Française, 329 p.

BORNARD A., BASSIGNANA M., LABONNE, COZIC P., 2006, *Les végétations d'alpage de la Vanoise. Description agro-écologique et gestion pastorale*, Quae, (Guide pratique), 236 p.

BORNARD A., COZIC P., 1986, « Valorisation par des bovins ou des ovins de pelouses et de landes subalpines des Alpes françaises », *Fourrages*, 108, p. 129-161.

BORNARD A., COZIC P., 1998, « Milieux pâturés d'altitude. II-Intérêts multiples de ces milieux gérés par le pâturage domestique », *Fourrages*, 153, p. 81-95.

BORNARD A., DUBOST M., 1992, « Diagnostic agro-écologique de la végétation des alpages laitiers des Alpes du Nord humides : établissement et utilisation d'une typologie simplifiée », *Agronomie*, 12, 8, p. 581-599.

BOUQUIN H., 1986, *Le contrôle de gestion*, PUF, 452 p.

BOURBOUZE A., BEN SAAD A., CHICHE J., JAUBERT R., 2009, « Managing collective land and rangelands », dans *Mediterra 2009: rethinking rural development in the Mediterranean*, Presses de Sciences Po, Paris, Hervieu B., Thibault H.L., Abis S. (Eds.), p. 243-275.

BRAND F., 2005, « Ecological resilience and its relevance within a theory of sustainable development », *UFZ Reports*, 03/2005, Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ).

BRAU-NOGUE C., 1996, *Dynamiques des pelouses d'alpages laitiers dans les Alpes du Nord Externes*, Thèse de doctorat, Grenoble, Université Joseph Fourier, 222 p.

BRISKE D.D., BESTELMEYER B.T., STRINGHAM T.K., SHAVER P.L., 2008, « Recommendations for Development of Resilience-Based State-and-Transition Models », *Rangeland Ecology & Management*, 61, 4, p. 359-367.

BRISSON N., MARY B., RIPOCHE D., JEFFROY M.H., RUGET F., NICOUILLAUD B., GATE P., DEVIENNE-BARRET F., ANTONIOLETTI R., DURR C., RICHARD G., BEAUDOIN N., RECOUS S., TAYOT X., PLENET D., CELLIER P., MACHET J.-M., MEYNARD J.M., DELÉCOLLE R., 1998, « STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn », *Agronomy for Sustainable Development*, 18, 5-6, p. 36.

- BROWN V.A., 2010, « Collective inquiry and its wicked problems », dans *Tackling wicked problems through the transdisciplinary imagination*, Earthscan, London, Brown V.A., Harris J.A., Russel J. Y. (Ed.), p. 61-83.
- BRUNSWIG G., 1988, *Systèmes d'élevage extensifs d'altitude dans les Andes Centrales du Pérou*, Thèse de doctorat, Paris, INAPG, 510 p.
- BRUNSWIG G., 1992, « La Haute vallée du Cañete : la lande et la puna », dans *Comprendre l'agriculture paysannes dans les Andes Centrales. Pérou - Bolivie*, INRA, Paris, Morlon, P. (Ed.) (Espaces ruraux), p. 383-409.
- BRUNSWIG G., AUBRON C., CHARBONNEAU M., 2009, « Les ruminants dans les Andes centrales : l'élevage conquérant ? », *16èmes Rencontre Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Élevage*, 16, p. 365-368.
- BUTTLER A., GAVAZOV A., PERINGER A., SIEHOFF S., MARIOTTE P., WETTSTEIN J.B., CHÉTELAT J., HUBER R., GILLET F., SPIEGELBERGER T., 2012, « Conservation of pasture woodlands in the Jura mountains: climate change and agro-political challenges », *Agrarforschung Schweiz*, 3, 7-8, p. 346-353.
- CALABRESE C., MANN S., DUMONDEL M., 2014, « Alpine Farming in Switzerland: Discerning a Lifestyle-Driven Labor Supply », *Review of Social Economy*, 72, 2, p. 137-156.
- CALANCA P., 2007, « Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? », *Global and Planetary Change*, 57, 1-2, p. 151-160.
- CAMACHO O., 2004, *L'alimentation des troupeaux peut-elle empêcher le boisement spontané des espaces ruraux dans les Alpes du Nord ? Organisation spatiale des pratiques fourragères et d'entretien mécanique des prairies permanentes dans la vallée d'Abondance (Haute-Savoie)*, Thèse de doctorat, Paris, Institut National Agronomique Paris-Grignon, 232 p.
- CAMACHO O., DOBREMEZ L., CAPILLON A., 2008, « Des broussailles dans les prairies alpines », *Revue de géographie alpine / Journal of Alpine Research*, 96, 3, p. 77-88.
- CAMP E.V., PINE W.E. III, HAVENS K., KANE A.S., WALTERS C.J., IRANI T., LINDSEY A.B., GLENN MORRIS J. JR., 2015, « Collapse of a historic oyster fishery: Diagnosing causes and identifying paths toward increased resilience », *Ecology and Society*, 20, 3.
- CAMPOS M., VELÁZQUEZ A., MCCALL M., 2014, « Adaptation strategies to climatic variability: A case study of small-scale farmers in rural Mexico », *Land Use Policy*, 38, p. 533-540.
- CARLISLE L., 2014, « Diversity, flexibility, and the resilience effect: Lessons from a socialecological case study of diversified farming in the northern Great Plains, USA », *Ecology and Society*, 19, 3.
- CARPENTER S.R., WESTLEY F., TURNER M.G., 2005, « Surrogates for Resilience of Social–Ecological Systems », *Ecosystems*, 8, 8, p. 941-944.
- CARPENTER S., WALKER B., ANDERIES J.M., ABEL N., 2001, « From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? », *Ecosystems*, 4, 8, p. 765-781.

CARRERE P., CHABALIER C., LANDRIEAUX J., ORTH D., PIQUET M., RIVIERE J., SEYTRE L., 2012, « Une typologie multifonctionnelle des prairies des systèmes laitiers AOP du Massif Central combinant des approches agronomiques et écologiques », *Fourrages*, 209, p. 9-22.

CASABIANCA F., ALBALADEJO C., 1997, « Des multiples légitimités de la recherche-action », dans *La recherche-action. Ambitions, pratique, débats*, INRA, Albaladejo C., Casabianca F (Eds.) (Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement), p. 11-25.

CASTRO I.M.L., GYGAX L., WECHSLER B., HAUSER R., 2011, « Winter housing conditions of cows of the Hérens breed do not influence fighting but modulate spacing behaviour on alpine pastures », *Applied Animal Behaviour Science*, 134, 1-2, p. 23-30.

CAYLA D., BOUCHY R., LIENARD G., 1998, « Place des estives dans les systèmes allaitants Salers », *Animal Research*, 47, 5-6, p. 445-451.

CERPAM, OIER-SUAMME, ADEM, DDRT(M) 04, 05, 06, 38, 73, IDELE, 2012, *Protection des troupeaux contre la prédation*, CERPAM et Cardère, Garde L. (Ed.).

CERPAM, PARC NATIONAL DES ECRINS, 2006, *Diagnostic pastoral en alpages*, (Collection Techniques pastorales), 125 p.

CHABRAT S., VIRGINIE B., HOUDART M., 2014, « De la viande, du foin et un pastoralisme sédentaire », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 102, 2.

CHARBON J.L., TIECHE M.A., VILLEJOURBERT C., BOULARD C., PFISTER K., 1995, « Epidémiologie de l'hypodermose bovine dans le Canton de Vaud: comparaison de deux méthodes de cartographie de l'infestation en vue d'un traitement stratégique. », *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 137, 8, p. 363-368.

CHARBONNIER Q., 2012, *1972 la loi pastorale française*, Association Française de Pastoralisme et Cardère éditeur, 141 p.

CHARROIN T., PALAZON R., MADELINE Y., GUILLAUMIN A., TCHAKERIAN E., 2005, « Le système d'information des Réseaux d'Élevage français sur l'approche globale de l'exploitation. Intérêt et enjeux dans une perspective de prise en compte de la durabilité », *12èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Élevage*, 12, p. 335-338.

CHIA E., MARCHESNAY M., 2008, « Un regard des sciences de gestion sur la flexibilité : enjeux et perspectives », dans *L'Élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*, Quae, Dedieu B., Chia E., Leclerc B., Moulin C.H., Tichit M. (Eds.) (Update Sciences & Technologies), p. 23-36.

CHOLER P., 2015, « Growth response of temperate mountain grasslands to inter-annual variations in snow cover duration », *Biogeosciences*, 12, p. 3885-3897.

CIALDELLA N., DOBREMEZ L., MADLERIEUX S., 2009, « Livestock farming systems in urban mountain: differentiated paths to remain in time », *Outlook on Agriculture*, 38, 2, p. 127-135.

- CIFDALOZ O., REGMI A., ANDERIES J.M., RODRIGUEZ A., 2010, « Robustness, vulnerability, and adaptive capacity in small-scale social-ecological systems: The Pampa Irrigation System in Nepal », *Ecology and Society*, 15, 3.
- CLEMENT J.C., ROBSON T.M., GUILLEMIN R., SACCONI P., LOCHET J., AUBERT S., LAVOREL S., 2011, « The effects of snow-N deposition and snowmelt dynamics on soil-N cycling in marginal terraced grasslands in the French Alps », *Biogeochemistry*, 108, 1-3, p. 297-315.
- COCHET H., 2012, « The systeme agraire concept in francophone peasant studies », *Geoforum*, 43, 1, p. 128-136.
- COLÉNO F.C., DURU M., THEAU J.P., 2005, « A Method to Analyse Decision-making Processes for Land Use Management in Livestock Farming », *International Journal of Agricultural Sustainability*, 3, 1, p. 69-78.
- COLOMBO R., BUSETTO L., FAVA F., MAURO B.D., MIGLIAVACCA M., CREMONESE E., GALVAGNO M., ROSSINI M., MERONI M., COGLIATI S., PANIGADA C., SINISCALCO C., CELLA U.M. DI, 2011, « Phenological monitoring of grassland and larch in the Alps from Terra and Aqua MODIS images », *Rivista Italiana Di Telerilevamento*, 43, 3, p. 83-96.
- COMIN A., PRANDI A., PERIC T., CORAZZIN M., DOVIER S., BOVOLENTA S., 2011, « Hair cortisol levels in dairy cows from winter housing to summer highland grazing », *Livestock Science*, 138, 1-3, p. 69-73.
- COMMOD C., 2005, « La modélisation comme outil d'accompagnement », *Natures Sciences Sociétés*, 13, 2, p. 165-168.
- COOK J., NUCCITELLI D., GREEN S.A., RICHARDSON M., WINKLER B., PAINTING R., WAY R., PETER JACOBS, SKUCE A., 2013, « Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature », *Environmental Research Letters*, 8, 2, p. 24024.
- COQUIL X., DEDIEU B., BÉGUIN P., 2010, « How do livestock and crop sciences represent evolutions of farming systems? A review », *9th European IFSA Symposium, Vienna, Austria*, p. 1255-1266.
- CORAZZIN M., PIASENTIER E., DOVIER S., BOVOLENTA S., 2010, « Effect of summer grazing on welfare of dairy cows reared in mountain tie-stall barns », *Italian Journal of Animal Science*, 9, 3, p. 304-312.
- CORONA C., GUIOT J., EDOUARD J.L., CHALIÉ F., BÜNTGEN U., NOLA P., URBINATI C., 2010, « Millennium-long summer temperature variations in the European Alps as reconstructed from tree rings », *Clim. Past*, 6, 3, p. 379-400.
- CORONA-LOZADA M.C., 2014, « Etude de la phénologie des prairies supra-forestières du Parc National des Ecrins en relation avec le climat et les pratiques agropastorales », Mémoire de master, Grenoble, Université Joseph Fourier - Laboratoire d'Ecologie Alpine.
- CORTI M., MORANDA G., AGOSTINI S., 2010, « Indicators for alpine pastures multifunctional use. The case of estates of the regional agricultural and forestry services board of Lombardy », *Italian Journal of Agronomy*, 5, 1, p. 13-18.

- COSSETTE P., 2003, *Cartes cognitives et organisations*, ADREG, Laval (Quebec) (Les éditions de l'ADREG), 328 p.
- COSTA L., KROPP J.P., 2012, « Linking components of vulnerability in theoretic frameworks and case studies », *Sustainability Science*, 8, 1, p. 1-9.
- COZIC P., BORNARD A., 1998, « Milieux pâturés d'altitude. I-Des milieux spécifiques : l'apport d'une approche agro-écologique pour leur gestion », *Fourrages*, 153, p. 69-79.
- CRUZ P., AL HAJ KHAKED R., ANSQUER P., DUCOURTIEUX C., DURU M., JOUANY C., THEAU J.P., THEROND O., 2002, « Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage », *Fourrages*, 172, p. 335-354.
- CRUZ P., DURU M., JOUANY C., LECLoux E., THEAU J.P., 2010, « Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes : une classification multitraits », *Fourrages*, 201, p. 11-17.
- CUMMING G.S., BARNES G., PERZ S., SCHMINK M., SIEVING K.E., SOUTHWORTH J., BINFORD M., HOLT R.D., STICKLER C., HOLT T.V., 2005, « An Exploratory Framework for the Empirical Measurement of Resilience », *Ecosystems*, 8, 8, p. 975-987.
- CUTTER S.L., BARNES L., BERRY M., BURTON C., EVANS E., TATE E., WEBB J., 2008, « A place-based model for understanding community resilience to natural disasters », *Global Environmental Change*, 18, 4, p. 598-606.
- DAGET P., POISSONET J., 1971, « Une méthode d'analyse phytologique des prairies », *Annales Agronomiques*, 22, 1, p. 5-41.
- DAGET P., POISSONET J., 1972, « Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des pâturages », *Fourrages*, 49, p. 31-39.
- DARNHOFER I., 2010, « Strategies of family farms to strengthen their resilience », *Environmental Policy and Governance*, 20, 4, p. 212-222.
- DARNHOFER I., 2014, « Resilience and why it matters for farm management », *European Review of Agricultural Economics*, 41, 3, p. 461-484.
- DARNHOFER I., BELLON S., DEDIEU B., MILESTAD R., 2010, « Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review », *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 3, p. 545-555.
- DARNHOFER I., FAIRWEATHER J., MOLLER H., 2010, « Assessing a farm's sustainability: insights from resilience thinking », *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8, 3, p. 186-198.
- DARNHOFER I., GIBBON D., DEDIEU B., 2012, *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic.*, Dordrecht, Springer, 490 p.
- DARRE J.-P., MATHIEU A., LASSEUR J., 2006, *Le sens des pratiques*, Quae, Versailles, INRA (Science update), 320 p.

- DAVID C., MUNDLER P., DEMARLE O., INGRAND S., 2010, « Long-term strategies and flexibility of organic farmers in southeastern France », *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8, 4, p. 305-318.
- DE BONNEVAL L., 1993, *Systèmes agraires systèmes de production. Vocabulaire français-anglais avec index en anglais*, INRA Editions, Paris, 285 p.
- DE LA TORRE A., RECOULES E., BLANC F., ORTIGUES-MARTY I., D' HOUR P., AGABRIEL J., 2015, « Changes in calculated residual energy in variable nutritional environments: An indirect approach to apprehend suckling beef cows' robustness », *Livestock Science*, 176, p. 75-84.
- DE VRIES J., 1985, « Analysis of historical climate-society interaction. », dans *Climate Impact Assessments*, John Wiley and Sons, New-York, Kates, R.W., Ausubel, J.H. Berberian, M. (Eds.), p. 273-291.
- DEDIEU B., 1991, « Le point de vue du zootechnicien », dans *André L. : Contrepoint*, INRA, Versailles, Landais E. (Ed.), p. 41-48.
- DEDIEU B., CHIA E., LECLERC B., TICHIT M., MOULIN C.-H., 2008, *L'élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*, Quae, (Update sciences et techniques), 296 p.
- DEDIEU B., DOBREMEZ L., TOURRAND J.-F., 2015, « L'intensification écologique à l'épreuve des interactions élevage-territoire », *22èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Elevage*, p. 313-320.
- DEDIEU B., FAVERDIN P., DOURMAD J.Y., GIBON A., 2008, « Système d'élevage, un concept pour raisonner les transformations de l'élevage », *INRA Productions Animales*, 21, p. 45-58.
- DEDIEU B., INGRAND S., 2010, « Incertitude et adaptation : cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage », *INRA Productions Animales*, 23, 1.
- DEDIEU B., SERVIERE G., 1999, « Caractériser et évaluer l'organisation du travail en élevage. La méthode "Bilan Travail" », *Façsade*, 1, p. 1-4.
- DELISSE M., 2013, « Vulnérabilité climatique et stratégies d'adaptation des systèmes d'élevage ovins allaitants sur la communauté du pays d'Aix », Mémoire de fin d'étude ingénieur, Montpellier, Montpellier SupAgro - Cerpam.
- DENT J.B., EDWARDS-JONES G., MCGREGOR M.J., 1995, « Simulation of ecological, social and economic factors in agricultural systems », *Agricultural Systems*, 49, 4, p. 337-351.
- DENT J.B., MCGREGOR M.J., 1994, *Rural and Farming Systems Analysis: European Perspectives*, Wallingford, CABI Publishing, 384 p.
- DÉQUÉ M., DREVETON C., BRAUN A., CARIOLLE D., 1994, « The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling », *Climate Dynamics*, 10, 4-5, p. 249-266.

DEVUN J., LHERM M., MOREAU J.-C., MOSNIER C., 2013, « Variabilité interannuelle des productions fourragères de 2000 à 2011. Analyse par région à partir d'observations en fermes », *Fourrages*, 215, p. 221-230.

DEYTIEUX V., MUNIER-JOLAIN N., CANEILL J., 2016, « Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-site studies. A review of methods », *European Journal of Agronomy*, 72, p. 107-126.

DIEPPOIS B., LAWLER D.M., SLONOSKY V., MASSEI N., BIGOT S., FOURNIER M., DURAND A., 2016, « Multidecadal climate variability over northern France during the past 500 years and its relation to large-scale atmospheric circulation », *International Journal of Climatology*.

DOBREMEZ L., BORG D., 2015, « L'agriculture en montagne - Évolutions 1988-2010 d'après les recensements agricoles », *Agreste. Les dossiers*, 26, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt et Irstea.

DOBREMEZ L., JOSIEN E., CAMACHO O., ANDRIEU N., 2008, « La sécurisation des systèmes fourragers et la réponse aux enjeux agri-environnementaux », dans *L'Élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*, Quae, Dedieu B., Chia E., Leclerc B., Moulin C.H., Tichit M. (Eds.) (Update Sciences & Technologies), p. 241-258.

DOBREMEZ L., NETTIER B., LEGEARD J.-P., CARAGUEL B., GARDE L., VIEUX S., LAVOREL S., DELLA-VEDOVA M., 2014, « Les alpages sentinelles. Un dispositif original pour une nouvelle forme de gouvernance partagée face aux enjeux climatiques », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 102, 2.

DOMPTAIL S., EASDALE M.H., YUERLITA, 2013, « Managing Socio-Ecological Systems to Achieve Sustainability: A Study of Resilience and Robustness », *Environmental Policy and Governance*, 23, 1, p. 30-45.

DORE T., LE BAIL M., MARTIN P., NEY B., ROGER-ESTRADE J., 2006, *L'agronomie aujourd'hui*, Quae, Paris, 367 p.

DUBEUF B., FLEURY P., JEANNIN B., 1995, « Diversité des fonctionnements fourragers et conséquences pour le conseil », *Fourrages*, 141, p. 19-32.

DUCLOS J.-C., MALLIN M., 1998, « Transhumance et biodiversité: Du passé au présent », *Revue de Géographie Alpine*, 86, 4, p. 89-101.

DUFOUR A., DEDIEU B., 2010, « Rapports au temps de travail et modes d'organisation en élevage laitier », *Cahiers Agricultures*, 19, 5, p. 377-382.

DUMONT B., FORTUN-LAMOTHE L., JOUVEN M., THOMAS M., TICHIT M., 2013, « Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century », *Animal*, 7, 6, p. 1028-1043.

DURAND Y., BRUN E., MÉRINDOL L., GUYOMARC'H G., LESAFFRE B., MARTIN E., 1993, « A meteorological estimation of relevant parameters for snow models », *Annals of Glaciology*, 18, p. 65-71.

DURAND Y., GIRAUD G., BRUN E., MÉRINDOL L., MARTIN E., 1999, « A computer-based system simulating snowpack structures as a tool for regional avalanche forecasting », *Journal of Glaciology*, 45, p. 469-484.

DURAND Y., GIRAUD G., ETCHEVERS P., MÉRINDOL L., LESAFFRE B., 2009, « Reanalysis of 47 Years of Climate in the French Alps (1958–2005): Climatology and Trends for Snow Cover », *Journal of applied meteorology and climatology*, 48, 12, p. 2487-2512.

DURAND Y., LATERNER M., GIRAUD G., ETCHEVERS P., LESAFFRE B., MÉRINDOL L., 2009, « Reanalysis of 44 Years of Climate in the French Alps (1958–2002): Methodology, Model Validation, Climatology, and Trends for Air Temperature and Precipitation », *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 3, p. 429-449.

DURU M., CHARRON M.H., CRUZ P., DESANGE M., JOUANY P., MARTIN G., THEAU J.P., ZEROUROU A., 2010, « Herb'sim : un modèle pour raisonner la production et l'utilisation de l'herbe », *Fourrages*, 201, p. 37-46.

DURU M., CRUZ P., THEAU J.P., 2010, « Évaluer la souplesse d'utilisation des prairies permanentes par la caractérisation de la composition fonctionnelle de la végétation et la phénologie des espèces », *Fourrages*, 201, p. 3-10.

DURU M., BOURGEOIS A., NOCQUET J., 1988, « Le système fourrager : un concept opératoire ? », *Fourrages*, 115, p. 251-272.

DURU M., FELTEN B., THEAU J.P., MARTIN G., 2012, « A modelling and participatory approach for enhancing learning about adaptation of grassland-based livestock systems to climate change », *Regional Environmental Change*, 12, 4, p. 739-750.

DURU M., GIBON A., OSTY P.-L., 1988, « Pour une approche renouvelée de l'étude du système fourrager », dans *Pour une agriculture diversifiée. Arguments, questions, recherches*, L'Harmattan, Paris, Jollivet, M. (Ed.), p. 35-48.

DURU M., HUBERT B., 2003, « Management of grazing systems: from decision and biophysical models to principles for action », *Agronomie*, 23, 8, p. 689-703.

EDEN C., 2004, « Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems », *European Journal of Operational Research*, 159, 3, p. 673-686.

ENDFIELD G.H., 2007, « Archival explorations of climate variability and social vulnerability in colonial Mexico », *Climatic Change*, 83, 1-2, p. 9-38.

ENGLE N.L., 2011, « Adaptive capacity and its assessment », *Global Environmental Change*, 21, 2, p. 647-656.

ENGLER R., RANDIN C.F., THUILLER W., DULLINGER S., ZIMMERMANN N.E., ARAÚJO M.B., PEARMAN P.B., LE LAY G., PIEDALLU C., ALBERT C.H., CHOLER P., COLDEA G., DE LAMO X., DIRNBÖCK T., GÉGOUT J.-C., GÓMEZ-GARCÍA D., GRYNES J.-A., HEEGAARD E., HØISTAD F., NOGUÉS-BRAVO D., NORMAND S., PUŞÇAŞ M., SEBASTIÀ M.-T.,



- STANISCI A., THEURILLAT J.-P., TRIVEDI M.R., VITTOZ P., GUIGAN A., 2011, « 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe », *Global Change Biology*, 17, 7, p. 2330-2341.
- ETIENNE M., HUBERT B., MSIKA B., 1994, « Sylvopastoralisme en région méditerranéenne », *Revue Forestière Française*, 46, Numéro spécial, p. 30-41.
- ETIENNE M., TOIT D.R. DU, POLLARD S., 2011, « ARDI: A co-construction method for participatory modeling in natural resources management », *Ecology and Society*, 16, 1.
- ETIENNE M., DOBREMEZ L., GUERIN G., RAPEY H., SIMON C., 2010, « Une modélisation d'accompagnement pour la gestion combinée des systèmes d'élevage et des milieux boisés sur le Causse du Larzac », *Cahiers Agricultures*, 19, 2, p. 84-89.
- EYCHENNE C., 2008a, « Les éleveurs et l'estive: Pour une approche compréhensive des pratiques pastorales », *Natures Sciences Societes*, 16, 2, p. 131-138.
- EYCHENNE C., 2008b, « Montagne versus haute montagne: Les recompositions territoriales du pastoralisme Ariégeois », *Sud-Ouest Europeen*, 25, p. 39-49.
- EYCHENNE C., 2006, *Hommes et troupeaux en montagne. La question pastorale en Ariège*, L'Harmattan, Paris, 320 p.
- EYCHENNE C., 2012, « Le plan de soutien au pastoralisme pyrénéen ou l'impossible territorialisation de l'action publique agricole ? », *Sud-Ouest européen*, 34, p. 21-38.
- EYCHENNE C., LAZARO L., 2014, « L'estive entre « biens communs » et « biens collectifs » », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 102, 2.
- FARRIÉ B., JOUVEN M., LAUNAY F., MOREAU J.-C., MOULIN C.-H., PIQUET M., TAVERNE M., TCHAKÉRIAN E., THÉNARD V., MARTIN G., 2015, « Rangeland Rummy – A board game to support adaptive management of rangeland-based livestock systems », *Journal of Environmental Management*, 147, p. 236-245.
- FAVIER C., 2014, « Vulnérabilité de l'élevage ovin pastoral au changement climatique dans les Préalpes orientales », Mémoire de fin d'étude ingénieur, Dijon, AgroSup Dijon - Cerpam.
- FEDERATION DES ALPAGES DE L'ISERE, 2016, « Le Projet associatif de la Fédération des Alpiges de l'Isère. Horizon 2021 ».
- FIORELLI C., DEDIEU B., PORCHER J., 2010, « Un cadre d'analyse des compromis adoptés par les éleveurs pour organiser leur travail \* », *Cahiers Agricultures*, 19, 5, p. 383-390.
- FISCHER M., VON FELTEN S., LAUBER S., 2012, « Heimfutterfläche - Schlüsselparameter der Sömmerungsnachfrage », *Agrarforschung Schweiz*, 3, 4, p. 194-201.
- FLAMANT J.C., BÉRANGER C., GIBON A., 1999, « Animal production and land use sustainability », *Livestock Production Science*, 61, 2, p. 275-286.
- FLEURY P., DUBEUF B., JEANNIN B., 1996, « Forage management in dairy farms: A methodological approach », *Agricultural Systems*, 52, 2-3, p. 199-212.

- FLEURY P., DUBEUF B., JEANNIN B., 1995, « Un concept pour le conseil en exploitation laitière : le fonctionnement fourrager », *Fourrages*, 141, p. 3-18.
- FOLKE C., CARPENTER S.R., WALKER B., SCHEFFER M., CHAPIN T., ROCKSTRÖM J., 2010, « Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability », *Ecology and Society*, 15, 4.
- FOLKE C., CARPENTER S., WALKER B., SCHEFFER M., ELMQVIST T., GUNDERSON L., HOLLING C.S., 2004, « Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management », *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 1, p. 557-581.
- FORNI N., 2000, « Herders and common property in evolution: An example from central Italy », *Land Reform, Land Settlement and Cooperatives*, 2000, 1, p. 44-55.
- FRANCIS C., LIEBLEIN G., GLIESSMAN S., BRELAND T.A., CREAMER N., HARWOOD R., SALOMONSSON L., HELENIUS J., RICKERL D., SALVADOR R., WIEDENHOEFT M., SIMMONS S., ALLEN P., ALTIERI M., FLORA C., POINCELOT R., 2003, « Agroecology: The Ecology of Food Systems », *Journal of Sustainable Agriculture*, 22, 3, p. 99-118.
- FUCHS S., BIRKMANN J., GLADE T., 2012, « Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: current approaches and future challenges », *Natural Hazards*, 64, 3, p. 1969-1975.
- GALLOPÍN G.C., 2006, « Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity », *Global Environmental Change*, 16, 3, p. 293-303.
- GARDE L., 1990, *Ressources pastorales en Haute Provence et modélisation de la relation végétation-troupeau*, Thèse de doctorat, Marseille, Faculté des sciences et techniques de Marseille St Jérôme, 170 p.
- GARDE L., 2015, « Des pratiques pastorales qui prennent sens au regard de l'agroécologie », *Séminaire de l'Association Française de Pastoralisme. L'agroécologie : Du nouveau pour le pastoralisme ? Montpellier, France*.
- GARDE L., BROSSE-GENEVET E., CARAGUEL B., DELLA-VEDOVA M., SENN O., 2014, « Evaluation du pâturage sur parcours et alpages », *Pastum*, 101, p. 12-17.
- GARDE L., DIMANCHE M., LASSEUR J., 2014, « Permanence et mutations de l'élevage pastoral dans les Alpes du Sud », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 102, 2.
- GAUJOUR E., AMIAUD B., MIGNOLET C., PLANTUREUX S., 2011, « Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review », *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 1, p. 133-160.
- GELLRICH M., BAUR P., ROBINSON B.H., BEBI P., 2008, « Combining classification tree analyses with interviews to study why sub-alpine grasslands sometimes revert to forest: A case study from the Swiss Alps », *Agricultural Systems*, 96, 1-3, p. 124-138.
- GIBBON D., 2012, « Methodological themes in Farming Systems Research and implications for learning in higher education », dans *Farming systems research into the 21st century: The new dynamic*, Springer, Dordrecht, Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B. (Eds), p. 95-115.

- GIBON A., SIBBALD A.R., FLAMANT J.C., LHOSTE P., REVILLA R., RUBINO R., SØRENSEN J.T., 1999, « Livestock farming systems research in Europe and its potential contribution for managing towards sustainability in livestock farming », *Livestock Production Science*, 61, 2–3, p. 121-137.
- GILIBERT J., 1991, « Tromperie sur la marchandise », dans *André L. : Contrepoint*, INRA, Versailles, Landais E. (Ed.), p. 27-30.
- GIRARD N., DURU M., HAZARD L., MAGDA D., 2008, « Categorising farming practices to design sustainable land-use management in mountain areas », *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 2, p. 333-343.
- GIRARD N., 1995, *Modéliser une représentation d'experts dans le champ de la gestion de l'exploitation agricole. Stratégies d'alimentation au pâturage des troupeaux ovins allaitants en région méditerranéenne.*, Thèse de doctorat, Lyon 1, 234 p.
- GIRARD N., 2006a, « Grilles-répertoires et cartes cognitives pour expliciter des « construits » dans des groupes », *Semaine de la Connaissance*, Nantes.
- GIRARD N., 2006b, « Catégoriser les pratiques d'agriculteurs pour reformuler un problème en partenariat Une proposition méthodologique », *Cahiers Agricultures*, 15, 3, p. 261-272.
- GIRARD N., BELLON S., HUBERT B., LARDON S., MOULIN C.-H., OSTY P.-L., 2001, « Categorising combinations of farmers' land use practices: an approach based on examples of sheep farms in the south of France », *Agronomie*, 21, 5, p. 435-459.
- GLIESSMAN S., 2007, *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*, CRC Press, Taylor and Francis, New-York, USA, 384 p.
- GORLIER A., LONATI M., RENNA M., LUSSIANA C., LOMBARDI G., BATTAGLINI L.M., 2013, « Changes in pasture and cow milk compositions during a summer transhumance in the western Italian Alps », *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 85, 2, p. 216-223.
- GOS P., LOUCOUGARAY G., COLACE M.-P., ARNOLDI C., GAUCHERAND S., DUMAZEL D., GIRARD L., DELORME S., LAVOREL S., 2016, « Relative contribution of soil, management and traits to co-variations of multiple ecosystem properties in grasslands », *Oecologia*, 180, 4, p. 1001-1013.
- GOTTFRIED M., PAULI H., FUTSCHIK A., AKHALKATSI M., BARANČOK P., BENITO ALONSO J.L., COLDEA G., DICK J., ERSCHBAMER B., FERNÁNDEZ CALZADO M.R., KAZAKIS G., KRAJČI J., LARSSON P., MALLAUN M., MICHELSEN O., MOISEEV D., MOISEEV P., MOLAU U., MERZOUKI A., NAGY L., NAKHUTSRISHVILI G., PEDERSEN B., PELINO G., PUSCAS M., ROSSI G., STANISCI A., THEURILLAT J.-P., TOMASELLI M., VILLAR L., VITTOZ P., VOGIATZAKIS I., GRABHERR G., 2012, « Continent-wide response of mountain vegetation to climate change », *Nature Climate Change*, 2, 2, p. 111-115.
- GOUTTENOIRE L., COURNUOT S., INGRAND S., 2011, « Modelling as a tool to redesign livestock farming systems: a literature review », *Animal*, 5, 12, p. 1957-1971.
- GOUTTENOIRE L., 2010, *Modéliser, partager, réinterroger. Une expérience participative pour accompagner les reconceptions de systèmes d'élevage*, Thèse de doctorat, Paris, L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), 193 p.

- GOUTTENOIRE L., COURNUT S., INGRAND S., 2010, « Building causal maps of livestock farming systems using a participatory method with dairy farmers », *9th European IFSA Symposium, Vienna, Austria*, p. 444-452.
- GRAUX A.-I., 2011, *Modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes prairiaux. Voies d'adaptation des systèmes fourragers*, thèse, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 367 p.
- GREBER N., SPERGSEER J., FINK P., NIGSCH A., 2010, « An outbreak of *Mycoplasma bovis* mastitis in dairy cows at alpine pasture », *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, 97, 9-10, p. 225-230.
- GRELLIER B., 2006, « A transhumant shepherd on Mount Aigoual: Sheep transhumance and the shepherd's knowledge », *International Social Science Journal*, 58, 187, p. 161-164.
- GROSS H., GIRARD N., MAGDA D., 2011, « Analyzing Theory and Use of Management Tools for Sustainable Agri-environmental Livestock Practices: The Case of the Pastoral Value in the French Pyrenees Mountains », *Journal of Sustainable Agriculture*, 35, 5, p. 550-573.
- GUERIN G., AGREIL C., 2007, « Qualifier les surfaces pastorales pour combiner le renouvellement des ressources alimentaires et la maîtrise des couverts végétaux. Acquis, enjeux et questions actuelles », *14èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Élevage*, p. 145-152.
- GUERIN G., BELLON S., 1990, « Analyse des fonctions des surfaces pastorales dans les systèmes fourragers en zone méditerranéenne », dans *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement n° 17*, INRA, Capillon A. (Ed.), p. 147-157.
- GUERIN G., GAUTIER D., 2004, « Gérer une diversité de végétations. Le cas des systèmes pastoraux méditerranéens », *Fourrages*, 178, p. 233-244.
- GUERIN G., GAUTIER D., 2005, « Reconnaître des temps et des espaces différents en estive », *Pastum*, 77, p. 30-33.
- GUERIN G., MOULIN C., TCHAKERIAN E., 2009, « Les apports de l'approche des systèmes pastoraux à la réflexion sur la gestion des ressources des zones herbagères », *Fourrages*, 200, p. 489-498.
- GUÉRINGER A., RAPEY H., HOUDART M., BIGOT G., JOSIEN E., LANDRÉ F., 2009, « Adaptability through spatial management: A case study of livestock farms in the Massif Central, France », *Outlook on Agriculture*, 38, 2, p. 111-118.
- GUNDERSON L.H., HOLLING C.S., 2002, *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Island Press, Washington DC, 450 p.
- HAGMANN J., CHUMA E., MURWIRA K., CONNOLLY M., FICARELLI P., 2002, « Success Factors in Integrated Natural Resource Management R&D: Lessons from Practice », *Ecology and Society*, 5, 2.
- HALLIDAY A., GLASER M., 2011, « A Management Perspective on Social Ecological Systems », *Research in Human Ecology*, 18, 1, p. 1-18.
- HARDIN G., 1968, « The Tragedy of the Commons », *Science*, 162, 3859, p. 1243-1248.

HMIMINA G., DUFRÊNE E., PONTAILLER J.-Y., DELPIERRE N., AUBINET M., CAQUET B., GRANDCOURT A. DE, BURBAN B., FLECHARD C., GRANIER A., GROSS P., HEINESCH B., LONGDOZ B., MOUREAUX C., OURCIVAL J.-M., RAMBAL S., SAINT ANDRÉ L., SOUDANI K., 2013, « Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements », *Remote Sensing of Environment*, 132.

HOLLING C.S., 1996, « Engineering resilience versus ecological resilience. », dans *Engineering within ecological constraints*, National Academy Press, Washington D.C., USA, Schulz P.C. (Ed.), p. 31-44.

HOLSTEN A., KROPP J.P., 2012, « An integrated and transferable climate change vulnerability assessment for regional application », *Natural Hazards*, 64, 3, p. 1977-1999.

HOMOLOVÁ L., MALENOVSKÝ Z., CLEVERS J.G.P.W., GARCÍA-SANTOS G., SCHAEPMAN M.E., 2013, « Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping », *Ecological Complexity*, 15, p. 1-16.

HUBERT B., GIRARD N., LASSEUR J., BELLON S., 1995, « Les systèmes d'élevage ovin préalpins, derrière les pratiques, des conceptions modélisables », dans *Pratiques d'élevage extensif. Identifier, modéliser, évaluer*, INRA, Landais E., Balent G. (Eds) (Etudes et Recherches sur les systèmes agraires et le développement), p. 351-386.

IKENAGA M., 2001, « The transition of alpine pasture management and the development of ecotourism in Hinterhornbach village, Tyrol, in the Austrian Alps », *Human Geography*, 53, 6, p. 48-65.

ILLGE L., SCHWARZE R., 2009, « A matter of opinion—How ecological and neoclassical environmental economists think about sustainability and economics », *Ecological Economics*, 68, 3, p. 594-604.

IMFELD-MUELLER S., 2013, « Nutztierhaltung auf der alp - Eine literaturübersicht », *Agrarforschung Schweiz*, 4, 5, p. 216-221.

IPCC, 2001, « Troisième Rapport d'évaluation du GIEC. Bilan 2001 des changements climatiques : Rapport de synthèse ».

IPCC, 2007, « Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change », Geneva, IPCC.

IPCC, 2012, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge University Press, Geneva, Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.), 582 p.

IPCC, 2013, « IPCC Fifth Assessment Report. Working Group I Report "Climate Change 2013: The Physical Science Basis" ».

IPCC, 2014a, « IPCC Fifth Assessment Report. "Climate Change 2014: Synthesis Report" ».

IPCC, 2014b, « IPCC Fifth Assessment Report. Working Group III Report "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change" ».

IPCC, 2014c, « IPCC Fifth Assessment Report. Working Group II Report “Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability” ».

ITIER B., SEGUIN B., 2007, « La sécheresse : caractérisation et occurrence, en lien avec le climat et l'hydrologie », *Fourrages*, 190, p. 147-162.

JACQUOT A.L., BAUMONT R., BRUNSWIG G., 2012, « Dynamilk: a farming system model to explore the balance between forage and milk production in grassland based systems. », *Producing and reproducing farming systems. New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow, 10th International Farming Systems Association Symposium, Aarhus DK*.

JACQUOT A.L., BLANC F., LACOUR C., BAUMONT R., BRUNSWIG G., AGABRIEL C., 2010, « Relations entre période de vèlages et conduite des surfaces fourragères : étude dans des élevages laitiers herbagers du Puy-de-Dôme », *17èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Élevage*, 17, p. 61.

JACQUOT A.-L.M., 2012, *Dynamilk : un simulateur pour étudier les compromis entre performances animales, utilisation des ressources herbagères et recherche d'autonomie alimentaire dans les systèmes bovins laitiers de montagne*, Thèse de doctorat, Clermont-Ferrand 2, 337 p.

JANSSEN M.A., SCHOON M.L., KE W., BÖRNER K., 2006, « Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change », *Global Environmental Change*, 16, 3, p. 240-252.

JARRIGE R., LOISEAU P., DE MONTARD F., GACHON L., MERLE G., RICOU G., DOUYER C., FERRET R., JOUIS M., BECHET G., MARTIN-ROSSET W., MOLENAT G., THERIEZ M., BRELURUT A., BRUN J.P., DUBROEUCQ H., 1979, « Effets du chargement sur une nardaie pâturée en rotation par des ovins », dans *Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et des parcours méditerranéens. 10èmes journées du Grenier de Theix*, INRA, Versailles, Molénat G. et Jarrige R. (Eds.), p. 68-95.

JEANNIN B., DORIOZ J.M., FLEURY P., 1991, « I-Typologie des prairies d'altitude des Alpes du Nord : méthode et réalisation », *Fourrages*, 128, p. 379-396.

JONAS T., RIXEN C., STURM M., STOECKLI V., 2008, « How alpine plant growth is linked to snow cover and climate variability », *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113, G3, p. n/a–n/a.

JOUGLET J.-P., 1999, *Les végétations des alpages des Alpes françaises du Sud. Guide technique pour la reconnaissance et la gestion des milieux pâturés d'altitude*, (Cemagref Editions), 205 p.

JOUVEN M., BAUMONT R., 2008, « Simulating grassland utilization in beef suckler systems to investigate the trade-offs between production and floristic diversity », *Agricultural Systems*, 96, 1–3, p. 260-272.

JUNG V., ALBERT C.H., VIOLLE C., KUNSTLER G., LOUCOUGARAY G., SPIEGELBERGER T., 2014, « Intraspecific trait variability mediates the response of subalpine grassland communities to extreme drought events », *Journal of Ecology*, 102, 1, p. 45-53.

KAUFMANN C., STEINMANN I.C., HEGGLIN D., SCHAFFNER F., MATHIS A., 2012, « Spatio-temporal occurrence of Culicoides biting midges in the climatic regions of Switzerland, along with large scale species identification by MALDI-TOF mass spectrometry », *Parasites and Vectors*, 5, 1.

- KEATING B.A., MCCOWN R.L., 2001, « Advances in farming systems analysis and intervention », *Agricultural Systems*, 70, 2–3, p. 555-579.
- KÖRNER C., 2003, *Alpine Plant Life Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 349 p.
- LAMINE C., RENTING H., ROSSI A., WISKERKE J.S.C. (HAN), BRUNORI G., 2012, « Agri-food systems and territorial development: innovations, new dynamics and changing governance mechanisms », dans *Farming systems research into the 21st century: The new dynamic*, Springer, Dordrecht, Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B. (Eds), p. 229-256.
- LANDAIS E., 1991, *André L. : Contrepoint (ouvrage collectif). Document de travail de l'URSA Versailles-Dijon-Mirecourt*, INRA, Versailles, Landais E., 140 p.
- LANDAIS E., BALENT G., 1995, « Introduction à l'étude des systèmes d'élevage extensifs », dans *Pratiques d'élevage extensif. Identifier, modéliser, évaluer*, INRA, Landais E., Balent G. (Eds) (Etudes et Recherches sur les systèmes agraires et le développement), p. 13-35.
- LANDAIS E., DEFFONTAINES J.P., 1988, *André L. : un berger parle de ses pratiques.*, INRA-URSA, 110 p.
- LARDON S., 2005, « Commentaire », *Natures Sciences Sociétés*, 13, 2, p. 177-179.
- LARDON S., MOONEN A.-C., MARRACCINI E., DEBOLINI M., GALLI M., LOUDIYI S., 2012, « The Territory Agronomy Approach in research, education and training », dans *Farming systems research into the 21st century: The new dynamic*, Springer, Dordrecht, Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B. (Eds), p. 257-280.
- LASSEUR R., VANNIER C., LEFEBVRE J., LONGARETTI P.-Y., LAVOREL S., 2014, « Utilisation de données MODIS pour l'identification de la mosaïque paysagère de la région grenobloise », *Colloque Sagéo, Grenoble, GDR Magis*.
- LAUNAY F., BAUMONT R., PLANTUREUX S., FARRIE J.P., MICHAUD A., POTTIER E., 2011, *Prairies permanentes : des références pour valoriser leur diversité*, Institut de l'Elevage, Paris, 133 p.
- LAVOREL S., GARNIER E., 2002, « Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail », *Functional Ecology*, 16, 5, p. 545-556.
- LAVOREL S., GRIGULIS K., LAMARQUE P., COLACE M.-P., GARDEN D., GIREL J., PELLET G., DOUZET R., 2011, « Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services », *Journal of Ecology*, 99, 1, p. 135-147.
- LAVOREL S., GRIGULIS K., MCINTYRE S., WILLIAMS N.S.G., GARDEN D., DORROUGH J., BERMAN S., QUÉTIER F., THÉBAULT A., BONIS A., 2008, « Assessing functional diversity in the field – methodology matters! », *Functional Ecology*, 22, 1, p. 134-147.
- LAVOREL S., SPIEGELBERGER T., MAUZ I., BIGOT S., GRANJOU C., DOBREMEZ L., NETTIER B., THUILLER W., BRUN J.-J., COZIC P., 2013, « Fostering Research into Coupled Long-Term Dynamics of Climate, Land Use, Ecosystems and Ecosystem Services in the Central French Alps », dans SINGH S.J., HABERL H., CHERTOW M., MIRTIL M., SCHMID M. (dirs.), *Long Term Socio-Ecological Research*, Springer-Verlag, Dordrecht,

Singh S.J., Haberl H., Chertow M., Mirtl M., Schmid M. (Eds.) (Human-Environment Interactions), p. 485-504.

LAZARO L., 2015, *Une approche relationnelle des externalités du pastoralisme collectif pyrénéen*, Thèse de doctorat, Toulouse, Université de Toulouse, 623 p.

LÊ S., JOSSE J., HUSSON F., 2008, « FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis », *Journal of Statistical Software*, 25, 1, p. 1-18.

LE MOIGNE J.L., 1977, *La théorie du système général. Théorie de la modélisation.*, Presses universitaires de France.

LE PAGE C., ABRAMI G., BARRETEAU O., BECU N., BOMMEL P., BOTTA A., DRAY A., MONTEIL C., SOUCHERE V., 2010, « Des modèles pour partager des représentations », dans *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, Quae, Etienne, M. (Ed.) (Update Sciences & Technologies), p. 71-101.

LEBART L., MORINEAU A., PIRON M., 1997, *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, Dunod, Paris, 497 p.

LELIEVRE F., SATGER S., SALA S., VOLAIRE F., 2009, « Analyse du changement climatique récent sur l'arc péri-méditerranéen et conséquences sur la production fourragère », *Changement climatique. Conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore*, Paris, Arvalis Institut du Végétal et Institut de l'Elevage, p. 7-21.

LEMAIRE G., PFLIMLIN A., 2007, « Les sécheresses passées et à venir : quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers ? », *Fourrages*, 190, p. 163-180.

LEMERY B., INGRAND S., DEDIEU B., DEGRANGE B., 2005, « Agir en situation d'incertitude : le cas des éleveurs de bovins allaitants », *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires*, 288, p. 57-69.

LIBISELLER R., FENZ H., KÖHLER H., 1986, « Zur Rinderkalzinose im niederösterreichischen Voralpengebiet », *Tierärztliche Praxis*, 14, 3, p. 313-324.

LIZET B., 1998, « Le génie des alpages. Paysage, vache, fromage en Abondance », *Revue de Géographie Alpine*, 86, 4, p. 35-50.

LONG S.P., AINSWORTH E.A., LEAKEY A.D.B., NÖSBERGER J., ORT D.R., 2006, « Food for Thought: Lower-Than-Expected Crop Yield Stimulation with Rising CO2 Concentrations », *Science*, 312, 5782, p. 1918-1921.

LOUCOUGARAY G., DOBREMÉZ L., GOS P., PAUTHENET Y., NETTIER B., LAVOREL S., 2015, « Assessing the Effects of Grassland Management on Forage Production and Environmental Quality to Identify Paths to Ecological Intensification in Mountain Grasslands », *Environmental Management*, 56, 5, p. 1039-1052.

LUERS A.L., 2005, « The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change », *Global Environmental Change*, 15, 3, p. 214-223.



LUERS A.L., LOBELL D.B., SKLAR L.S., ADDAMS C.L., MATSON P.A., 2003, « A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico », *Global Environmental Change*, 13, 4, p. 255-267.

MACÉ K., MORLON P., MUNIER-JOLAIN N., QUÉRÉ L., 2007, « Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops », *Agricultural Systems*, 93, 1-3, p. 115-142.

MACK G., FLURY C., 2014, « Wie wirken die neuen alpnungsbeiträge? », *Agrarforschung Schweiz*, 5, 3, p. 88-95.

MACK G., WALTER T., FLURY C., 2013, « Seasonal alpine grazing trends in Switzerland: Economic importance and impact on biotic communities », *Environmental Science and Policy*, 32, p. 48-57.

MADRELIEUX S., DEDIEU B., 2008, « Qualification and assessment of work organisation in livestock farms », *Animal*, 2, 3, p. 435-446.

MADRELIEUX S., DEDIEU B., DOBREMEZ L., GIRARD N., 2009, « Patterns of work organisation in livestock farms: The ATELAGE approach », *Livestock Science*, 121, 1, p. 28-37.

MADRELIEUX S., NETTIER B., DOBREMEZ L., 2010, « Revisiter la notion de stratégie d'adaptation des exploitations : étude de cas de diversification dans les Alpes », *Colloque « Agir en situation d'incertitude »*, Montpellier, France.

MARTIN G., FELTEN B., DURU M., 2011, « Forage rummy: A game to support the participatory design of adapted livestock systems », *Environmental Modelling & Software*, 26, 12, p. 1442-1453.

MARTIN G., HOSSARD L., THEAU J.P., THEROND O., JOSIEN E., CRUZ P., RELIER J.P., MARTIN-CLOUAIRE R., DURU M., 2009, « Characterizing potential flexibility in grassland use. Application to the French Aubrac area », *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 2, p. 381-389.

MARTINAND P., MILLO F., 2010, « Des pratiques d'un berger expérimenté à la construction d'outils d'aide à la gestion d'alpages », dans *Un savoir-faire de bergers*, Educagri-Quae, Dijon-Versailles, Meuret, M. (Ed.), p. 69-79.

MATHEVET R., PAGE C.L., ETIENNE M., LEFEBVRE G., POULIN B., GIGOT G., PRORÉOL S., MAUCHAMP A., 2007, « BUTORSTAR: A role-playing game for collective awareness of wise reedbed use », *Simulation & Gaming*, 38, 2, p. 233-262.

MAY R., DIJK J. VAN, FORLAND J.M., ANDERSEN R., LANDA A., 2008, « Behavioural patterns in ewe-lamb pairs and vulnerability to predation by wolverines », *Applied Animal Behaviour Science*, 112, 1-2, p. 58-67.

MEURET M., 2010a, « Stimuler l'appétit lors des circuits de garde : échange d'expériences entre un berger et un chevrier », dans *Un savoir-faire de bergers*, Educagri-Quae, Dijon-Versailles, Meuret, M. (Ed.), p. 149-165.

MEURET M., 2010b, « Modèle MENU : le berger vu comme un chef cuisinier », dans *Un savoir-faire de bergers*, Educagri-Quae, Dijon-Versailles, Meuret, M. (Ed.), p. 167-190.

- MEURET M., LEROY A., SURNON F., 1995, « Les formes de troupeau au pâturage. Genèse et diversité », dans *Pratiques d'élevage extensif. Identifier, modéliser, évaluer*, INRA, Landais E., Balent G. (Eds) (Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement), p. 199-216.
- MEURET M., PROVENZA F., 2014, *The Art & Science of Shepherding. Tapping the wisdom of French Herders*, Acres USA, Austin, TX, 434 p.
- MICHAUD A., CARRERE P., FARRUGGIA A., JEANGROS B., ORTH D., PAUTHENET Y., PLANTUREUX S., 2013, « Construire des typologies de prairies pour évaluer leur potentiel à rendre des services agro-environnementaux », *Fourrages*, 213, p. 35-44.
- MICHAUD D., 2003, « la vache laitière à haute qualité territoriale (VLHQT) », *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 48, p. 45-52.
- MILESTAD R., DARNHOFER I., 2003, « Building Farm Resilience: The Prospects and Challenges of Organic Farming », *Journal of Sustainable Agriculture*, 22, 3, p. 81-97.
- MILESTAD R., DEDIEU B., DARNHOFER I., BELLON S., 2012, « Farms and farmers facing change: The adaptive approach », dans *Farming systems research into the 21st century: The new dynamic*, Springer, Dordrecht, Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B. (Eds), p. 365-385.
- MILLER F., OSBAHR H., BOYD E., THOMALLA F., BHARWANI S., ZIERVOGEL G., WALKER B., BIRKMANN J., VAN DER LEEUW S., ROCKSTRÖM J., HINKEL J., DOWNING T., FOLKE C., NELSON D., 2010, « Resilience and vulnerability: Complementary or conflicting concepts? », *Ecology and Society*, 15, 3.
- MONTEIX P., NOTE P., ESPINASSE C., ANGLARD F., POMIES D., FARRUGGIA A., 2015, « Parcelis, un outil de gestion des données dans le cadre de l'expérimentation système Bota Pépi Parcelis, a data management tool in the context of the Bota Pepi system experiment », *22èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Élevage*, p. 362.
- MONTERRAT P., VILLAR L., 2007, « Ecología y gestión pastoral en el pirineo. Una perspectiva de medio siglo », *Pirineos*, 162, p. 89-107.
- MOREAU J.-C., DELABY L., DURU M., GUERIN G., 2009, « Démarches et outils de conseil autour du système fourrager : évolutions et concepts », *Fourrages*, 200, p. 565-586.
- MORGAN-DAVIES C., WATERHOUSE A., POLLOCK M.L., HOLLAND J.P., 2008, « Integrating hill sheep production and newly established native woodland: achieving sustainability through multiple land use in Scotland », *International Journal of Agricultural Sustainability*, 6, 2, p. 133-147.
- MORLON P., BENOIT M., 1990, « Etude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système », *Agronomie*, 6, p. 499-508.
- MOSNIER C., BOUTRY A., DEVUN J., LHERM M., 2013, « Sensibilité des élevages bovins et ovins viande aux aléas selon la place des prairies dans les systèmes fourragers », *Fourrages*, 213, p. 11-20.
- MOTTET A., LADET S., COQUÉ N., GIBON A., 2006, « Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114, 2-4, p. 296-310.

MOULIN C.H., FOREL E., LELIEVRE F., 2009, « Autonomie et robustesse des systèmes d'élevage en zone périméditerranéenne face aux évolutions de la variabilité climatique », *16èmes Rencontre Recherches Ruminants, Paris, INRA et Institut de l'Élevage*, p. 377.

MOULIN C., GIRARD N., DEDIEU B., 2001, « L'apport de l'analyse fonctionnelle des systèmes d'alimentation », *Fourrages*, 167, p. 337-363.

NAPOLEONE M., 1991, « D'une qui se souvient avoir gardé (extraits) », dans *André L. : Contrepoint*, INRA, Versailles, Landais E. (Ed.), p. 69-72.

NARDELLI S., FARINA G., LUCCHINI R., VALORZ C., MORESCO A., DAL ZOTTO R., COSTANZI C., 2008, « Dynamics of infection and immunity in a dairy cattle population undergoing an eradication programme for Infectious Bovine Rhinotracheitis (IBR) », *Preventive Veterinary Medicine*, 85, 1-2, p. 68-80.

NELSON D.R., ADGER W.N., BROWN K., 2007, « Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework », *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 1, p. 395-419.

NETTIER B., DUFOUR A., CHABRAT S., MADELRIEUX S., 2012, « Conversion to organic farming and consequences on work organisation and work perception », *Producing and reproducing farming systems. New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow, 10th International Farming Systems Association Symposium, Aarhus DK*, p. 9 p.

NETTIER B., DOBREMEZ L., BRUNSCHWIG G., 2014, « "Alpine Pasture-Farms System": a concept to analyse the management of alpine pastures », *Options Méditerranéennes, Série A*, 109, p. 717-720.

NETTIER B., DOBREMEZ L., BRUNSCHWIG G., 2015, « Prendre en compte les interactions entre alpages et exploitations dans les systèmes agropastoraux : une revue bibliographique », *INRA Productions Animales*, 28, 4, p. 329-340.

NETTIER B., DOBREMEZ L., COUSSY J.-L., ROMAGNY T., 2010, « Attitudes des éleveurs et sensibilité des systèmes d'élevage face aux sécheresses dans les Alpes françaises », *Revue de géographie alpine/Journal of Alpine Research*, 98, 4.

NETTIER B., DOBREMEZ L., FLEURY P., KOSMALA L., ORSINI M., PAUTHENET Y., SERES C., 2011, « Préservation de la biodiversité par les éleveurs : atouts et limites de la mesure agri-environnementale Prairies fleuries' » », *Fourrages*, 208, p. 283-292.

NETTIER B., DOBREMEZ L., LAMARQUE P., EVEILLEAU C., QUÉTIER F., VÉRON F., LAVOREL S., 2012, « How would farmers in the French Alps adapt their systems to different drought and socio-economic context scenarios? », *Producing and reproducing farming systems. New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow, 10th International Farming Systems Association Symposium, Aarhus DK*.

NETTIER B., DOBREMEZ L., LEGEARD J.-P., DELLAVEDOVA M., GARDE L., LAVOREL S., BRUNSCHWIG G., 2013, « Les Alpages Sentinelles : un dispositif d'observation innovant pour étudier les capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations dans un contexte de changement climatique. », *Journées de printemps de l'AFPF : Le changement climatique : incertitudes et opportunités pour les prairies et les systèmes fourragers, Paris*.

NETTIER B., DOBREMEZ L., TALICHET M., ROMAGNY T., LE POTTIER V., 2011, « Managing the summer alpine pastures in a context of recurrent droughts », *16th European Grassland Federation Symposium 2011 Grassland farming and land management systems in mountainous regions, Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria*, 16, p. 61-63.

NOURY J.-M., FOURDIN S., PAUTHENET Y., 2013, « Systèmes d'élevage et changement climatique : perceptions d'éleveurs et stratégies d'adaptation aux aléas », *Fourrages*, 215, p. 211-219.

NOZIERES M.O., 2014, *La commercialisation des produits, source de flexibilité pour les éleveurs?*, Thèse de doctorat, Montpellier, Montpellier Supagro, 238 p.

NOZIÈRES M.O., MOULIN C.H., DEDIEU B., 2011, « The herd, a source of flexibility for livestock farming systems faced with uncertainties? », *animal*, 5, 9, p. 1442-1457.

O'BRIEN K., LEICHENKO R., KELKAR U., VENEMA H., AANDAHL G., TOMPKINS H., JAVED A., BHADWAL S., BARG S., NYGAARD L., WEST J., 2004, « Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India », *Global Environmental Change*, 14, 4, p. 303-313.

OLEA P.P., MATEO-TOMÁS P., 2009, « The role of traditional farming practices in ecosystem conservation: The case of transhumance and vultures », *Biological Conservation*, 142, 8, p. 1844-1853.

OLLION E., 2015, *Evaluation de la robustesse des vaches laitières : entre aptitudes biologiques des animaux et stratégies de conduite des éleveurs*, Thèse de doctorat, Clermont-Ferrand, Clermont-Ferrand 2.

OLSSON P., FOLKE C., HAHN T., 2004, « Social-ecological transformation for ecosystem management: the development of adaptive co-management of a wetland landscape in southern Sweden », *Ecology and Society*, 9, 4.

ONERC, 2008, « Changement climatique dans les Alpes : impacts et risques naturels. », *Rapports techniques de l'ONERC*, 1.

OPPERER J., 1995, « Die Bedeutung des Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms für die extensive Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Sonderstandorte », *Telma*, 25, p. 123-128.

ORESQUES N., 2004, « The Scientific Consensus on Climate Change », *Science*, 306, 5702, p. 1686-1686.

ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE, 2011, « Guide des pratiques climatologiques ».

ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE, 2015, « Dix-septième Congrès météorologique mondial: rapport final abrégé et résolutions », Genève (Suisse).

OSTROM E., 1990, *governing the commons. The evolution of institutions for collective actions*, Cambridge University Press, 298 p.

OSTROM E., 2010, *Gouvernance des biens communs. Pour une nouvelle approche des ressources naturelles*, De Boeck Supérieur, Bruxelles (Planète en jeu), 301 p.

OSTY P.-L., 1978, « L'exploitation agricole vue comme un système », *Bulletin Technique Agricole*, 326, p. 43-49.

OSTY P.-L., LARDON S., DE SAINTE MARIE C., 1998, « Comment analyser les transformations de l'activité productrice des agriculteurs ? Propositions à partir des systèmes techniques de production », dans *Gestion des exploitations et des ressources rurales. Entreprendre, négocier, évaluer*, INRA, Brossier J., Dent B. (Ed.) (Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement), p. 397-413.

OTEROS-ROZAS E., ONTILLERA-SÁNCHEZ R., SANOSA P., GÓMEZ-BAGGETHUN E., REYES-GARCÍA V., GONZÁLEZ J.A., 2013, « Traditional ecological knowledge among transhumant pastoralists in Mediterranean Spain », *Ecology and Society*, 18, 3.

PASIN F., TCHOKOGUE A., 2001, « La flexibilité multiforme des entreprises de transport », *Revue française de gestion : hommes et techniques*, 132, p. 23-31.

PENATI C.A., TAMBURINI A., BAVA L., ZUCALI M., SANDRUCCI A., 2013, « Environmental impact of cow milk production in the central Italian Alps using Life Cycle Assessment », *Italian Journal of Animal Science*, 12, 4, p. 584-592.

PENZ H., 1984, « Stellung und Funktionswandel der Hochweidestufe in Tirol und im Trentino », dans *Beiträge zur vergleichenden Kulturgeographie der Hochgebirge*, p. 305-325.

PERRINGS C., 2006, « Resilience and sustainable development », *Environment and Development Economics*, 11, 4, p. 417-427.

PETIT M., 1978, « The farm household complex as an adaptive system », *Proceedings of the 4th Forschungssymposium des Lehrstuhls für Wirtschaftslehre des Landbaus, Arbeitsbericht 78/1, Institut für Landwirtschaftliche Betriebs- und Arbeitslehre, University of Kiel*, p. 57-70.

PETIT M., 1981, « Théorie de la décision et comportement adaptatif des agriculteurs », *Formation des agriculteurs et apprentissage de la décision, Dijon, ENSSAA, INPSA, INRA, INRAP*.

PETIT S., FLEURY P., VANSTEELANT J.-Y., 2005, *Agriculture, prairies de fauche et environnement dans le Massif Jurassien. Outil de diagnostic et de conseil. Guide technique 2005*, 51 p.

PETTORELLI N., VIK J.O., MYSTERUD A., GAILLARD J.-M., TUCKER C.J., STENSETH N.C., 2005, « Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change », *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 9, p. 503-510.

POISSON S., 2009, « Caractérisation des climats à venir, spatialisation sur le territoire français métropolitain et application en agronomie », *Changement climatique. Conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore, Paris, Arvalis Institut du Végétal et Institut de l'Élevage*, p. 59-69.

POLSKY C., NEFF R., YARNAL B., 2007, « Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram », *Global Environmental Change*, 17, 3-4, p. 472-485.

PREVOST F., QUIBLIER M., 1991, « Pratiques, gestion et développement », dans *André L. : Contrepoint*, INRA, Versailles, Landais E. (Ed.), p. 85-86.

- PROBST K., HAGMANN J., 2003, « Understanding participatory research in the context of natural resource management - paradigms, approaches and typologies », *Agricultural Research and Extension Network Paper*, 130.
- QUETIER F., 2006, *Vulnérabilité des écosystèmes semi-naturels européens aux changements d'utilisation des terres : application aux prairies subalpines de Villar d'Arène, France*, Thèse de doctorat, Montpellier, France, École nationale supérieure agronomique de Montpellier, 269 p.
- QUETIER F., RIVOAL F., MARTY P., CHAZAL J. DE, THUILLER W., LAVOREL S., 2009, « Social representations of an alpine grassland landscape and socio-political discourses on rural development », *Regional Environmental Change*, 10, 2, p. 119-130.
- QUINTANA-SEGUÍ P., LE MOIGNE P., DURAND Y., MARTIN E., HABETS F., BAILLON M., CANELLAS C., FRANCHISTEGUY L., MOREL S., 2008, « Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN Analysis over France », *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 1, p. 92-107.
- RAPEY H., DE MONTARD F.X., GUITTON J.L., 1994, « Ouverture de plantations résineuses au pâturage : implantation et production d'herbe dans le sous-bois après éclaircie », *Revue forestière française.*, 46, Numéro spécial, p. 19-29.
- RAWLINGS P., CAPELA R., PRO M.J., ORTEGA M.D., PENA I., RUBIO C., GASCA A., MELLOR P.S., 1998, « The relationship between climate and the distribution of *Culicoides imicola* in Iberia. », *Archives of virology. Supplementum*, 14, p. 95-102.
- REBER A., KREIENBROCK L., CASATI S., CHAIGNAT V., SCHWERMER H., 2012, « Putative risk factors for infections with Toggenburg Orbivirus in goat herds in Southern Switzerland (Canton of Ticino) », *Veterinary Microbiology*, 160, 1-2, p. 29-34.
- REED M.S., 2008, « Stakeholder participation for environmental management: A literature review », *Biological Conservation*, 141, 10, p. 2417-2431.
- REID R.S., FERNÁNDEZ-GIMÉNEZ M.E., GALVIN K.A., 2014, « Dynamics and resilience of rangelands and pastoral peoples around the globe », 39, p. 217-242.
- REIDSMA P., EWERT F., LANSINK A.O., 2007, « Analysis of farm performance in Europe under different climatic and management conditions to improve understanding of adaptive capacity », *Climatic Change*, 84, 3-4, p. 403-422.
- REIX R., 1979, *La flexibilité dans l'entreprise*, Cujas, Paris, 180 p.
- REY F., CÉCILLON L., CORDONNIER T., JAUNATRE R., LOUCOUGARAY G., 2015, « Integrating ecological engineering and ecological intensification from management practices to ecosystem services into a generic framework: a review », *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 0, p. 1335-1345.
- RICHARD-FERROUDJI A., 2008, *L'appropriation des dispositifs de gestion locale et participative de l'eau - Composer avec une pluralité de valeurs, d'objectifs et d'attachements*, phdthesis, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS).

- RIEDL H., 1984, « Vergleichende Untersuchungen zum Problem der anthropogen geseuerten landschaftsökologischen Entwicklung in den subalpinen Hohenstufen vorwiegend der Salzburger Alpen », *Wiener Geographische Schriften*, 59-60, p. 45-58.
- RIGOLOT C., ROTURIER S., DEDIEU B., INGRAND S., 2014, « Climate variability drives livestock farmers to modify their use of collective summer mountain pastures », *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 4, p. 1-9.
- ROMANZIN A., CORAZZIN M., PIASENTIER E., BOVOLENTA S., 2013, « Effect of rearing system (mountain pasture vs. indoor) of Simmental cows on milk composition and Montasio cheese characteristics », *Journal of Dairy Research*, 80, 4, p. 390-399.
- ROSSINI M., COGLIATI S., MERONI M., MIGLIAVACCA M., GALVAGNO M., Busetto L., CREMONESE E., JULITTA T., SINISCALCO C., MORRA DI CELLA U., COLOMBO R., 2012, « Remote sensing-based estimation of gross primary production in a subalpine grassland », *Biogeosciences*, 9, 7, p. 2565-2584.
- ROUMET J.P., FLEURY P., JEANNIN B., 1996, « Facteurs de variation et prévision de la production fourragère en zone de haute montagne », *Fourrages*, 145, p. 77-90.
- RUGET F., MOREAU J.-C., FERRAND M., POISSON S., GATE P., LACROIX B., LORGEOU J., CLOPPET E., SOUVERAIN F., 2010, « Describing the possible climate changes in France and some examples of their effects on main crops used in livestock systems », *Advances in Science and Research*, 4, p. 99-104.
- RUGET F., BERNARD F., DURAND J.L., GRAUX A.I., LACROIX B., MOREAU J.-C., RIPOCHE D., 2013, « Impacts des changements climatiques sur les productions de fourrages (prairies, luzerne, maïs) : variabilité selon les régions et les saisons », *Fourrages*, 214, p. 99-110.
- RUGET F., CLASTRE P., CLOPPET E., LACROIX B., LORGEOU J., MOREAU J.-C., SOUVERAIN F., 2012a, « Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. I- Estimation par modélisation et analyse critique », *Fourrages*, 210, p. 87-98.
- RUGET F., CLASTRE P., CLOPPET E., LACROIX B., LORGEOU J., MOREAU J.-C., SOUVERAIN F., 2012b, « Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. II- Exemples de quelques systèmes d'élevage », *Fourrages*, 211, p. 243-251.
- RUGET F., DURU M., GASTAL F., 1999, « Adaptation of annual crop model (STICS) to a perennial crop : grassland », *International symposium of modelling cropping system, Lleida*, p. 111-112.
- RUGET F., GRANGER S., NOVAK S., 2006, « Du modèle STICS au système ISOP pour estimer la production fourragère. Adaptation à la prairie, application spatialisée », *Fourrages*, 186, p. 241-256.
- RUHLAND K., GRÄNZER W., GROTH W., PIRCHNER F., 1999, « Blood levels of hormones and metabolites, erythrocytes and leukocytes and respiration and pulse rate of heifers after alpage », *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 116, 5, p. 415-423.
- RUMPF L., DUNCAN D.H., VESK P.A., KEITH D.A., WINTLE B.A., 2011, « State-and-transition modelling for Adaptive Management of native woodlands », *Biological Conservation*, 144, 4, p. 1224-1236.

SALOMONSON V.V., APPEL I., 2004, « Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index », *Remote Sensing of Environment*, 89, 3, p. 351-360.

SAUTIER M., 2013, *Outils de l'adaptation des élevages herbagers au changement climatique : de l'analyse de la vulnérabilité à la conception participative de systèmes d'élevage*, Thèse de doctorat, Toulouse, INPT, 193 p.

SAUTIER M., DURU M., MARTIN-CLOUAIRE R., 2013, « Caractérisation du changement et de la variabilité climatiques en vue de l'adaptation des systèmes fourragers à base d'herbe », *Fourrages*, 215, p. 201-209.

SAUTIER M., MARTIN-CLOUAIRE R., FAIVRE R., DURU M., 2013, « Assessing climatic exposure of grassland-based livestock systems with seasonal-scale indicators », *Climatic Change*, 120, 1-2, p. 341-355.

SAUVANT D., MARTIN O., 2010, « Robustesse, rusticité, flexibilité, plasticité... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage : définitions systémique et biologique des différents concepts », *INRA Productions Animales*, 23, 1, p. 5-10.

SAVINI I., LANDAIS É., 1991, « Comment gardent les autres bergers », dans *André L. : Contrepoint*, INRA, Versailles, Landais E. (Ed.), p. 57-64.

SAVINI I., LANDAIS E., THINON P., DEFFONTAINES J.-P., 1995, « L'organisation de l'espace pastoral. Des concepts et des représentations construits à dire d'experts dans une perspective de modélisation », dans *Pratiques d'élevage extensif. Identifier, modéliser, évaluer*, INRA, Landais E., Balent G. (Eds) (Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement), p. 137-160.

SAVINI I., LANDAIS E., THINON P., DEFFONTAINES J.-P., 2010, « Des pratiques d'un berger expérimenté à la construction d'outils d'aide à la gestion d'alpages », dans *Un savoir-faire de bergers*, Educagri-Quae, Dijon-Versailles, Meuret, M. (Ed.), p. 81-100.

SCHÄR C., VIDALE P.L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M.A., APPENZELLER C., 2004, « The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves », *Nature*, 427, 6972, p. 332-336.

SCHERMER M., DARNHOFER I., DAUGSTAD K., GABILLET M., LAVOREL S., STEINBACHER M., 2016, « Institutional impacts on the resilience of mountain grasslands: an analysis based on three European case studies », *Land Use Policy*, 52, p. 382-391.

SCHERRER D., KÖRNER C., 2010, « Infra-red thermometry of alpine landscapes challenges climatic warming projections », *Global Change Biology*, 16, 9, p. 2602-2613.

SCHULZ T., 2015, « An uphill struggle against scrub encroachment: Implementation of the alpine pasturing subsidy scheme in Switzerland », *Land Use Policy*, 42, p. 318-328.

SEGATO S., BALZAN S., ELIA C.A., LIGNITTO L., GRANATA A., MAGRO L., CONTIERO B., ANDRIGHETTO I., NOVELLI E., 2007, « Effect of period of milk production and ripening on quality traits of Asiago cheese », *Italian Journal of Animal Science*, 6, Suppl. 1, p. 469-471.

SEGUIN B., 2010, « Le changement climatique : conséquences pour les végétaux », *Quaderni. Communication, technologies, pouvoir*, 71, p. 27-40.



- SENEGACNIK J., 1987, « Some aspects of the alpine pasture economy in the Slovene Alps, Yugoslavia », *Nordia*, 21, 1, p. 71-76.
- SERES C., 2010a, « L'agriculture de montagne face au changement climatique : exposition des territoires et marges de manœuvre des exploitations laitières », *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 59, p. 19-32.
- SERES C., 2010b, « Changement climatique et agriculture d'élevage en zone de montagne: premiers éléments de réflexion », *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 58, p. 21-36.
- SINISCALCHI V., 2008, « Économie et pouvoir au sein du parc national des Écrins », *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, 50, p. 40-59.
- SITKO I., TROLL M., 2008, « Timberline changes in relation to summer farming in the Western Chornohora (Ukrainian Carpathians) », *Mountain Research and Development*, 28, 3-4, p. 263-271.
- SMIT B., BURTON I., KLEIN R.J.T., STREET R., 1999, « The Science of Adaptation: A Framework for Assessment », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, 3-4, p. 199-213.
- SMIT B., BURTON I., KLEIN R.J.T., WANDEL J., 2000, « An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability », *Climatic Change*, 45, 1, p. 223-251.
- SMIT B., PILIFOSOVA O., 2001, « Adaptation to climate change in the context of sustainable development. Chapter 18 », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptations, and Vulnerability - Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 877-912.
- SMIT B., PILIFOSOVA O., 2003, « From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, Imperial College Press, London, Smith, J.B., Klein, R.J.T., Huq, S. (Eds.), p. 9-28.
- SMIT B., WANDEL J., 2006, « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability », *Global Environmental Change*, 16, 3, p. 282-292.
- SMITH G.M., WYATT B.K., 2007, « Multi-scale survey by sample-based field methods and remote sensing: A comparison of UK experience with European environmental assessments », *Landscape and Urban Planning*, 79, 2, p. 170-176.
- SOANE I.D., SCOLOZZI R., GREYER A., HUBACEK K., 2012, « Exploring Panarchy in Alpine Grasslands: an Application of Adaptive Cycle Concepts to the Conservation of a Cultural Landscape », *Ecology and Society*, 17, 3.
- SOUBEYROUX J.-M., MARTIN E., FRANCHISTEGUY L., HABETS F., NOILHAN J., BAILLON M., REGIMBEAU F., VIDAL J.-P., LEMOIGNE P., MOREL S., 2008, « A hydrometeorological tool for operational monitoring and research: the Safran-Isba-Modcou application (SIM) », *La Météorologie*, 63, p. 40-45.
- SOULARD C.T., 2002, « Logiques d'ajustement de la fertilisation azotée et organisation spatiale des exploitations agricoles », *Séminaire « Géographie des pratiques agricoles » INRA liste Dijon, 8 novembre 2002.*

- SOULARD C.T., 2005a, « Les agriculteurs et la pollution des eaux. Proposition d'une géographie des pratiques Farmers and water pollution by nitrates. A geographical approach to agricultural practices », *Natures Sciences Sociétés*, 13, 2, p. 11.
- SOULARD C.T., 2005b, « La multifonctionnalité de l'agriculture en pratique : étude des relations entre exploitations agricoles et étangs de la Dombes. », *Cybergeo : European Journal of Geography*, 319, p. 1-12.
- SOULARD C.T., COMPAGNONE C., LEMERY B., 2007, « La recherche en partenariat : entre fiction et friction », *Natures Sciences Sociétés*, 15, 1, p. 13-22.
- SPERGSER J., MACHER K., KARGL M., LYSNYANSKY I., ROSENGARTEN R., 2013, « Emergence, re-emergence, spread and host species crossing of *Mycoplasma bovis* in the Austrian Alps caused by a single endemic strain », *Veterinary Microbiology*, 164, 3-4, p. 299-306.
- STURARO E., MARCHIORI E., COCCA G., PENASA M., RAMANZIN M., BITTANTE G., 2013, « Dairy systems in mountainous areas: Farm animal biodiversity, milk production and destination, and land use », *Livestock Science*, 158, 1-3, p. 157-168.
- TALLUTO M.V., BOULANGEAT I., AMEZTEGUI A., AUBIN I., BERTEAUX D., BUTLER A., DOYON F., DREVER C.R., FORTIN M.-J., FRANCESCHINI T., LIÉNARD J., MCKENNEY D., SOLARIK K.A., STRIGUL N., THUILLER W., GRAVEL D., 2016, « Cross-scale integration of knowledge for predicting species ranges: a metamodelling framework », *Global Ecology and Biogeography*, 25, 2, p. 238-249.
- TAN B., WOODCOCK C.E., HU J., ZHANG P., OZDOGAN M., HUANG D., YANG W., KNYAZIKHIN Y., MYNENI R.B., 2006, « The impact of gridding artifacts on the local spatial properties of MODIS data: Implications for validation, compositing, and band-to-band registration across resolutions », *Remote Sensing of Environment*, 105, 2, p. 98-114.
- TARONDEAU J.C., 1999, *La flexibilité dans les entreprises*, PUF, (Que sais-je ?), 126 p.
- TCHAKERIAN E., GUERIN G., MACRON M.-C., 2005, *Sylvopastoralisme : les clés de la réussite*, Institut de l'Élevage et Institut pour le Développement Forestier, (Technip), 78 p.
- TEISSIER J.H., 1979, « Relations entre techniques et pratiques », *Bulletin INRAP*, 38.
- TERRAY L., BRACONNOT P., 2007, « Lire Blanc ESCRIME (Etude des Scenarios Climatiques) », IPSL et Météo-France.
- TERRIER M., MADELRIEUX S., DUFOUR A., DEDIEU B., 2012, « Saisir la diversité des formes d'articulation entre la famille et l'exploitation agricole : une grille de lecture », *Revue d'Études en Agriculture et Environnement*, 93, 3, p. 299-322.
- THEAU J.P., CRUZ P., FALLOUR D., JOUANY C., LECLoux E., 2010, « Une méthode simplifiée de relevé botanique pour une caractérisation agronomique des prairies permanentes », *Fourrages*, 201, p. 19-25.

- THENAIL C., BAUDRY J., 2004, « Variation of farm spatial land use pattern according to the structure of the hedgerow network (bocage) landscape: a case study in northeast Brittany », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101, 1, p. 53-72.
- THEVENET C., DOBREMEZ L., FLEURY P., LARRERE R., 2006, « Insertion de contrats de préservation de la biodiversité dans des exploitations agricoles des Alpes du Nord », *Fourrages*, 188, p. 495-510.
- THILLET J.-J., SCHUELLER D., 2009, *Petit manuel de météo montagne*, Glénat, Grenoble, 192 p.
- THOM R., 1978, « Modélisation et scientificité », *Elaboration et justification des modèles*, 1, p. 21-29.
- THOMAS M., FORTUN-LAMOTHE L., JOUVEN M., TICHIT M., GONZALEZ-GARCIA E., DOURMAD J.-Y., DUMONT B., 2014, « Agro-écologie et écologie industrielle: Deux alternatives complémentaires pour les systèmes d'élevage de demain », *INRA Productions Animales*, 27, 2, p. 89-100.
- TICHIT M., DUMONT B., JOUVEN M., 2015, « L'agroécologie. Origine et bases scientifiques », *Séminaire de l'Association Française de Pastoralisme. L'agroécologie : Du nouveau pour le pastoralisme ? Montpellier, France*.
- TITTONELL P., 2014, « Livelihood strategies, resilience and transformability in African agroecosystems », *Agricultural Systems*, 126, p. 3-14.
- TROCON J.L., 1993, « Effets de l'alimentation hivernale des génisses sur les performances et la longévité des vaches », *INRA Productions Animales*, 6, 5, p. 345-356.
- TROMMENSCHLAGER J.-M., GAUJOUR E., FONTANA E., HARMAND M., FOISSY D., HUGUET J., BAZARD C., 2015, « Gérer et organiser les données agricoles et de recherche d'un site expérimental », *Cahier des Techniques de l'INRA*, 69, 69.
- TUCKER C.J., 1979, « Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation », *Remote Sensing of Environment*, 8, 2, p. 127-150.
- UCP PASTORALISME MEDITERRANEEN, 2008, *Le diagnostic pastoral « vulnérabilité »*, 8 p.
- VAN DEN BERGH J.C., 2001, « Ecological economics: themes, approaches, and differences with environmental economics », *Regional Environmental Change*, 2, 1, p. 13-23.
- VARENNE F., SILBERSTEIN M., 2013, *Modéliser et simuler. Epistémologies et pratiques de la modélisation et la simulation*, Editions matériologiques, Paris (Sciences et philosophie), 545 p.
- VIDAL J.-P., MARTIN E., FRANCHISTÉGUY L., HABETS F., SOUBEYROUX J.-M., BLANCHARD M., BAILLON M., 2010, « Multilevel and multiscale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite », *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 3, p. 459-478.
- VIEL C., GOUIN P., LOUIS O., ALOT C., 2008, « Use of Safran-Isba-Modcou model for flood forecasting », *La Météorologie. Revue de l'atmosphère et du climat*, 63, p. 46-51.
- VILLALBA D., RIPOLL G., RUIZ R., BERNUÉS A., 2010, « Long-term stochastic simulation of mountain beef cattle herds under diverse management strategies », *Agricultural Systems*, 103, 4, p. 210-220.

- VON FELTEN S., FISCHER M., LAUBER S., 2012, « Alpwirtschaft in der Schweiz: Befragungen zu situation und wahl der sömmerungsbetriebe », *Agrarforschung Schweiz*, 4, p. 186-193.
- WALKENHORST M., SPRANGER J., KLOCKE P., SCHÄREN W., 2005, « Risk factors contributing to udder health depression during alpine summer pasturing in Swiss dairy herds », dans *Mastitis in Dairy Production: Current Knowledge and Future Solutions*, Wageningen Academic Pub, Wageningen, Hogeveen, H. (Ed.), p. 642-648.
- WALKER B., CARPENTER S., ANDERIES J., ABEL N., CUMMING G., JANSSEN M., LABEL L., NORBERG J., PETERSON G.D., PRITCHARD R., 2002, « Resilience management in social-ecological systems: A working hypothesis for a participatory approach », *Ecology and Society*, 6, 1.
- WALKER B., GUNDERSON L., KINZIG A., FOLKE C., CARPENTER S., SCHULTZ L., 2006, « A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems », *Ecology and Society*, 11, 1.
- WALKER B.H., ABEL N., ANDERIES J.M., RYAN P., 2009, « Resilience, adaptability, and transformability in the Goulburn-Broken Catchment, Australia », *Ecology and Society*, 14, 1.
- WALKER B., HOLLING C.S., CARPENTER S.R., KINZIG A., 2004, « Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems », *Ecology and Society*, 9, 2.
- WALKER B., SALT D., 2006, *Resilience Thinking. Sustaining Ecosystems and people in a changing world.*, Island Press, Washington DC, 175 p.
- WALKER B., SALT D., 2012, *Resilience Practice. Building capacity to absorb disturbance and maintain function*, Island Press, 249 p.
- WEHRLI S., 1991, « Alpwirtschaftlicher Hochbau in Graubunden », *Mensuration, Photogrammetrie, Genie Rural*, 5, 91, p. 224-228.
- WESTOBY M., WALKER B., NOY-MEIR I., 1989, « Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. », *Journal of Range Management Archives*, 42, 4, p. 266-274.
- WEZEL A., BELLON S., DORÉ T., FRANCIS C., VALLOD D., DAVID C., 2009, « Agroecology as a science, a movement and a practice. A review », *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 4, p. 503-515.
- WISNER B., BLAIKIE P., CANNON T., DAVIS I., 2004, *At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Routledge, London, 134 p.
- WREFORD A., ADGER W.N., 2010, « Adaptation in agriculture: historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture », *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8, 4, p. 278-289.
- YOCOZ N.G., DELESTRADE A., LOISON A., 2010, « Impact des changements climatiques sur les écosystèmes alpins : comment les mettre en évidence et les prévoir ? », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 98-4.
- ZAN LOTRIC M., SALEHAR A., KOMPAN D., 2012, « Alpine dairy farming in connection with the Slovenian autochthonous Cika cattle », *EAAP Scientific Series*, 131, 1, p. 157-160.

ZENDRI F., STURARO E., RAMANZIN M., 2013, « Highland summer pastures play a fundamental role for dairy systems in an Italian alpine region », *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78, 3, p. 295-299.

ZERVAS G., 1998, « Quantifying and optimizing grazing regimes in Greek mountain systems », *Journal of Applied Ecology*, 35, 6, p. 983-986.

ZHANG W., RICKETTS T.H., KREMEN C., CARNEY K., SWINTON S.M., 2007, « Ecosystem services and dis-services to agriculture », *Ecological Economics*, 64, 2, p. 253-260.

# Liste des figures

Figure 1 : Plan du manuscrit de thèse .....	9
Figure 2 : Evolution de la température en surface observée entre 1901 et 2012 (IPCC 2013) .....	17
Figure 3 : Séries chronologiques simulées à partir de plusieurs modèles de 1950 à 2100 pour: a) l'évolution de la température annuelle moyenne du globe en surface par rapport à la période 1986-2005 (IPCC 2013) .....	18
Figure 4 : Températures moyennes annuelles et estivales (juin-juillet, août) en °C relevées sur les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m), de 1960 à 2015, et températures moyennes glissantes sur 15 ans. ....	20
Figure 5 : Changement climatique, variabilité, extrêmes et domaine d'adaptation (coping range) (Smit et al. 1999, Smit et Pilifosova 2001) .....	22
Figure 6 : Changements dans le climat moyen et la variabilité climatique (Smit et al. 2000, Smit et Pilifosova 2003) .....	22
Figure 7 : Evolution des écarts-type glissants sur 15 ans de la température moyenne annuelle et estivale (juin, juillet, août) en °C relevée pour les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m).....	24
Figure 8 : Déficits hydriques (évapotranspiration potentielle – précipitations) durant la période de végétation (mars-septembre) pour les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m) .....	25
Figure 9 : Variations du rendement annuel de la prairie (par rapport au rendement local présent, en tonnes de matière sèche/ha) établi avec le modèle STICS pour différentes stations en France et pour 3 séries climatiques, avec (a) ou sans (b) prise en compte de l'effet du CO2 (moyenne sur 27 ans, stations regroupées selon 8 zones de climats similaires) (Rugé et al. 2013 p. 214).....	28
Figure 10 : Découpage en secteur et quartiers d'un alpage dans le Parc national des Ecrins. Source : CERPAM ; fond topo IGN .....	35
Figure 11 : Grille d'évaluation de la pression de pâturage du CERPAM (Garde et al. 2014a).....	38
Figure 12 : Habitats d'intérêts communautaires et préconisations de gestion visant à maîtriser la dynamique du queyrellin (pelouses à <i>Festuca paniculata</i> ) (source : Parc national des Ecrins et CERPAM).....	39
Figure 13 : Démarche d'ensemble de la modélisation.....	44
Figure 14 : Le triptyque hommes-troupeaux-ressources de l'approche des systèmes d'élevage (Dedieu et al. 2008b), décliné vis-à-vis de la problématique de l'adaptation au changement climatique en alpage .....	45
Figure 15 : Les articulations alpages-exploitations dans les articles sélectionnés au cours d'une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations : nombre d'articles identifiés pour chaque domaine de préoccupation et thématique étudiés (Nettier et al. 2015). ....	51
Figure 16 : Les approches choisies dans les articles analysés au cours d'une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations : nombre d'articles identifiés selon les thématiques abordées (Nettier et al. 2015).....	51
Figure 17 : Evolution des thématiques abordées au cours du temps dans les articles analysés au cours d'une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations (Nettier et al. 2015).....	52

Figure 18 : changement de perspective permis par le système alpage-exploitations (d'après Nettier et al. 2015).....	59
Figure 19 : Extrait d'une carte causale établie avec un groupe d'agriculteurs impliqués dans une démarche de reconception de leurs systèmes d'élevage ; la carte complète contenait 178 concepts et 304 liens. D'après Gouttenoire et al. (2010).....	62
Figure 20 : Modèle d'état et de transition représentant les dynamiques des couverts végétaux selon différentes modalités d'intervention sur le plateau du Larzac (d'après Etienne et al. 2010).....	63
Figure 21 : démarche de modélisation et structure du modèle .....	64
Figure 22 : Les 25 alpages des quatre territoires du dispositif Alpages Sentinelles suivis entre 2008 et 2014.....	80
Figure 23 : Les 34 exploitations des quatre territoires du dispositif Alpages Sentinelles suivies entre 2008 et 2014. – les exploitations sont représentées par l'emplacement du bâtiment d'élevage principal.....	81
Figure 24 : Séance de modélisation participative du 4 février 2015 (Crédit photo : R. Bonet) .....	84
Figure 25 : Déroulement du processus de modélisation participative .....	85
Figure 26 : Nombre d'alpages par classe de nombre d'UGB présentes au 15 juillet, par département dans le massif alpin (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d'estive).....	89
Figure 27 : Nombre d'alpages par classe de chargement (en journées UGB pâturant/ha), par département dans le massif alpin (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d'estive) .....	89
Figure 28 : Nombre d'alpages par classes d'étagement altitudinal, par département dans le massif alpin (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d'estive) .	90
Figure 29 : Contribution de différents types de végétation à l'alimentation du troupeau des exploitations suivies dans le réseau Alpages Sentinelles, en % de journées UGB sur l'année civile. ...	92
Figure 30 : Températures moyennes, cumul de précipitations et déficit hydrique (ETP –P) par saison météorologique relevés à la station Météo France sur les stations Météo France de Bourg St Maurice (Savoie, 965 m) et Embrun (Hautes-Alpes, 871 m) de 2008 à 2015, et normales 1981-2010.....	96
Figure 31 : Démarche générale mise en œuvre dans la thèse .....	98
Figure 32 : Structuration d'ensemble du modèle .....	101
Figure 33 Découpage fonctionnel d'un alpage du Parc national des Ecrins en secteurs et quartiers (d'après Savini et al. 1995), et niveau du système alpage-exploitations, illustré avec le parcellaire de trois exploitations utilisatrices de l'alpage.....	106
Figure 34 : Les huit types de saisons-pratiques dans les zones d'altitude moyenne et basse du Sud de la France (Bellon et al. 1999).....	108
Figure 35 : Un exemple d'analyse des saisons-pratiques sur un cas d'élevage ovin viande des Préalpes du Sud (Bellon et al. 1999). .....	110
Figure 36 : représentation schématique des saisons-pratiques sur un système alpage-exploitations type comprenant une exploitation de montagne et une exploitation de plaine.....	111
Figure 37 : La combinaison des modes d'exploitation parcellaire pour sécuriser le pâturage (Bellon et al. 1999, Guérin et al. 2009). .....	112
Figure 38 : Carte causale de l'effet des paramètres climatiques sur les ressources d'alpage à l'échelle d'une saison d'alpage .....	115
Figure 39 : Diagramme de présentation des résultats de l'effet année, issu des travaux de Jonas et al., (2008) .....	116

Figure 40 : carte causale de l'effet des pratiques sur les végétations d'alpage au cours d'une année .....	118
Figure 41 : Carte causale de l'effet des paramètres météorologiques sur les ressources des exploitations agricoles.....	121
Figure 42 : Typologie fonctionnelle des végétations d'alpages ; fonctions habituelles et sensibilités aux aléas climatiques .....	122
Figure 43 : Sensibilité des types fonctionnels de végétations aux pratiques pastorales.....	123
Figure 44 : Correspondance entre la typologie fonctionnelle de végétation construite et deux typologies utilisées dans les Alpes du Nord (Bornard et al. 2006).....	124
Figure 45 : Correspondance entre la typologie fonctionnelle de végétation construite et deux typologies utilisées dans les Alpes du Sud (Jouglet 1999). .....	125
Figure 46 : Hypothèses d'évolution de la végétation - Représentation schématique des filiations dynamiques entre types - (Brau-Nogué 1996).....	127
Figure 47: Modèle d'état et de transition représentant l'effet des pratiques pastorales et du climat sur la dynamique des végétations d'alpages. Construction à dire d'expert .....	129
Figure 48 : Carte des massifs homogènes du modèle SAFRAN-Crocus, et position des 25 alpages sentinelles de notre échantillon (Source : Météo France CNRM-GAME) .....	138
Figure 49 : Evolution au cours d'une année des signaux NDSI et NDVI, et mode de calcul de la date de déneigement ( $T_{SNOWmelt}$ ), de la date d'enneigement ( $T_{SNOWfall}$ ), date du pic de végétation ( $T_{NDVI_{max}}$ ), production au pic de végétation ( $NDVI_{max}$ ), et production globale sur la saison ( $NDVI_{int,g} + NDVI_{int,s}$ ) (Choler 2015) .....	140
Figure 50 : Dates (nombre de jours à partir du 1 <sup>er</sup> janvier) où sont atteints, en moyenne sur la période 2000-2012, les 600 degrés-jours à partir du déneigement (indicateur retenu de maturité des végétations) et découpage en quartiers bas et hauts sur l'alpage PON, avec une résolution spatiale de 500m ; données sources : MODIS et SAFRAN – Traitement Irstea-LECA – Fond Carto IGN SCAN 25 – contours des quartiers Cerpam.....	141
Figure 51 : Températures moyennes annuelles relevées à la station Météo France d'Embrun (Hautes-Alpes), de 1960 à 2013, et températures moyennes glissantes sur 5, 10, et 15 ans .....	143
Figure 52 : Carte causale décrivant les effets de la météorologie sur la dynamique annuelle des ressources sur les alpages, et indicateurs agrométéorologiques associés .....	147
Figure 53 : Etalement de la date de déneigement, en jour julien, sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles, en moyenne de 2000 à 2012 – Données MODIS, traitement Irstea-LECA. ....	154
Figure 54 : Variabilité interannuelle, entre 2000 et 2012, de la date de déneigement sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles, en jours julien (moyenne des différents pixels de chaque groupe de quartier, chaque année) – Données MODIS, traitement Irstea-LECA.....	155
Figure 55 : Variabilité interannuelle entre 2000 et 2012, du nombre de jours de gel ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) au printemps après le déneigement, sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles (moyenne des différents pixels de chaque groupe de quartiers, chaque année) – Données SAFRAN et MODIS, traitement Irstea-LECA .....	156
Figure 56 : Variabilité interannuelle entre 2000 et 2012, du bilan hydrique (P - ETP) du mois de juillet, en mm sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles (moyenne des différents pixels de chaque groupe de quartiers, chaque année) – Données SAFRAN, traitement Irstea-LECA .....	157
Figure 57 : Variabilité spatiale (d'un alpage à l'autre) du niveau du bilan hydrique(P-ETP) du mois d'août, en mm, sur les quartiers bas et hauts des alpages sentinelles, en moyenne de 2000 à 2012 – Données SAFRAN, traitement Irstea-LECA.....	157



Figure 58 : Matrice des corrélations des 15 indicateurs agrométéorologiques et des 3 indicateurs NDVI calculés sur l'ensemble des couples « pixels-années » des alpages, de 2000 à 2012 .....	159
Figure 59 : Dates où sont atteints les 300 degrés-jours et dates de déneigement pour les différents couples pixels-année sur les alpages, en jours julien ; droite de régression linéaire pour l'ensemble des points (en rouge) et pour les déneigements intervenant au-delà du 100 <sup>ème</sup> jour (en vert).....	160
Figure 60 : Relations entre la date où sont atteints les 300 degrés-jours et respectivement les 600 et 900 degrés-jours pour les couples pixel-année de l'étude, et régressions linéaires associées. ....	162
Figure 61 : Etalement moyen de la date où sont atteints respectivement 300, 600 et 900 degrés-jours, sur les alpages sentinelles, en distinguant quartiers bas et quartiers hauts ; dates moyennes où est atteint le premier quartile pour les quartiers bas et hauts. ....	163
Figure 62 : Relation entre la date de déneigement et l'exposition au gel printanier après déneigement ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) pour les 8174 couples pixels-années retenus dans l'analyse.....	165
Figure 63 : relations entre le nombre d'épisodes de gel ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) subis 300 degrés-jours et 900 degrés-jours après le déneigement pour les couples pixel-année retenus dans l'analyse.....	165
Figure 64 : nombre d'épisodes de gel automnal ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) subi sur les différents couples pixel-année, selon leur date de réenneigement. ....	167
Figure 65 : Variabilité interannuelle de l'exposition au gel automnal des quartiers bas et hauts des différents alpages suivis (nombre de jours de gel $< -5^{\circ}C$ subis en moyenne sur l'ensemble des quartiers bas ou hauts) .....	168
Figure 66 : variabilité interannuelle du bilan hydrique, par groupes de quartiers bas et hauts, 600 degrés-jours après le déneigement.....	169
Figure 67 : Analyse des corrélations entre bilan hydrique du déneigement à la date où sont atteints les 600 degrés-jours (= « maturité » sur l'axe du graphique), et valeur du pic de NDVI pour les 8174 couples pixel-année retenus dans l'analyse.....	170
Figure 68 : Analyse des corrélations entre bilan hydrique du déneigement à la date où sont atteints les 600 degrés-jours (= « maturité » sur l'axe du graphique), et valeur du pic de NDVI pour les 984 couples pixel-année pour lesquels le bilan hydrique est négatif. ....	171
Figure 69 : variabilité interannuelle du bilan hydrique par groupes de quartiers bas des alpages sur les mois de juillet, août, et septembre .....	172
Figure 70 : Corrélogramme commenté, récapitulatif des conclusions établies au cours de l'analyse des corrélations entre les différents indicateurs agrométéorologiques.....	173
Figure 71 : Positionnement schématique des alpages selon les 3 classes de niveau moyen d'exposition à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des alpages selon leurs classes dans la CAH .....	178
Figure 72 : Positionnement schématique des alpages selon leur classe de variabilité climatique, à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des alpages selon leurs classes dans la CAH .....	181
Figure 73 : Positionnement schématique des 4 types d'alpages à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des alpages selon la typologie.....	184
Figure 74 : Carte causale décrivant les effets de la météorologie sur la dynamique annuelle des ressources utilisées par les exploitations (hors alpages), et indicateurs agrométéorologiques associés .....	187
Figure 75 : Enchaînement des saisons-pratiques au cours d'une année civile en fonction de la température minimale et du bilan hydrique.....	188

Figure 76 : Positionnement schématique des exploitations selon les 4 classes de climats moyens à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des exploitations selon leur classe dans la CAH (localisation du point SAFRAN retenu pour l'analyse) .....	192
Figure 77 : Positionnement schématique des exploitations selon les 4 classes de variabilité climatique à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des exploitations selon leur classe dans la CAH (localisation du point SAFRAN retenu pour l'analyse) .....	195
Figure 78 : Positionnement schématique des exploitations selon leur type d'exposition aux aléas climatiques à partir du plan factoriel 1-2 de l'ACP et variables principales représentées sur les axes ; localisation géographique des exploitations (localisation du point SAFRAN retenu pour l'analyse) .	199
Figure 79 : Positionnement des couples alpage-exploitations utilisatrices des alpages sentinelles dans la double typologie d'exposition aux aléas climatiques des alpages (en colonnes) et des exploitations (en ligne).....	202
Figure 80 : flux d'ovins transhumants vers les différents départements - Source : enquête pastorale 2014.....	204
Figure 81 : caractérisation des principaux aléas climatiques auxquels sont exposés les couples alpage-exploitation et auxquels les systèmes alpage-exploitations sont susceptibles d'être sensibles. Les types CHP et AVA ont été regroupés.....	207
Figure 82 : représentation schématique de l'étagement altitudinal des espaces utilisée par le système alpage-exploitation ROS.....	209
Figure 83 : Récoltes et achats de fourrage sur l'exploitation GF, de 2010 à 2014.....	210
Figure 84 : Parcellaire utilisé par les exploitations EL et ET du système alpage-exploitation DIS. ....	211
Figure 85 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitations CHP .....	221
Figure 86 : Composition des stocks annuels sur l'exploitation MF .....	223
Figure 87 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitation CRO.....	227
Figure 88 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitation DAR.....	230
Figure 89 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitations PON.....	234
Figure 90 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitations .....	238
Figure 91 : Représentation schématique de l'enchaînement des saisons-pratiques pour le système alpage-exploitations .....	240
Figure 92 : Stocks de foin récoltés et achetés chaque année sur l'exploitation JB.....	241
Figure 93 : Photo aérienne des prés de fauche irrigués sur les parcelles des exploitations du système AUS, en Maurienne, à gauche (asperseurs), et sur l'exploitation CHP-LA, dans la Crau, à droite (canaux et irrigation gravitaire). Soucre : IGN.....	247
Figure 94 : Evolution des dates de première mise à l'herbe et de première montée sur l'alpage sentinelle en nombre de jours, entre 2012 et 2013 pour les exploitations suivies ces deux années.	249
Figure 95 : Classement des systèmes alpage-exploitations selon les types d'ajustements mobilisés ; situations au 1 <sup>er</sup> janvier 2015 .....	251

Figure 96 : Système alpage-exploitation LAN, système alpage-exploitations illustratif de la logique de type 1, ne réalisant que des ajustements intra saisons-pratiques.....	253
Figure 97 : Système alpage-exploitations BAL, système alpage-exploitations illustratif de la logique de type 2, ne réalisant pratiquement que des ajustements inter saisons-pratiques .....	255
Figure 98 : Système alpage-exploitations JOC, illustratif du type 3, réalisant des soudures en complément des régulations.....	257
Figure 99 : Représentation schématique des trois logiques d’ajustement identifiées au travers d’une lecture en termes de saisons-pratiques .....	259

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Thématiques abordées et approches retenues dans les articles analysés au cours d’une revue bibliographique portant sur les interactions entre alpages et exploitations (Nettier et al. 2015). .....	49
Tableau 2 : Collectif d’experts mobilisés durant les phases de modélisation participative et les entretiens individuels .....	84
Tableau 3 : Caractéristiques des alpages de l’échantillon étudié .....	87
Tableau 4 : Orientation des alpages dans l’enquête pastorale (Source : enquête pastorale 2012-2014 ; ensemble des unités pastorales à fonction d’estive) .....	88
Tableau 5 : Caractéristiques des exploitations suivies .....	91
Tableau 6 : les cinq échelles spatiales et temporelles de gestion du système alpage-exploitations .	105
Tableau 7 : indicateurs agrométéorologiques retenus pour l’analyse du climat des alpages .....	151
Tableau 8 : indicateurs de développement de la végétation calculés à partir du signal NDVI satellitaire .....	153
Tableau 9 : Variables mobilisées dans les trois ACP de caractérisation de l’exposition aux aléas climatiques des 25 alpages sentinelles .....	176
Tableau 10 : Valeur moyenne des variables d’exposition aux aléas climatiques au sein de chaque type .....	185
Tableau 11 : règles de décision construites pour définir les dates de début de saison-pratiques .....	188
Tableau 12 : Variables définies pour les ACP de caractérisation de l’exposition aux aléas climatiques sur les 34 exploitations de l’échantillon .....	190
Tableau 13 : Valeurs moyennes et écarts-types des variables par type d’exposition aux aléas climatiques des exploitations .....	200
Tableau 14 : Choix des systèmes alpage-exploitations dont nous présentons en détail une analyse de la vulnérabilité .....	219
Tableau 15 : Achats de foin, poids des stocks dans l’alimentation et délocalisation d’une partie du troupeau en hiver : importance relative dans les systèmes alpage-exploitations du réseau Alpages sentinelles.....	245
Tableau 16: Critères génériques susceptibles de conférer de la résilience à un système socio-écologique, d’après Walker et Salt (2012) .....	266
Tableau 17 : éléments conférant de la résilience aux différents niveaux de gestion des alpages ; pour chaque élément, le critère générique identifié par Walker et Salt (2012) est précisé entre crochets. .....	269
Tableau 18 : Comparaison de la façon dont est mobilisée la diversité des végétations aux différents niveaux de gestion sur deux alpages ovins individuels du dispositif Alpages Sentinelles .....	273
Tableau 19 : Comparaison de la gestion sur deux alpages ovins collectifs .....	274



# Table des matières

Introduction.....	1
<b>Première partie : Comment analyser l'adaptation au changement climatique des alpages ?</b>	
1 Problématique de l'adaptation au changement climatique sur les alpages.....	13
1.1 Les alpages : des espaces agricoles pas comme les autres.....	15
1.2 Le changement climatique : une réalité sur l'ensemble du globe, avec des spécificités en montagne.....	17
1.2.1 Des changements déjà marqués à l'échelle planétaire.....	17
1.2.2 Conséquences du réchauffement climatique en montagne et dans les Alpes.....	18
1.2.3 Evolution de la variabilité climatique.....	21
1.2.4 Evolution de la variabilité climatique dans les Alpes Françaises.....	23
1.3 L'adaptation au changement climatique pour les activités d'élevage.....	26
1.3.1 Concept d'adaptation.....	26
1.3.2 Impact, opportunités et menaces de la tendance moyenne du changement climatique pour l'élevage.....	26
1.3.3 Adaptation de l'élevage à la recrudescence des aléas climatiques.....	28
1.3.3.1 Les systèmes d'élevage extensifs seraient particulièrement vulnérables aux aléas climatiques.....	29
1.3.3.2 ... ils disposent pourtant de marges de manœuvre importantes.....	29
1.3.4 Leviers activés par les systèmes d'élevage utilisateurs des alpages face aux aléas climatiques.....	30
1.4 Spécificités des impacts et de l'adaptation au changement climatique sur les alpages.....	31
1.4.1 Gestion de la recrudescence des aléas climatiques.....	32
1.4.2 Gestion de la co-évolution progressive du climat et des milieux.....	33
1.4.3 Quelques impacts du changement climatique que nous n'abordons pas.....	34
1.5 Des cadres d'analyse inadaptés pour traiter de l'adaptation au changement climatique sur les alpages.....	34
1.5.1 Les outils d'analyse du fonctionnement d'un alpage.....	34
1.5.2 Limites des outils et cadres d'analyse actuels de la gestion pour traiter la question de l'adaptation au changement climatique.....	36
1.6 Synthèse.....	40
2 Construire un modèle pour renouveler les cadres d'analyse du fonctionnement des alpages ...	41
2.1 Modéliser : adopter un regard orienté sur un objet.....	43

2.2	Définir les contours du système .....	44
2.2.1	Le système d'élevage comme cadre d'analyse .....	44
2.2.2	Comment sont abordées les interactions entre alpages et exploitations dans la littérature ?.....	46
2.2.2.1	Démarche .....	46
2.2.2.2	Thématiques abordées dans la littérature et approches retenues.....	50
2.2.2.3	Articulation alpages-exploitations vis-à-vis d'un usage agricole au cours d'un cycle de production .....	52
2.2.2.3.1	Fonction alimentaire de l'alpage.....	52
2.2.2.3.2	Effets de l'alpage sur la qualité des produits .....	53
2.2.2.3.3	Gestion sanitaire du troupeau inalpé.....	54
2.2.2.4	Articulation alpages-exploitations pour une gestion durable des végétations d'alpage	54
2.2.2.4.1	Evolution des systèmes d'élevage et des pratiques, et conséquences sur les végétations d'alpage .....	54
2.2.2.4.2	Diversité et complémentarité des ressources.....	55
2.2.2.5	Articulation alpages-exploitations et multiusage de l'alpage .....	56
2.2.3	Bilan : fonctions des alpages et pratiques étudiées, à l'interaction entre alpages et exploitations.....	57
2.2.4	Proposition d'un concept : le système alpage-exploitations .....	58
2.3	Acquisition et représentation des connaissances au cours de la modélisation.....	60
2.3.1	Acquisition des connaissances à modéliser.....	60
2.3.2	Représentation des connaissances .....	61
2.3.2.1	Structuration du modèle .....	61
2.3.2.2	Une carte causale pour représenter le modèle biophysique à l'échelle de la campagne .....	61
2.3.2.3	Un modèle d'état et de transition pour représenter la dimension de long-terme du modèle biophysique sur le long-terme .....	62
2.3.2.4	S'inspirer des modèles de systèmes fourrager pour représenter le modèle de gestion	64
2.4	Vulnérabilité et résilience : deux concepts mobilisés pour l'évaluation du modèle.....	64
2.4.1	Valider ou évaluer un modèle .....	64
2.4.2	Vulnérabilité et résilience : deux concepts qui offrent des approches complémentaires pour analyser l'adaptation au changement climatique .....	65
2.4.2.1	Vulnérabilité : un concept de plus en plus mobilisé pour l'analyse de l'effet des perturbations environnementales .....	65
2.4.2.2	Complémentarité du concept de résilience socio-écologique .....	66

2.4.2.3	Contours du problème retenu pour chaque cadre d'analyse .....	68
2.4.3	Analyser la vulnérabilité des systèmes alpage-exploitations aux aléas climatiques.....	68
2.4.3.1	Une approche qualitative pour comprendre les processus .....	68
2.4.3.2	Découpage analytique dans les analyses de vulnérabilité .....	68
2.4.3.3	Analyses de la vulnérabilité : des approches à géométrie variables.....	69
2.4.3.4	Approche retenue pour analyser la vulnérabilité des systèmes alpage-exploitations	71
2.4.4	Analyser la résilience des systèmes alpage-exploitations au changement climatique.	71
2.5	Proposition de thèse .....	72

## **Deuxième Partie : Construction d'un modèle conceptuel de système alpage-exploitation**

3	Un travail de recherche qui s'articule avec le dispositif Alpages Sentinelles.....	77
3.1	Les alpages sentinelles, un dispositif de recherche-action .....	79
3.1.1	Emergence et essor du dispositif Alpages Sentinelles .....	79
3.1.2	Une posture de recherche-action .....	82
3.2	Un panel d'experts diversifié, mobilisé dans une démarche de modélisation participative	82
3.3	Une évaluation du modèle à partir de l'analyse d'un échantillon diversifié de cas suivis sur plusieurs années.....	85
3.3.1	Echantillonnage des alpages .....	85
3.3.2	Echantillonnage des exploitations suivies.....	90
3.3.3	Suivis réalisés.....	92
3.3.4	Aléas subis durant les années de suivi .....	94
3.3.5	Comment les suivis sont mobilisés pour l'analyse de la vulnérabilité et la résilience au changement climatique des systèmes alpage-exploitations.....	97
3.4	Synthèse de la démarche mise en œuvre .....	97
4	Le modèle de système alpage-exploitations .....	99
4.1	Architecture d'ensemble du modèle.....	101
4.2	Modèle de gestion.....	102
4.2.1	Cinq échelles spatiotemporelles de gestion emboîtés.....	102
4.2.2	Approche fonctionnelle des systèmes d'alimentation.....	106
4.2.3	Adaptation du modèle de saisons-pratique au système alpage-exploitations .....	110
4.3	Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : carte causales des effets de la météo sur les ressources en alpage .....	112
4.3.1	Structuration de la carte causale.....	112
4.3.2	Principaux enseignements de la carte causale.....	116



4.4	Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : carte causale des effets des pratiques sur les ressources en alpage .....	117
4.5	Modèle biotechnique à l'échelle de la campagne annuelle : extrapolation sur les exploitations de la carte causale météo-ressources des alpages .....	119
4.6	Typologie de végétations .....	121
4.7	Modèle d'état et de transition : modèle biophysique de long-terme .....	126

### **Troisième partie : Evaluation du modèle conceptuel : étude d'un échantillon de systèmes alpage-exploitations**

5	Analyse de l'exposition aux aléas climatiques d'une diversité de systèmes alpage-exploitations	133
5.1	Pourquoi et comment caractériser l'exposition aux aléas climatiques des systèmes alpage-exploitations.....	135
5.2	Eléments de méthodologie .....	136
5.2.1	Limites des relevés météorologiques pour caractériser le climat sur les alpages .....	136
5.2.2	Mobiliser le modèle climatique SAFRAN sur les alpages et les exploitations .....	137
5.2.3	Mobiliser des données de télédétection MODIS en complément .....	139
5.2.4	Calculer des indicateurs agrométéorologiques à partir de SAFRAN et MODIS sur les alpages et sur les exploitations .....	140
5.2.5	Comparer les climats sur les alpages et sur les exploitations en prenant en compte leur variabilité interannuelle .....	142
5.2.6	Analyser l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations	144
5.2.7	Analyse critique de la carte causale au regard des données climatiques en alpage, et sélection d'un nombre limité d'indicateurs .....	144
5.2.8	Limites méthodologiques .....	144
5.2.8.1	Limites liées à l'utilisation du modèle SAFRAN .....	144
5.2.8.2	Limites liées à l'utilisation des données de télédétection satellitaires.....	145
5.2.8.3	Limites dans le calcul des indicateurs agrométéorologiques.....	145
5.3	Résultats .....	145
5.3.1	Caractérisation du climat sur les alpages .....	145
5.3.1.1	Construction d'indicateurs agrométéorologiques adaptés à la dynamique des ressources pastorales en alpage .....	145
5.3.1.2	Aperçu de la diversité des climats sur les alpages .....	153
5.3.2	Analyse critique de la carte causale au regard des données météorologiques.....	158
5.3.3	Caractérisation de l'exposition des alpages aux aléas climatiques.....	174

5.3.3.1	Construction d'indicateurs agrométéorologiques à l'échelle des unités de gestion « Alpages » .....	174
5.3.3.2	Analyse statistique et construction d'une typologie d'exposition aux aléas climatiques des alpages.....	175
5.3.3.2.1	Comparaison des climats « moyens » des alpages .....	176
5.3.3.2.2	Comparaison de la variabilité climatique sur les alpages .....	179
5.3.3.2.3	Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques des alpages (climat moyen et variabilité climatique).....	182
5.3.4	Caractérisation de l'exposition des exploitations aux aléas climatiques .....	185
5.3.4.1	Construction d'indicateurs agrométéorologiques sur les exploitations .....	185
5.3.4.2	Analyse statistique et construction d'une typologie d'exposition aux aléas climatiques des exploitations.....	189
5.3.4.2.1	Comparaison des climats « moyens » des exploitations.....	190
5.3.4.2.2	Comparaison de la variabilité climatique sur les exploitations.....	193
5.3.4.2.3	Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques sur les exploitations .....	196
5.3.5	Synthèse : vers une analyse de l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations.....	200
5.3.5.1	Mise en regard des deux typologies d'exposition aux aléas climatiques.....	200
5.3.5.2	Quels enseignements génériques sur l'exposition aux aléas climatiques tirer de l'analyse d'une diversité de systèmes alpage-exploitations ? .....	204
5.4	Conclusion : quels enseignements tirer de l'analyse de l'exposition aux aléas climatiques à l'échelle du système alpage-exploitations .....	212
6	Analyse de la sensibilité et des capacités d'adaptation des systèmes alpage-exploitations.....	215
6.1	Rappel des objectifs et précisions méthodologiques.....	217
6.1.1	Objectifs et structuration du chapitre .....	217
6.1.2	Analyses réalisées.....	217
6.1.3	Choix des systèmes présentés.....	218
6.2	Analyse détaillée de la vulnérabilité de six systèmes alpage-exploitations différents .....	219
6.2.1	CHP : alpage ovin collectif dans l'Oisans (Ecrins), éleveurs locaux et grands transhumants .....	219
6.2.1.1	Présentation .....	219
6.2.1.2	Exposition .....	220
6.2.1.3	Sensibilité .....	220
6.2.1.4	Gestion et capacités d'adaptation.....	221
6.2.2	CRO : alpage ovin individuel du Briançonnais (Ecrins), éleveur originaire du département.....	225

6.2.2.1	Présentation .....	225
6.2.2.2	Exposition .....	225
6.2.2.3	Sensibilité .....	225
6.2.2.4	Gestion et capacités d'adaptation.....	226
6.2.3	DAR : alpage ovin individuel des Hauts Plateaux du Vercors, éleveur du département... .....	228
6.2.3.1	Présentation .....	228
6.2.3.2	Exposition .....	229
6.2.3.3	Sensibilité .....	229
6.2.3.4	Gestion et capacités d'adaptation.....	229
6.2.4	PON : alpage ovin collectif du Briançonnais (Ecrins), éleveur du département et éleveurs grands transhumants .....	232
6.2.4.1	Présentation .....	232
6.2.4.2	Exposition .....	232
6.2.4.3	Sensibilité .....	233
6.2.4.4	Gestion et capacités d'adaptation.....	233
6.2.5	ROS : bovin laitier individuel de Tarentaise (Vanoise), éleveur de la commune .....	236
6.2.5.1	Présentation .....	236
6.2.5.2	Exposition .....	236
6.2.5.3	Sensibilité .....	236
6.2.5.4	Gestion et capacités d'adaptation.....	237
6.2.6	SUR : alpage ovin collectif du Valgaudemar (Ecrins), éleveurs de la commune .....	239
6.2.6.1	Présentation .....	239
6.2.6.2	Exposition .....	239
6.2.6.3	Sensibilité .....	239
6.2.6.4	Gestion et capacités d'adaptation.....	240
6.2.7	Bilan des études de cas .....	242
6.3	Identification de différentes logiques d'ajustement.....	243
6.3.1	Identification des leviers activés .....	243
6.3.1.1	Leviers activés sur les exploitations .....	243
6.3.1.2	Leviers activés sur les alpages .....	247
6.3.1.3	Ajustements à l'interaction entre l'alpage et les exploitations utilisatrices .....	247
6.3.2	Analyse à l'échelle du système : construction d'une typologie .....	250
6.3.2.1	Trois logiques d'adaptation aux aléas climatiques correspondant aux trois types d'ajustements identifiés.....	250

6.3.2.2	Type 1 : Régulations intra saison-pratique dominantes.....	252
6.3.2.3	Type 2 : Régulations inter saisons-pratiques dominantes .....	254
6.3.2.4	Type 3 : présence marquante de soudures.....	256
6.4	Conclusion .....	259
6.4.1	Différentes logiques d’ajustement révélatrices des capacités d’adaptation et de la place des alpages dans le système .....	259
6.4.2	Apports du cadre d’analyse des saisons-pratiques .....	259
6.4.3	Apports du système alpage-exploitations.....	260
6.4.4	Vulnérabilité .....	261
7	Adoption du cadre d’analyse de la résilience socio-écologique pour analyser l’adaptation au changement climatique.....	263
7.1	Rappel des objectifs et précisions méthodologiques.....	265
7.2	Résultats .....	267
7.2.1	Grille d’analyse de la résilience des systèmes alpage-exploitations.....	267
7.2.2	Opérationnalité du modèle conceptuel sur quelques études de cas.....	270
7.2.2.1	Mobilisation et gestion de la diversité des végétations.....	270
7.2.2.2	Pilotage collectif de l’alpage et du système alpage-exploitations .....	270
7.3	Discussion .....	274
7.3.1	Intérêts et limites de cette nouvelle grille de lecture pour l’analyse des systèmes d’élevage .....	274
7.3.2	Les théories de la résilience socio-écologique ont du sens pour la gestion des alpages .. .....	275
7.3.3	Deux conditions réunies pour permettre une opérationnalisation des théories de la résilience .....	275
7.3.3.1	Accorder une part équilibrée aux deux dimensions du socio-écosystème.....	275
7.3.3.2	Définir les contours du socio-écosystème en fonction de sa dimension sociale ....	276
7.4	Conclusion .....	276
<b>4ème partie : Discussion générale</b>		
8	Discussion générale : avancées scientifiques et perspectives opérationnelles .....	279
8.1	Principaux résultats de ce travail de thèse.....	281
8.2	Avancées scientifiques .....	282
8.2.1	Avancées dans le courant des farming systems research .....	282
8.2.1.1	Réflexion sur le pilotage des farming systems, à partir du concept de système alpage-exploitations .....	282

8.2.1.2	D'une identification des logiques d'ajustement vers la description de stratégies d'adaptation .....	284
8.2.1.3	Compléter l'analyse par une approche sociologique .....	287
8.2.1.4	Un modèle qui permet de penser l'articulation entre court-terme et long-terme dans la gestion.....	287
8.2.2	Apports de la dimension biophysique du modèle.....	289
8.2.2.1	Une modélisation originale de la dynamique des ressources en alpage .....	289
8.2.2.2	Un modèle biophysique articulant agronomie et écologie .....	290
8.2.2.3	Une contribution à l'agroécologie.....	290
8.2.3	Vers une analyse de la gouvernance des biens communs .....	291
8.2.3.1	Un concept pour analyser les interactions entre ressources communes et ressources individuelles.....	291
8.2.3.2	Des évolutions récentes dans la gouvernance des alpages qui interrogent les capacités d'adaptation au changement climatique .....	293
8.2.3.3	Un modèle aux contours très strictement « pastoraux », qui pourrait être adapté pour l'analyse de la gouvernance des alpages .....	296
8.3	Perspectives opérationnelles .....	298
8.3.1	Adéquation du modèle avec les réalités locales : domaine de validité du modèle ....	298
8.3.1.1	L'importance des aléas du quotidien pour les alpages laitiers .....	298
8.3.1.2	Découpage en quartiers .....	299
8.3.1.3	Autres limites.....	300
8.3.2	Quelle appropriation de ce travail de thèse ? .....	300
8.3.2.1	Appropriation du modèle biophysique .....	301
8.3.2.2	Appropriation des approches fonctionnelles .....	301
8.3.3	Passer d'un modèle scientifique à un outil d'analyse et de conseil.....	302
8.3.3.1	Intérêt du découpage analytique offert par l'analyse de vulnérabilité .....	302
8.3.3.2	Articuler l'analyse de l'exposition et celle de la sensibilité.....	302
8.3.3.3	Opérationnalité de la typologie des végétations d'alpage.....	303
8.3.3.4	Vers une typologie de systèmes.....	304
	Conclusion générale .....	305
	Références bibliographiques .....	311
	Liste des figures.....	343
	Liste des tableaux.....	349
	Table des matières .....	351
	Annexe 1.....	359

# **Annexe 1**



## Sommaire de l'annexe 1

1	Variables mobilisées dans les trois ACP de caractérisation de l'exposition aux aléas climatiques des 25 alpages sentinelles .....	- 1 -
2	Comparaison des climats « moyens » des alpages .....	- 3 -
3	Comparaison de la variabilité climatique sur les alpages .....	- 8 -
4	Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques des alpages (climat moyen et variabilité climatique).....	- 13 -
5	Variables mobilisées dans les trois ACP de caractérisation de l'exposition aux aléas climatiques des 25 alpages sentinelles .....	- 19 -
6	Comparaison des climats « moyens » des exploitations.....	- 20 -
7	Comparaison de la variabilité climatique sur les exploitations.....	- 26 -
8	Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques sur les exploitations .....	- 31 -



## 1 Variables mobilisées dans les trois ACP de caractérisation de l'exposition aux aléas climatiques des 25 alpages sentinelles

Individus	Variables																							
	m_q_bas_mur	m_etal_mat	m_expo_gel_ptps	m_expo_sec_ptps	m_expo_sec_juil	m_expo_sec_aout	m_expo_sec_aut	m_expo_gel_aut	var_q_bas_mur	var_etal_mat	var_expo_gel_ptps	var_expo_sec_ptps	var_expo_sec_juil	var_expo_sec_aout	var_expo_sec_aut	var_expo_gel_aut	ampl_q_bas_mur	ampl_etal_mat	ampl_expo_gel_ptps	ampl_expo_sec_ptps	ampl_expo_sec_juil	ampl_expo_sec_aout	ampl_expo_sec_aut	ampl_expo_gel_aut
3FO	181	24	4	-1	-6	-1	-2	5	9.11	6.20	5.35	3.79	12.12	3.71	7.93	5.42	26	21	16	13	33	11	28	19
ALP	167	9	2	1	-4	1	1	3	13.80	6.07	3.09	1.53	11.07	0.00	0.00	4.04	48	21	9	6	39	0	0	13
AUS	197	108	1	0	-4	-2	-1	6	7.01	14.64	0.42	2.36	9.86	5.04	6.73	2.92	25	54	1	6	28	17	24	11
AVA	194	48	0	1	0	1	1	3	8.95	9.55	0.37	0.00	2.19	0.00	0.14	2.66	35	33	1	0	8	0	0	10
BAL	199	30	0	1	0	1	1	4	7.94	8.09	0.67	0.00	1.82	0.00	0.09	3.14	29	30	2	0	7	0	0	13
CHM	189	55	0	1	0	-1	1	3	7.79	10.42	0.29	0.00	2.31	3.74	0.48	2.72	26	41	1	0	8	11	2	11
CHP	176	68	1	0	-8	0	-1	5	7.20	14.67	1.50	2.59	13.17	1.99	8.94	4.68	23	50	4	9	31	7	32	15
CHS	164	14	2	0	-4	1	1	4	14.21	7.72	3.62	2.67	11.37	0.00	0.00	3.48	48	25	11	10	40	0	0	11
COL	157	26	3	1	-4	1	1	4	14.05	9.53	4.51	1.27	11.28	0.00	0.00	4.49	49	30	14	5	39	0	0	12
CRO	166	78	3	-3	-16	-8	-2	6	9.50	15.29	6.91	10.55	19.75	14.66	9.72	6.47	29	55	25	38	51	43	34	24
DAR	153	45	8	0	-9	1	1	6	12.84	6.63	6.49	2.70	16.71	0.00	0.00	4.05	37	24	26	10	45	0	0	14
DIS	180	54	2	-6	-18	-11	-1	5	12.14	14.92	4.83	14.33	21.90	15.29	6.61	5.60	41	54	17	49	56	39	24	21
GRH	171	94	1	-4	-14	-12	-2	5	10.47	16.53	3.28	13.08	18.52	17.24	9.26	4.99	36	65	12	48	51	48	33	17
GRI	171	26	0	1	-7	1	1	3	9.32	8.70	0.81	0.87	15.46	0.00	0.00	3.65	29	35	3	3	43	0	0	11
JOC	153	33	6	1	-10	0	1	5	11.65	3.68	3.96	0.00	16.70	1.94	1.48	4.07	37	10	12	0	43	7	5	15
LAN	171	121	1	0	-7	-2	-1	4	8.86	14.49	1.11	2.27	11.43	6.04	8.39	4.09	29	53	4	8	26	21	30	13
LES	203	71	1	-2	-4	-3	-1	3	8.63	17.99	1.45	4.67	9.98	8.32	6.54	1.61	33	55	6	14	29	26	24	5
MOL	156	26	9	1	-7	1	1	6	11.11	4.33	4.60	0.00	15.06	0.00	0.00	4.86	36	15	15	0	41	0	0	16

PLA	184	76	0	1	1	1	1	4	10.44	13.97	0.32	0.05	1.71	0.00	0.11	2.78	34	47	1	0	6	0	0	11
PON	170	81	0	-4	-15	-8	-2	4	9.00	12.99	0.33	12.19	18.95	15.91	9.34	5.59	26	47	1	39	50	47	33	20
ROS	185	63	1	1	1	1	1	7	10.27	10.52	1.17	0.12	0.00	0.00	0.00	5.31	35	32	4	0	0	0	0	17
ROU	187	52	1	-8	-17	-11	-1	5	9.23	10.57	3.92	13.70	21.02	14.02	6.30	5.69	27	38	14	47	54	42	23	20
SAP	154	86	4	0	-8	1	-1	6	8.13	14.40	2.96	1.97	13.02	0.55	8.69	4.44	26	52	10	6	29	2	31	16
SUR	172	85	0	-7	-17	-16	-1	3	8.84	20.18	0.25	9.65	21.15	23.93	6.85	4.45	31	73	1	33	54	64	25	16
VAL	204	16	0	-3	-6	-1	-2	3	8.05	3.89	0.25	5.81	11.99	3.16	7.47	1.99	27	14	1	17	33	10	27	6

## 2 Comparaison des climats « moyens » des alpages

Une matrice de corrélation (Figure 100) des différentes variables définies à l'échelle de l'alpage nous montre que sur les huit variables retenues, les quatre variables de sécheresses sont fortement corrélées. Cela témoigne du fait que les alpages subissant des climats secs les subissent en toutes saisons ; il n'y a pas d'alpages où seul le printemps est sec et d'autres où c'est l'automne qui est la seule période sèche. Pour ne pas donner trop de poids aux aléas de type sécheresse dans l'ACP, nous ne conservons que deux variables de sécheresse : sécheresse de juillet et sécheresse d'août, qui sont d'une part les deux périodes les plus cruciales vis-à-vis de la sécheresse, avec les plus gros déficits hydriques, et qui d'autre part ne sont pas calculés de la même manière (la sécheresse de juillet n'est calculée que sur les quartiers bas, la sécheresse d'août sur les quartiers hauts lorsqu'il y en a et sur les quartiers bas sinon). Les autres variables seront conservées en variables supplémentaires n'influençant pas les analyses.

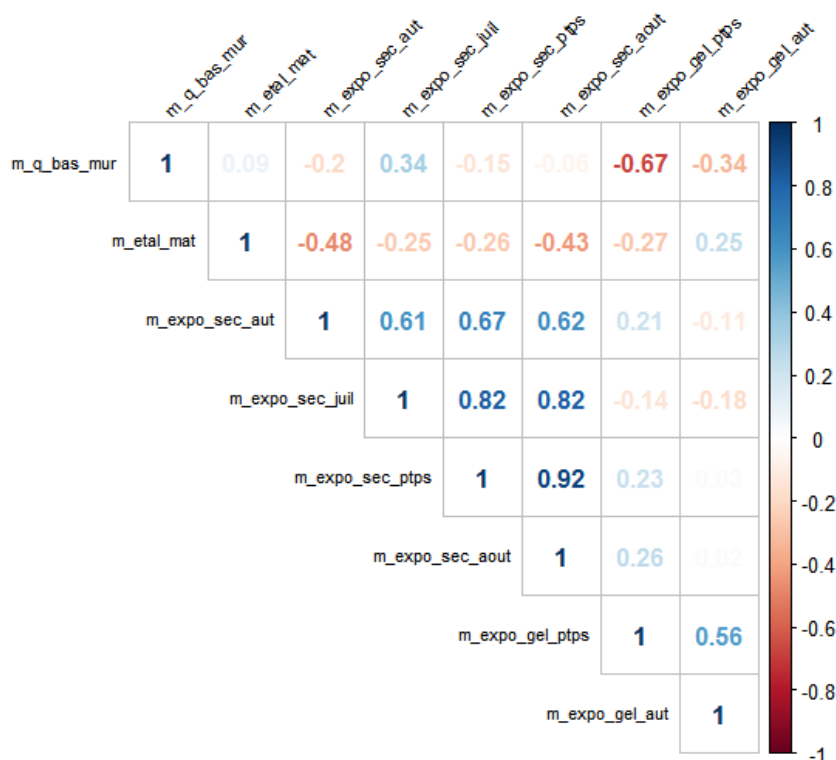
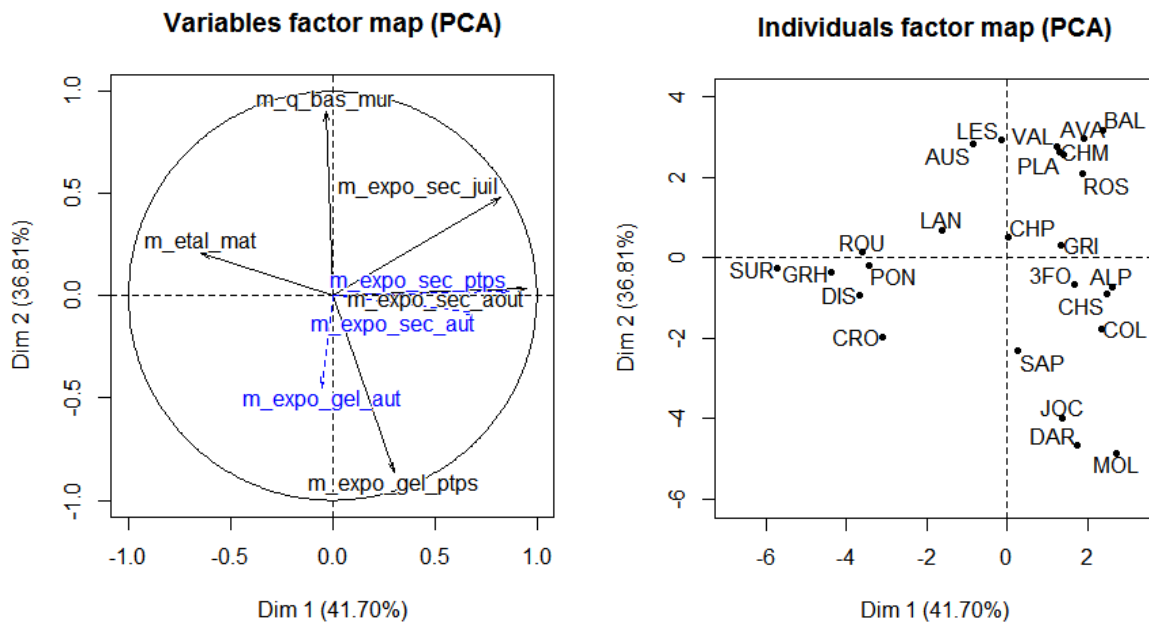


Figure 100 : matrice de corrélation des valeurs moyennes des différents indicateurs agrométéorologiques à l'échelle de l'alpage (base : 25 alpages)

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 78.31% de l'inertie totale (l'inertie est la variance totale du tableau de données, *i.e.* la trace de la matrice des corrélations) (Figure 101).

Le premier axe de l'ACP est représenté principalement par les variables de sécheresse qui s'opposent à la variable relative à l'étalement de la précocité. Ainsi, sur ce premier axe, les alpages SUR et GRH qui ont un étalement moyen de leur précocité important (m\_etal\_mat élevé) associé à des bilans hydriques très déficitaires ( les différentes variables m\_expo\_sec\_\*\*\* sont nettement négatives) et, à un degré moindre, les alpages ROU, DIS, PON et CRO - se distinguent des autres alpages.

Le second axe de l'ACP représente principalement la précocité de la végétation ( $m\_q\_bas\_mur$ ) et l'exposition au gel de printemps ( $m\_expo\_gel\_ptps$ ). Ainsi, sur ce second axe, les alpages MOL, DAR et JOC qui sont très précoces ( $m\_q\_bas\_mur$  faible) et assez exposés au gel ( $m\_expo\_gel\_ptps$  relativement élevé) s'opposent aux alpages BAL, AVA, LES, VAL, AUS, CHM, PLA, ROS en moyenne tardif ( $m\_q\_bas\_mur$  élevé) et peu voire pas exposés au gel ( $m\_expo\_gel\_ptps$  nulle ou faible). L'exposition au gel automnal ( $m\_expo\_gel\_aut$ ) est représentée assez partiellement sur le second axe.



**Dim.1**

	correlation	p.value
$m\_expo\_sec\_aout$	0.9505964	3.561832e-13
$m\_expo\_sec\_ptps$	0.8621827	3.035197e-08
$m\_expo\_sec\_juil$	0.8208108	5.013908e-07
$m\_expo\_sec\_aut$	0.7048606	8.352047e-05
$m\_etal\_mat$	-0.6450424	4.988970e-04

**Dim.2**

	correlation	p.value
$m\_q\_bas\_mur$	0.9049692	5.249372e-10
$m\_expo\_sec\_juil$	0.4788557	1.544828e-02
$m\_expo\_gel\_aut$	-0.4470703	2.504991e-02
$m\_expo\_gel\_ptps$	-0.8637042	2.692377e-08

**Dim.3**

	correlation	p.value
$m\_etal\_mat$	0.7305599	3.373233e-05
$m\_expo\_sec\_ptps$	0.4092679	4.219992e-02

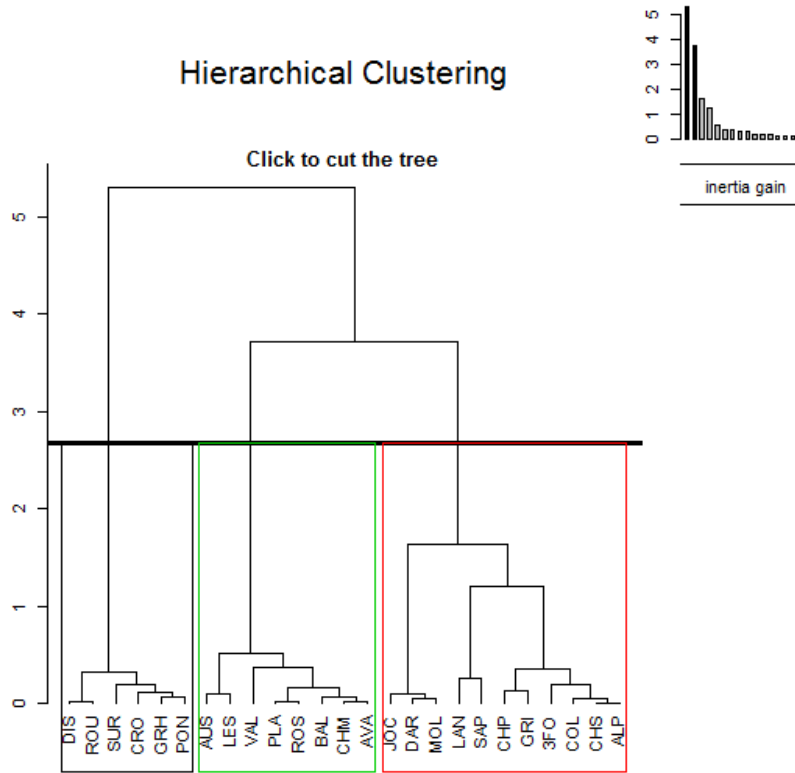
Figure 101 : Répartition des variables et des individus sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales réalisée sur les valeurs moyennes des indicateurs agrométéorologiques ; contribution des différentes variables à la constitution des deux premiers axes de l'ACP (variables supplémentaires en bleu)

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) sur les composantes principales nous permet de regrouper les alpages par classe selon les ressemblances des valeurs moyennes prises par les

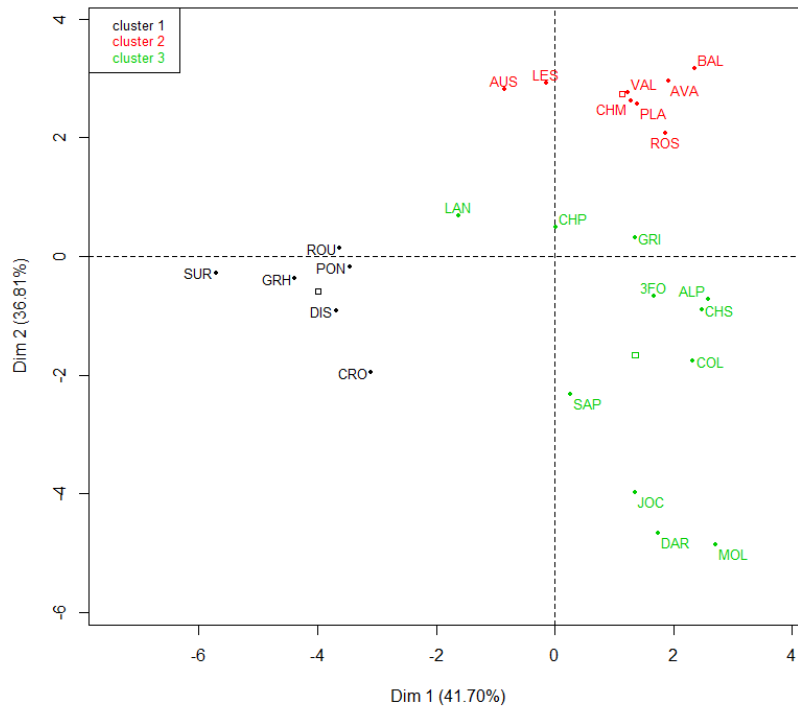
indicateurs agrométéorologiques retenus. Le graphique présentant les gains d'inertie lorsqu'on passe d'un nombre de classe à un nombre supérieur suggère un classement en trois classes (Figure 71) :

- Une première classe regroupe 6 alpages (SUR, CRO, ROU, GRH, PON, DIS). Cette classe est caractérisée par un niveau fort d'exposition moyen aux sécheresses à toutes les saisons ( $m\_expo\_sec\_xxx$  faible). Elle correspond à des alpages du versant sud et sud-est du massif des Ecrins ; situés dans les vallées des Alpes internes, qui reçoivent peu les précipitations océaniques. Ce sont par ailleurs aussi des alpages avec un étalement de la maturité important ( $m\_etal\_mat$  élevé), lié à un fort étagement altitudinal. En termes de précocité ils sont dans la moyenne ( $m\_q\_bas\_mur$ ), et subissent peu de gels printaniers ( $m\_expo\_gel\_ptps$ ) (grâce aux quartiers hauts qui ne sont pas exposés).
- La seconde classe regroupe 8 alpages (AUS, LES, VAL, PLA, ROS, BAL CHM, AVA). Cette classe est caractérisée principalement par un caractère tardif des alpages ( $m\_q\_bas\_mur$  élevé), une exposition à la sécheresse en juillet faible ( $m\_expo\_sec$  élevé), et une exposition au gel printanier faible ( $m\_expo\_gel\_ptps$  faible). Elle rassemble tous les alpages sentinelles de Vanoise, sauf un (3FO). Ce sont aussi des alpages avec une phénologie peu étalée en général (pas un grand étagement altitudinal).
- La troisième classe regroupe 11 alpages (JOC, DAR, MOL, LAN, SAP, CHP, GRI, 3FO, COL, CHS, ALP) qui se distinguent par une forte exposition au gel de printemps ( $m\_expo\_gel\_ptps$  élevé), une forte précocité ( $m\_q\_bas\_mur$  faible), une faible exposition à la sécheresse en août ( $m\_expo\_sec\_aout$  élevé) et un faible étalement de la maturité sur l'alpage ( $m\_etal\_mat$  faible). Cette classe comprend les alpages du Vercors et de Chartreuse, ainsi que ceux du versant Ouest et Nord-Ouest des Ecrins (Valbonnais, Oisans). Ce sont effectivement des alpages globalement arrosés en toute saison (exposition aux flux océaniques). On trouve dans ce groupe les alpages les plus précoces (JOC, DAR, MOL, COL, CRO, ALP) et ceux dont la phénologie est la moins étalée (ALP, CHS, 3FO, COL, GRI, MOL), mais aussi des alpages proches des autres groupes sur ces critères. On y trouve l'alpage 3FO, un alpage de Vanoise en Maurienne bien particulier, avec un déneigement rapide qui peut s'expliquer par une exposition homogène à l'Adret et un faible étagement altitudinal. Cet alpage est par ailleurs connu pour avoir une exposition très forte aux retours d'Est due à la proximité d'un col ouvert sur le versant italien du massif (ce qui n'est pas pris en compte par SAFRAN-Crocus).

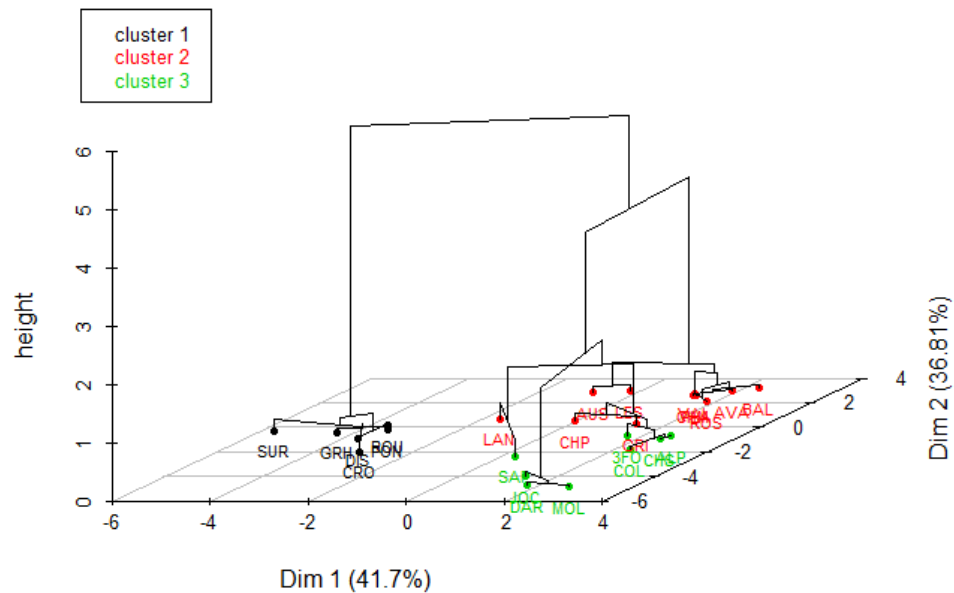
# Hierarchical Clustering



## Factor map



### Hierarchical clustering on the factor map



Classe 1`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
m_expo_sec_aut	-2.793036	-1.500000	-0.24	0.500000	1.241934	5.221593e-03
m_expo_sec_juil	-4.178186	-16.166667	-7.32	1.343710	5.829031	2.938434e-05
m_expo_sec_ptps	-4.291433	-5.333333	-1.12	1.795055	2.702887	1.775239e-05
m_expo_sec_aout	-4.599337	-11.000000	-2.60	2.708013	5.027922	4.238384e-06
Classe 2`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
m_q_bas_mur	3.435555	188.4545455	176.16	11.5393685	15.540090	0.0005913417
m_expo_sec_juil	3.150566	-3.0909091	-7.32	3.3966439	5.829031	0.0016295429
m_expo_gel_ptps	-2.739798	0.4545455	2.00	0.4979296	2.449490	0.0061476941
Classe 3`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
m_expo_gel_ptps	3.772969	4.750	2.00	2.4874686	2.449490	0.0001613164
m_expo_sec_aout	2.155596	0.625	-2.60	0.6959705	5.027922	0.0311152373
m_etal_mat	-2.527551	32.875	55.56	22.5523696	30.162334	0.0114861020
m_q_bas_mur	-3.359571	160.625	176.16	9.0958438	15.540090	0.0007806347

La valeur test (v.test) renseigne sur la représentativité des variables pour la classe, en comparant la moyenne de la classe (Mean in category) à la moyenne de la population (Overall mean) (Lebart et al., 1997; Lê et al., 2008). La valeur test renseigne sur la significativité de la variable pour représenter la classe (elle vérifie à la fois que la moyenne de la variable pour représente bien la classe et la distingue des autres classes). Si la valeur test est positive, la classe est supérieure à la moyenne pour cette variable ; si elle est négative, la classe est inférieure à la moyenne. Une valeur test de +/-1.96 correspond à un test significatif à 5% (test de l'hypothèse suivante : la moyenne de la variable dans la classe est égale à la moyenne pour toute la population). Dans les figures ne sont indiquées que les valeurs test supérieures à 2.

Figure 102 : classification ascendante hiérarchique des alpages selon les variables climatiques retenues dans l'ACP « moyennes » ; représentation des classes dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP ; contribution des variables à la caractérisation des classes

### 3 Comparaison de la variabilité climatique sur les alpages

On peut d’abord se demander si les indicateurs de variabilité moyenne (écarts-type) et les indicateurs d’extrêmes climatiques (amplitudes) sont corrélés. En analysant indicateur par indicateur, les variables apparaissent très fortement corrélées (Figure 103). Les situations où le climat est le plus variable d’une année sur l’autre sont donc les situations qui subiront aussi les plus forts extrêmes climatiques. Dans la suite des analyses, nous ne conservons donc que les variables « écart-type ». Hormis cela, les différentes variables apparaissent très peu corrélées. A la différence des variables calculées sur les valeurs moyennes étudiées au paragraphe précédent, les variables liées aux sécheresses sont assez peu corrélées (excepté la sécheresse de printemps et d’août). D’un alpage à l’autre, on peut donc penser que ce ne sont peut-être pas tout à fait les mêmes périodes qui subissent la plus forte variabilité climatique.

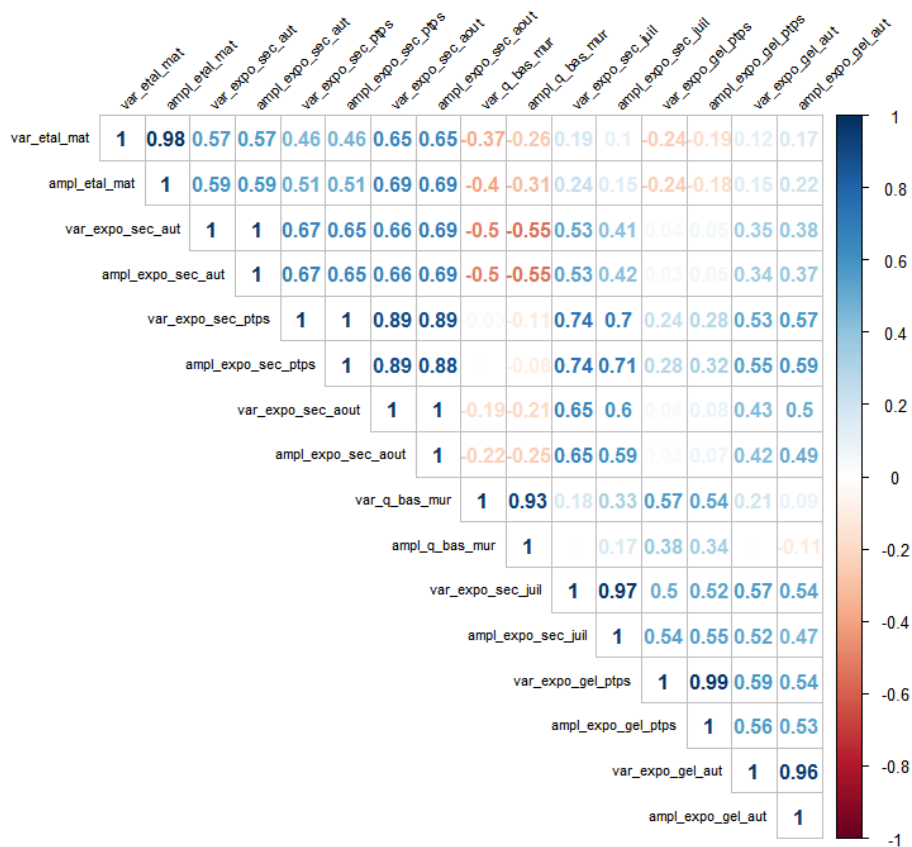


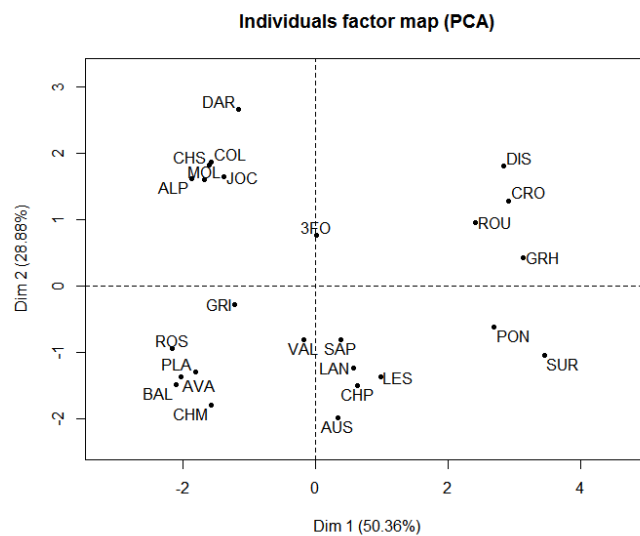
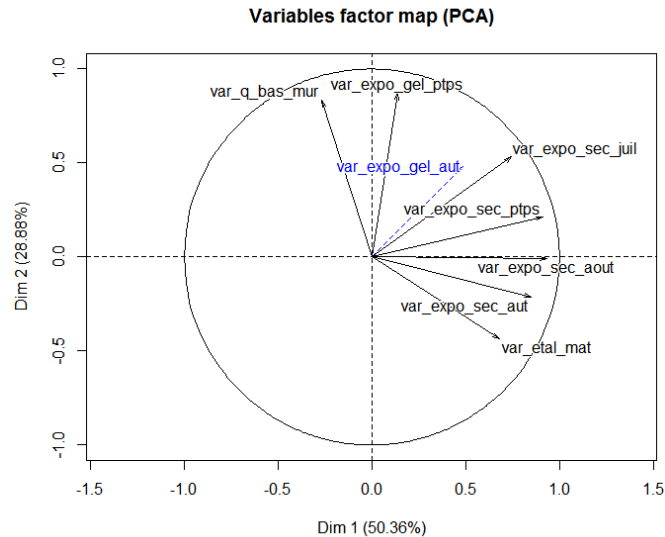
Figure 103 : Matrice de corrélation des différents indicateurs de variabilité climatique à l’échelle de l’alpage

Pour réaliser une ACP sur les variables de variabilité climatique des alpages, comme dans l’analyse précédente, nous considérons la variabilité du gel automnal en variable supplémentaire, n’entrant pas dans la construction des axes.

Les deux premières dimensions expliquent 79,24% de l’inertie totale (Figure 104). La première dimension de l’ACP représente principalement les variables de sécheresse, et dans une moindre mesure l’étalement de la phénologie. Cet axe oppose les alpages dont le niveau d’exposition à la sécheresse aux différentes saisons (var\_expo\_sec\_XXX élevés) et dont l’étalement de la maturité sont variables d’une année sur l’autre (alpages SUR, GRH, CRO, DIS, PON ROU), aux autres alpages dont le



niveau d'exposition aux sécheresses et l'étalement de la maturité varient peu. La seconde dimension oppose des alpages dont la précocité varie (var\_q\_bas\_mur élevé) et dont le nombre d'aléas de gel varie d'une année sur l'autre (var\_expo\_gel\_ptps élevé) (alpages DAR, COL, CHS, DIS, MOL, JOC, ALP) aux autres ( la variabilité de date de maturité des alpages et l'exposition au gel printanier).



**Dim.1**

	correlation	p.value
var_expo_sec_aout	0.9325391	1.171372e-11
var_expo_sec_ptps	0.9119832	2.251578e-10
var_expo_sec_aut	0.8485095	8.395576e-08
var_expo_sec_juil	0.7442465	1.995247e-05
var_etal_mat	0.6788443	1.909587e-04
var_expo_gel_aut	0.4851135	1.397240e-02

**Dim.2**

	correlation	p.value
var_expo_gel_ptps	0.8724106	1.317681e-08
var_q_bas_mur	0.8344579	2.164926e-07
var_expo_sec_juil	0.5313363	6.272451e-03
var_expo_gel_aut	0.4795475	1.527909e-02

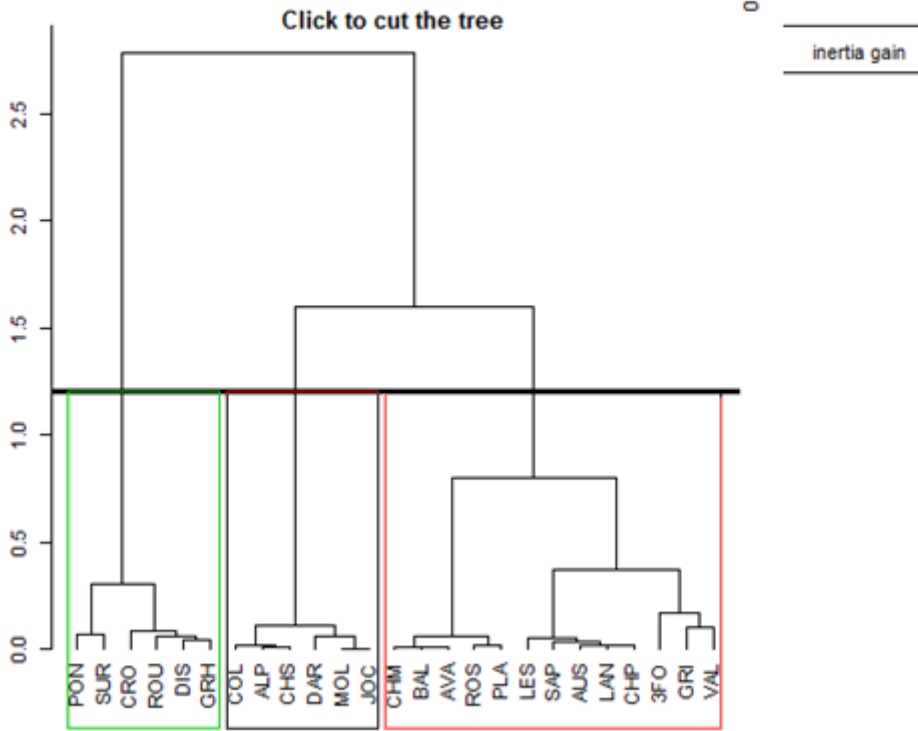
var_etal_mat	-0.4370097	2.893567e-02
--------------	------------	--------------

Figure 104 : Répartition des variables et des individus sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales réalisée sur les valeurs écarts-types des indicateurs agrométéorologiques ; contribution des différentes variables à la constitution des deux premiers axes

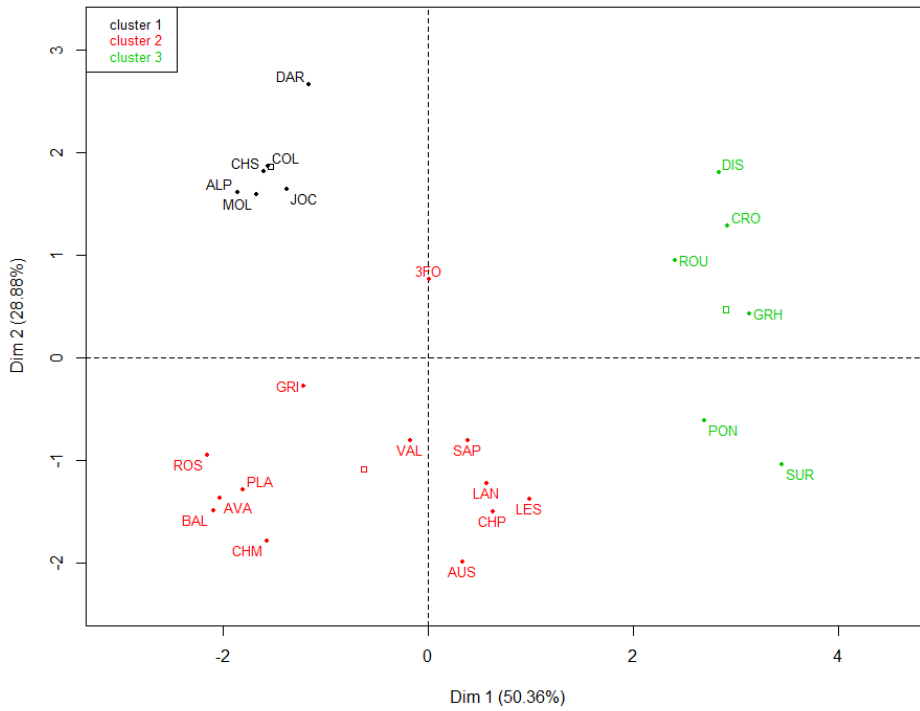
Une classification ascendante hiérarchique (CAH) nous permet de construire une typologie des alpages selon leur variabilité climatique (Figure 72). Le graphique des gains d'inertie suggère un classement en trois classes (pour faciliter la comparaison avec l'ACP précédente, nous les présentons dans l'ordre dans lequel la CAH effectue le découpage des classes) :

- Ce qui caractérise la classe 3 et la distingue des autres classes, ce sont une forte variabilité du niveau des sécheresses au printemps, en août, en juillet (var\_expo\_sec\_ptps, var\_expo\_sec\_aout, var\_expo\_sec\_juil élevés) ainsi qu'une forte variabilité du nombre d'épisodes de gel automnal (var\_expo\_gel\_aut élevé), et dans une moindre mesure un fort niveau de variabilité du niveau des sécheresses automnales (var\_expo\_sec\_aut élevé) et de l'étalement de la maturité (var\_etal\_mat élevé).
- La classe 1 est constituée d'alpages caractérisés d'abord par une forte variabilité de la précocité (var\_q\_bas\_mur élevé), une faible variabilité de l'étalement de la maturité (var\_etal\_mat faible), et une forte variabilité du nombre d'épisodes de gel printanier subis (var\_expo\_gel\_ptps élevé). Ils sont également caractérisés par une faible variabilité dans le niveau des sécheresses d'août et d'automne (var\_expo\_sec\_aout et var\_expo\_sec\_aut faibles). La classe 1 est constituée de tous les alpages de la Chartreuse et du Vercors. C'est un sous-groupe du groupe 3 de l'ACP « moyennes ».
- La classe 2 est caractérisée par une faible variabilité du nombre d'épisodes de gel subis au printemps et à l'automne (var\_expo\_gel\_ptps et var\_expo\_gel\_aut faibles), du niveau des sécheresses (juillet, printemps et août) (var\_expo\_sec\_xxx faibles), une faible variabilité de l'exposition, et de la précocité des alpages (var\_q\_bas\_mur). Cette classe rassemble les alpages de Vanoise, le versant Ouest et Nord-Ouest des Ecrins, et l'alpage GRI du Vercors. Il s'agit donc de la classe 2 de l'ACP « moyenne » et de l'autre partie de la classe 3. Comparativement aux autres classes, ce sont donc des alpages qui subissent moins de variabilité climatique vis-à-vis des critères qui nous intéressent. En poursuivant la partition effectuée par la CAH, on pourrait distinguer deux sous-classes dans cette classe, correspondant à des zones géographiques distinctes :
  - o Les alpages de Tarentaise (CHM, AVA, ROS PLA et BAL, ce dernier étant situé dans la vallée de la Maurienne mais dans le massif SAFRAN « Vanoise » majoritairement situé sur la vallée de la Tarentaise). Cette sous-classe est caractérisée principalement par une faible variabilité du niveau des sécheresses de juillet, printemps, et automne (var\_expo\_sec\_xxx faibles) et du nombre d'épisodes de gel au printemps (var\_expo\_gel\_ptps faible). Ce sont globalement les alpages subissant le moins de variabilité climatique d'une année sur l'autre.
  - o Les autres alpages (alpages de Maurienne, Ouest et Nord-Ouest des Ecrins, Vercors), constituent une sous-classe qui se distingue principalement par un niveau de variabilité plus élevé que la moyenne (de l'ensemble des 25 alpages) pour les sécheresses d'automne (var\_expo\_sec\_aut élevé), et par une variabilité moindre que la moyenne (des 25 alpages) pour la précocité des alpages (var\_q\_bas\_mur faible).

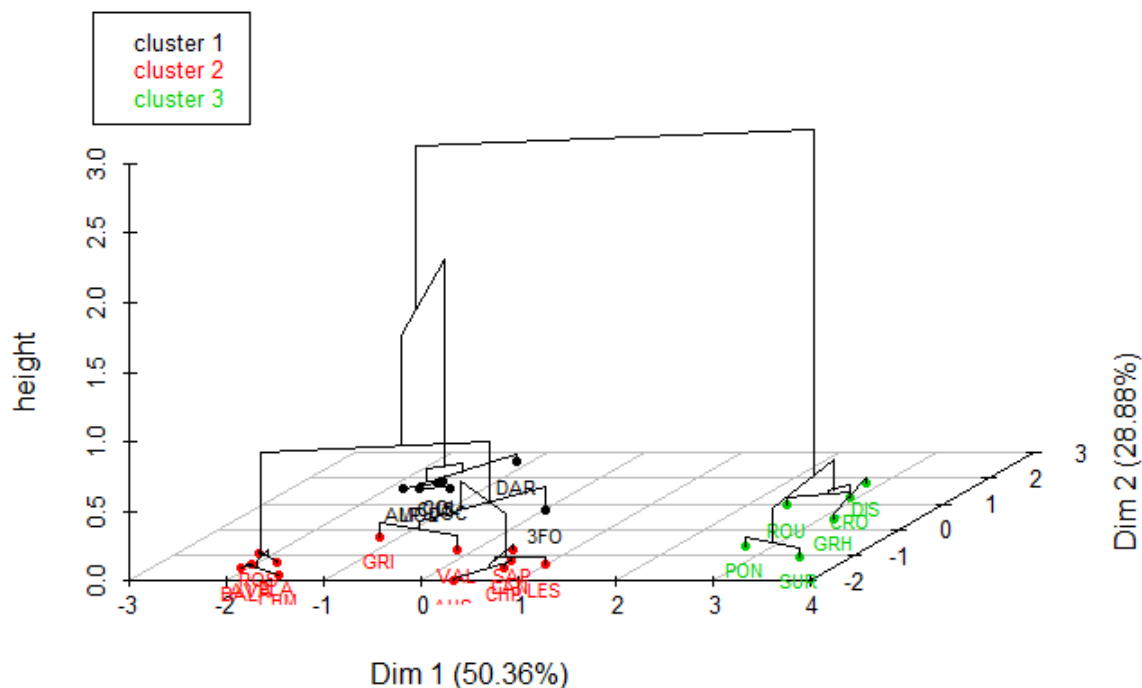
# Hierarchical Clustering



## Factor map



## Hierarchical clustering on the factor map



Classe1`	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_q_bas_mur	3.615626	12.3957143	9.9416	1.740393	2.073622	0.0002996
var_expo_gel_ptps	2.949812	4.5171429	2.4984	1.051852	2.090764	0.0031796
var_expo_sec_aout	-2.026128	0.8071429	5.4216	1.361058	6.957805	0.0427517
var_expo_sec_aut	-2.207587	1.3442857	4.2028	2.736671	3.955860	0.0272730
var_eta1_mat	-3.214425	6.3085714	11.0388	1.827015	4.495699	0.0013070
Classe 2`	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_expo_sec_aout	-2.041785	2.4033333	5.4216	2.7390580	6.957805	0.0411728
var_expo_sec_ptps	-2.470616	1.7258333	4.2468	1.8687851	4.802711	0.0134880
var_expo_gel_aut	-3.068773	3.3325000	4.1276	1.0699153	1.219499	0.0021493
var_q_bas_mur	-3.160598	8.5491667	9.9416	1.0390738	2.073622	0.0015744
var_expo_sec_juil	-3.364933	7.7450000	12.3416	5.3987213	6.429613	0.0007656
var_expo_gel_ptps	-3.500810	0.9433333	2.4984	0.7474326	2.090764	0.0004638
Classe 3`	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_expo_sec_ptps	4.587559	12.250000	4.2468	1.6718951	4.802711	4.484e-06
var_expo_sec_aout	4.518568	16.841667	5.4216	3.3266671	6.957805	6.225e-06
var_expo_sec_juil	3.371180	20.215000	12.3416	1.2282067	6.429613	7.4846e-04
var_expo_gel_aut	3.019147	5.465000	4.1276	0.6258794	1.219499	2.5348e-03
var_expo_sec_aut	2.651852	8.013333	4.2028	1.4425171	3.955860	8.005e-03
var_eta1_mat	2.474672	15.080000	11.0388	2.9690178	4.495699	1.333e-02

Figure 105 : classification ascendante hiérarchique des alpages selon les variables climatiques retenues dans l'ACP « variabilité » ; représentation des classes dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP ; contribution des variables à la caractérisation des classes

N.B. : le code couleur pour les différents types n'est pas le même dans chacun des schémas de la figure.

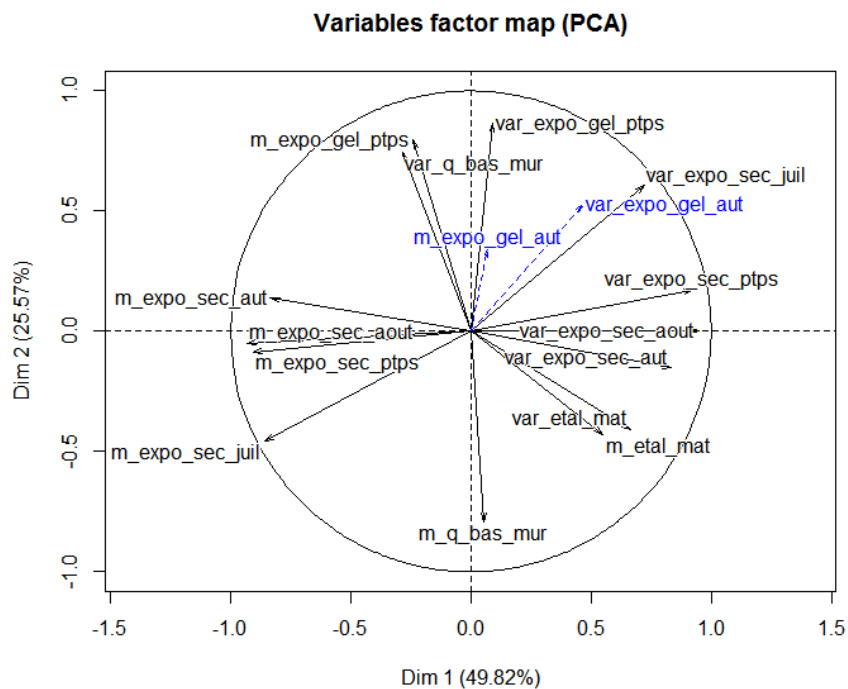
1ère sous-classe`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_expo_sec_ptps	-2.334975	0.1733333	4.2468	0.3145190	4.802711	0.0195447
var_expo_gel_ptps	-2.493112	0.6050000	2.4984	0.3165307	2.090764	0.0126628
var_expo_sec_aut	-2.829731	0.1366667	4.2028	0.1623439	3.955860	0.0046587
var_expo_sec_juil	-3.608046	3.9150000	12.3416	5.2188273	6.429613	0.0003085
2ème sous-classe`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_expo_sec_aut	2.787992	7.812857	4.2028	0.8698886	3.955860	0.005303582
var_q_bas_mur	-2.652178	8.141429	9.9416	0.7433597	2.073622	0.007997447

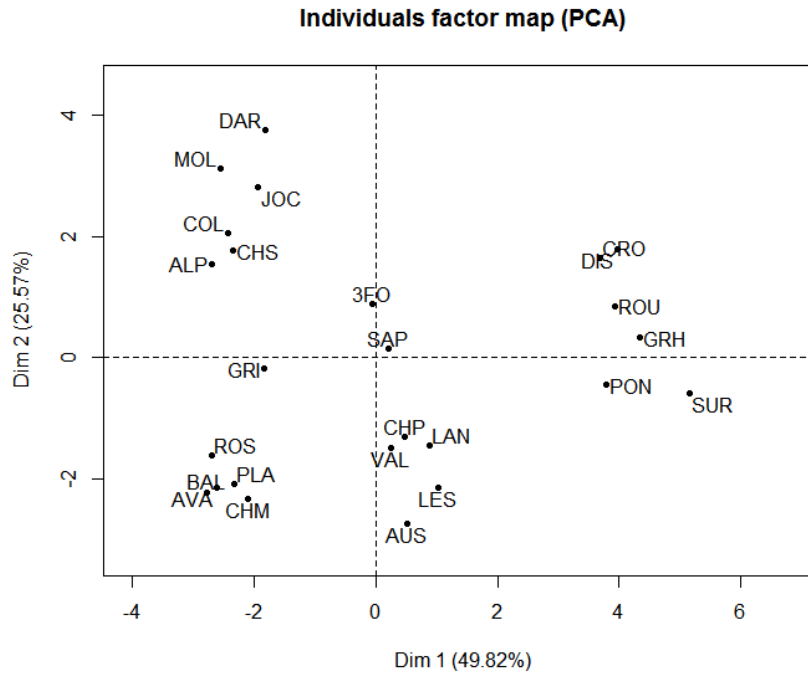
Figure 106 : Contribution des variables à la caractérisation des deux sous-classes de la classe 2

#### 4 Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques des alpages (climat moyen et variabilité climatique)

Nous réalisons une ACP et une CAH en intégrant à la fois des caractéristiques moyennes et la variabilité interannuelle du climat (Figure 107). Seules les variables liées au gel automnal constituent des variables supplémentaires.

Les deux premières dimensions de cette ACP contiennent 75,39% de l'inertie totale. La première dimension de l'ACP représente principalement les variables de sécheresse (moyenne et variabilité) ; elle oppose les alpages les plus exposés à la sécheresse et qui subissent le plus de variabilité dans les niveaux de sécheresse (SUR, GRH, CRO, ROU, PON, DIS) aux autres. La seconde dimension oppose les alpages les plus précoces, qui subissent le plus de variabilité dans la précocité, qui sont le plus exposés au gel printanier et avec le plus de variabilité dans cette exposition (DAR, MOL, JOC, COL, CRO, DIS, CHS, ALP) aux autres.





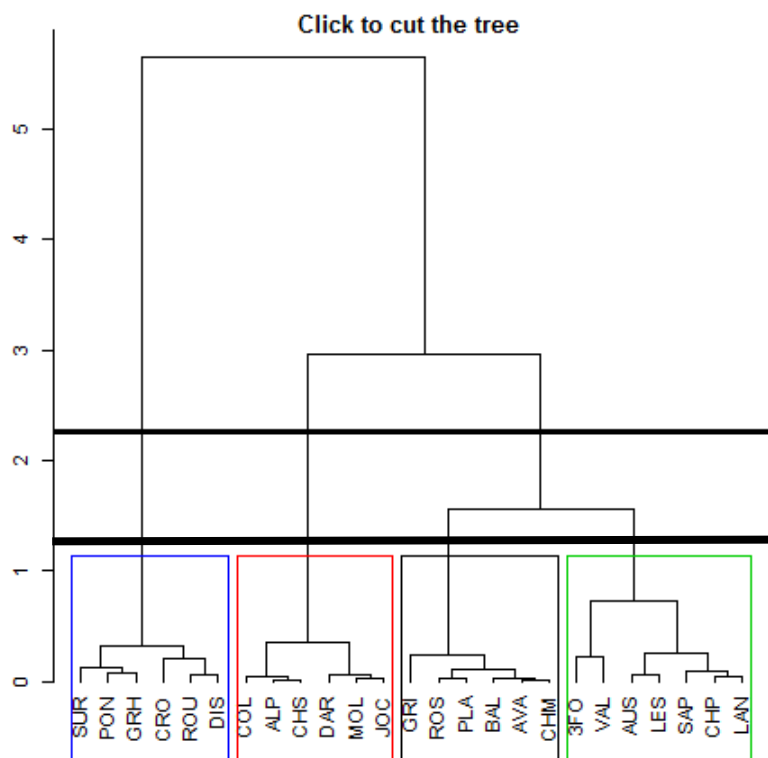
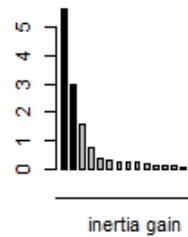
<b>Dim.1</b>		
	correlation	p.value
var_expo_sec_aout	0.9464687	8.781813e-13
var_expo_sec_ptps	0.9232792	4.909656e-11
var_expo_sec_aut	0.8343661	2.177733e-07
var_expo_sec_juil	0.7224804	4.533471e-05
var_etal_mat	0.6640460	2.950358e-04
m_etal_mat	0.5493483	4.451152e-03
var_expo_gel_aut	0.4676846	1.840014e-02
m_expo_sec_aut	-0.8332726	2.335615e-07
m_expo_sec_juil	-0.8571588	4.464742e-08
m_expo_sec_ptps	-0.9057286	4.805069e-10
m_expo_sec_aout	-0.9312882	1.437978e-11
<b>Dim.2</b>		
	correlation	p.value
var_expo_gel_ptps	0.8674627	1.989939e-08
m_expo_gel_ptps	0.7971157	1.846398e-06
var_q_bas_mur	0.7442501	1.994962e-05
var_expo_sec_juil	0.6058103	1.330055e-03
var_expo_gel_aut	0.5304199	6.379737e-03
var_etal_mat	-0.4084596	4.264819e-02
m_etal_mat	-0.4294577	3.215903e-02
m_expo_sec_juil	-0.4576295	2.143621e-02
m_q_bas_mur	-0.7928454	2.293710e-06

Figure 107 : Répartition des variables et des individus sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales réalisée sur les valeurs moyennes et les écarts-types des indicateurs agrométéorologiques ; contribution des différentes variables à la constitution des deux premiers axes ; les variables supplémentaires sont en bleu.

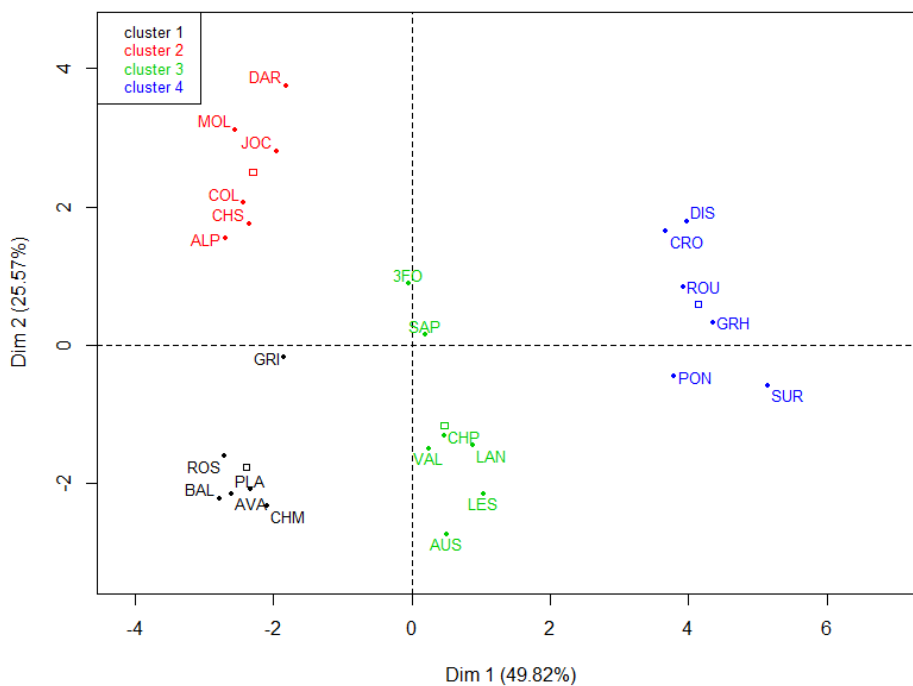
Le graphique des gains d'inertie suggère un classement en trois classes ; néanmoins comme pour la CAH précédente où cela a permis d'apporter un éclairage supplémentaire, nous allons poursuivre la partition pour distinguer 4 classes (Figure 108). Nous présentons ici les classes dans l'ordre dans lequel la CAH effectuée le découpage des classes :

- Ce qui caractérise la classe 4 et la distingue des autres, c'est principalement une grande variabilité dans le niveau des sécheresses (var\_expo\_sec\_xxx élevés), et un niveau moyen des sécheresses élevé (m\_expo\_sec\_xxx faible). Cette classe présente aussi une variabilité du nombre d'épisodes de gel automnal (var\_expo\_gel\_aut élevé) et de l'étalement de la maturité (var\_étal\_mat) et de sécheresses significativement plus élevés que la moyenne. La classe 3 correspond aux alpages du côté peu arrosé des Ecrins.
- La classe 2 est caractérisée d'abord par la précocité de ses alpages, à la fois élevée en moyenne (m\_q\_bas\_mur faible) et très variable (var\_q\_bas\_mur élevé), et par une forte exposition moyenne aux sécheresses printanières (m\_expo\_gel\_ptps élevé) ; dans une moindre mesure, elle est également caractérisée par une exposition à la sécheresse automnale inférieure à la moyenne (m\_expo\_sec\_aut élevé) et peu variable (var\_expo\_sec\_aut faible), et une variabilité de l'exposition au gel printanier importante (var\_expo\_gel\_ptps élevé). Cette classe regroupe tous les alpages situés dans les massifs du Vercors et de Chartreuse, sauf GRI.
- La classe 1 se distingue par les sécheresses de juillet, automne, et printemps faibles en moyenne et en variabilité (m\_expo\_sec\_xxx élevé, var\_expo\_sec\_xxx faibles), peu de gel printanier, sans variabilité (m\_expo\_gel\_ptps et var\_expo\_gel\_ptps faibles). Ce sont les alpages de Tarentaise (et BAL), et GRI du Vercors.
- La classe 3 est caractérisée par son exposition aux sécheresses d'automne, plus fortes et plus variables que pour la moyenne des 25 alpages. Cette classe regroupe les alpages de Maurienne et ceux du versant arrosé des Ecrins. Cette classe occupe sur le plan factoriel 1-2 (75% de l'inertie) une position intermédiaire entre les trois premiers types, avec des caractéristiques climatiques intermédiaires en termes de climat moyen et de variabilité, qui font qu'il y a peu de variable très discriminante pour cette classe. C'est un groupe qui reste assez hétérogène, et qui rassemble, au-delà des alpages de Maurienne, presque tous les alpages qui occupaient déjà des situations intermédiaires entre plusieurs classes dans les plans factoriels 1-2 des ACP précédentes : CHP, LAN et SAP, les alpages du côté arrosé des Ecrins (une exception cependant dans ces cas limites : GRI (Vercors) est dans cette analyse globale rattaché aux alpages de Tarentaise ; GRI est bien un alpage au climat « à part » pour le Vercors, qui ressemble plutôt à ROS, PLA, BAL, AVA, CHM sur l'ensemble des variables retenues pour l'analyse.

# Hierarchical Clustering

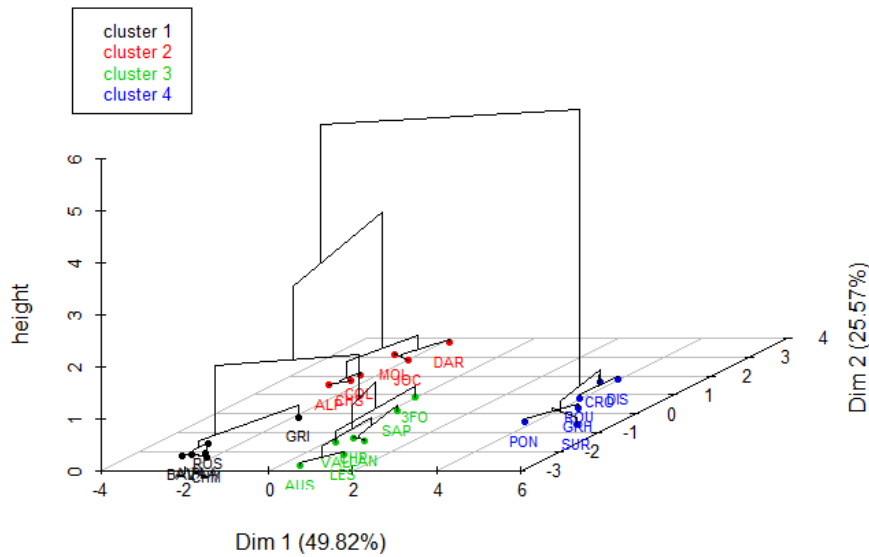


## Factor map





### Hierarchical clustering on the factor map



\$quantif`1`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
m_expo_sec_juil	3.063583	-0.8333333	-7.3200	2.7938424	5.829031	0.0021870
m_expo_sec_aut	2.748702	1.0000000	-0.2400	0.0000000	1.241934	0.0059831
m_expo_sec_ptps	2.159297	1.0000000	-1.1200	0.0000000	2.702887	0.0308271
m_expo_gel_ptps	-2.060489	0.1666667	2.0000	0.3726780	2.449490	0.0393518
var_expo_sec_ptps	-2.334975	0.1733333	4.2468	0.3145190	4.802711	0.0195447
var_expo_gel_ptps	-2.493112	0.6050000	2.4984	0.3165307	2.090764	0.0126628
var_expo_sec_aut	-2.829731	0.1366667	4.2028	0.1623439	3.955860	0.0046587
var_expo_sec_juil	-3.608046	3.9150000	12.3416	5.2188273	6.429613	0.0003085
\$quantif`2`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_q_bas_mur	3.985170	12.9433333	9.9416	1.1977432	2.073622	6.743e-05
m_expo_gel_ptps	3.371709	5.0000000	2.0000	2.8284271	2.449490	7.470e-04
m_expo_sec_aut	2.748702	1.0000000	-0.2400	0.0000000	1.241934	5.983e-03
var_expo_gel_ptps	2.475380	4.3783333	2.4984	1.0751344	2.090764	1.330e-02
var_expo_sec_aout	-2.017227	0.3233333	5.4216	0.7229953	6.957805	4.367e-02
m_etal_mat	-2.743649	25.5000000	55.5600	11.8427193	30.162334	6.076055e-03
var_expo_sec_aut	-2.753179	0.2466667	4.2028	0.5515634	3.955860	5.901e-03
var_etal_mat	-2.885525	6.3266667	11.0388	1.9728209	4.495699	3.907e-03
m_q_bas_mur	-3.158065	158.3333333	176.1600	5.3437398	15.540090	1.588e-03
\$quantif`3`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_expo_sec_aut	2.787992	7.812857	4.2028	0.8698886	3.955860	0.005303582
m_expo_sec_aut	-2.572367	-1.285714	-0.2400	0.4517540	1.241934	0.010100577
var_q_bas_mur	-2.652178	8.141429	9.9416	0.7433597	2.073622	0.007997447
\$quantif`4`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
var_expo_sec_ptps	4.587559	12.250000	4.2468	1.6718951	4.802711	4.484e-06
var_expo_sec_aout	4.518568	16.841667	5.4216	3.3266671	6.957805	6.225e-06
var_expo_sec_juil	3.371180	20.215000	12.3416	1.2282067	6.429613	7.484e-04
var_expo_gel_aut	3.019147	5.465000	4.1276	0.6258794	1.219499	2.534e-03
var_expo_sec_aut	2.651852	8.013333	4.2028	1.4425171	3.955860	8.005e-03
var_etal_mat	2.474672	15.080000	11.0388	2.9690178	4.495699	1.333e-02
m_expo_sec_aut	-2.793036	-1.500000	-0.2400	0.5000000	1.241934	5.221e-03
m_expo_sec_juil	-4.178186	-16.166667	-7.3200	1.3437096	5.829031	2.938e-05

m_expo_sec_ptps	-4.291433	-5.333333	-1.1200	1.7950549	2.702887	1.775e-05
m_expo_sec_aout	-4.599337	-11.000000	-2.6000	2.7080128	5.027922	4.238e-06

Figure 108 : classification ascendante hiérarchique des alpages selon les variables climatiques retenues dans l'ACP « moyenne +variabilité » ; représentation des classes dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP ; contribution des variables à la caractérisation des classes

## 5 Variables mobilisées dans les trois ACP de caractérisation de l'exposition aux aléas climatiques des 25 alpages sentinelles

Identifiant alpage - exploitation	Variables							
	moy_duree_secheresse_estivale	moy_duree_froid_hivernal	moy_precipiteprintemps	moy_precipiteautomne	var_duree_secheresse_estivale	var_duree_froid_hivernal	var_precipiteprintemps	var_precipiteautomne
3FO-DJ	35	195	120	259	37,43	23,99	11,82	22,09
ALP-BP	4	78	52	240	10,17	34,23	29,00	9,21
AUS-GL	35	195	120	259	37,43	23,99	11,82	22,09
AUS-JD	35	195	120	259	37,43	23,99	11,82	22,09
AVA-NB	7	147	88	246	16,70	28,14	24,35	10,46
AVA-PD	7	173	111	246	16,70	17,52	7,46	10,46
BAL-FM	35	195	120	259	37,43	23,99	11,82	22,09
BES-CB	20	212	132	253	34,64	20,98	9,35	19,16
CHM-PR	7	194	121	246	16,53	16,61	11,41	10,46
CHP-LA	145	22	32	270	48,35	15,07	26,14	23,78
CHP-MA	3	186	119	242	8,66	21,07	14,90	5,46
CHP-MF	3	186	119	242	8,66	21,07	14,90	5,46
CHS-BO	2	107	63	243	8,04	30,50	28,61	5,27
COL-PV	23	51	34	241	27,64	24,01	25,18	15,26
CRO-GM	79	153	100	270	35,10	28,29	19,63	23,03
DAR-GR	55	68	46	255	47,41	29,76	28,82	20,19
DIS-EL	89	142	93	274	27,70	20,51	16,23	23,25
DIS-ET	89	142	93	274	27,70	20,51	16,23	23,25
GRH-HB	65	165	109	267	32,58	16,02	12,94	22,78
GRH-PM	114	103	68	281	38,36	21,48	19,67	24,46
GRH-VB	65	165	109	267	32,58	16,02	12,94	22,78
GRI-ML	165	15	32	277	55,30	8,13	21,90	26,23
JOC-TL	28	116	68	244	32,27	20,96	25,99	14,37
LAN-PC	130	20	36	268	43,22	15,20	23,38	23,33
MOL-VS	7	157	97	238	13,69	36,45	31,72	11,76
PLA-GT	7	145	86	246	16,70	27,65	24,33	10,46
PON-HP	80	127	81	264	28,85	28,57	26,90	21,99
PON-LM	89	61	44	265	27,72	36,54	25,51	22,77
PON-OB	64	152	102	262	35,26	15,38	15,65	23,37
ROS-PP	7	145	86	246	16,70	27,65	24,33	10,46
ROU-GS	50	153	101	258	39,78	34,64	31,97	27,59
SAP-GF	3	148	88	242	8,66	38,07	32,97	5,46
SUR-JB	60	134	87	260	40,29	31,14	29,50	26,03
VAL-SV	32	197	121	256	35,37	23,01	11,92	18,22

## 6 Comparaison des climats « moyens » des exploitations

Pour chaque exploitation, qui constitue un individu des analyses multivariées, nous calculons la moyenne et l'écart-type de ces quatre indicateurs sur la même période temporelle que celle mobilisée pour la caractérisation du climat des alpages, à savoir les 13 années de 2000 à 2012. Ces valeurs constituent les variables utilisées dans les ACP et les CAH.

Une analyse des coefficients de corrélation linéaire entre les moyennes et les écarts-types de ces indicateurs pour les différentes exploitations fait apparaître que les indicateurs corrélés pour les moyennes et ceux corrélés pour la variabilité ne sont pas les mêmes (Figure 109). Ainsi la durée moyenne de l'hiver et la précocité moyenne du printemps sont - assez logiquement - très fortement corrélées (coefficient de corrélation de 0,99) : les exploitations subissant en moyenne les hivers les plus longs sont celles qui ont en moyenne les printemps les plus tardifs et inversement. En revanche, les exploitations subissant des hivers de longueurs variables ne sont pas forcément celles qui ont les plus grandes variabilités dans la précocité du printemps (coefficient de corrélation de 0,63) : on peut supposer que la variabilité de la durée de l'hiver tient beaucoup à sa date de démarrage. Enfin les corrélations sont fortes entre la durée de la sécheresse estivale et la précocité de l'automne, que ce soit en termes de moyenne ou de variabilité.

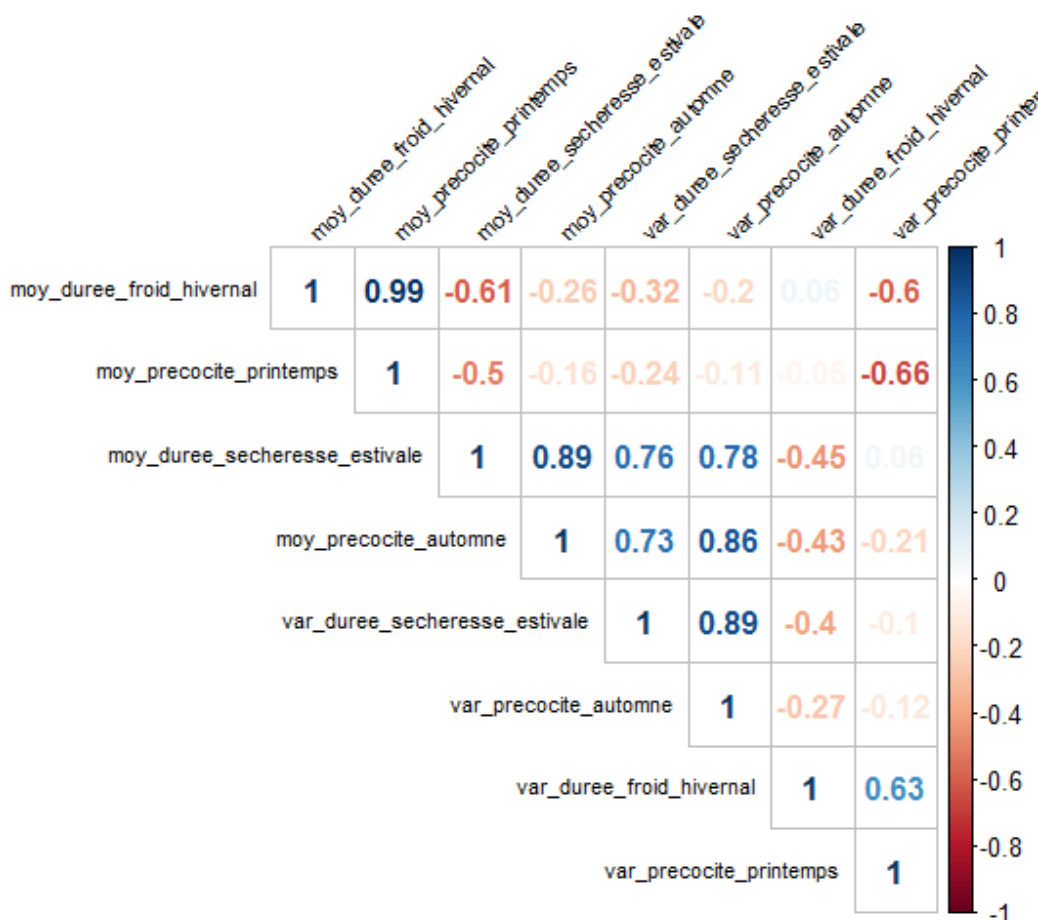
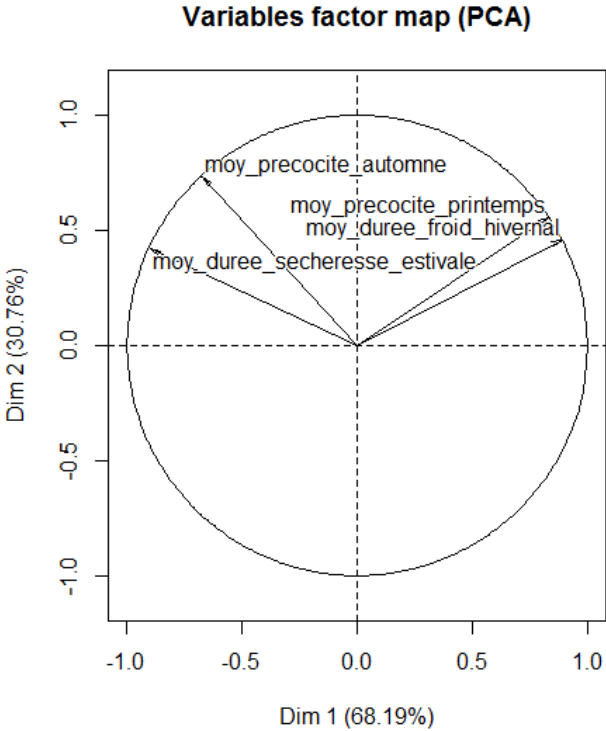
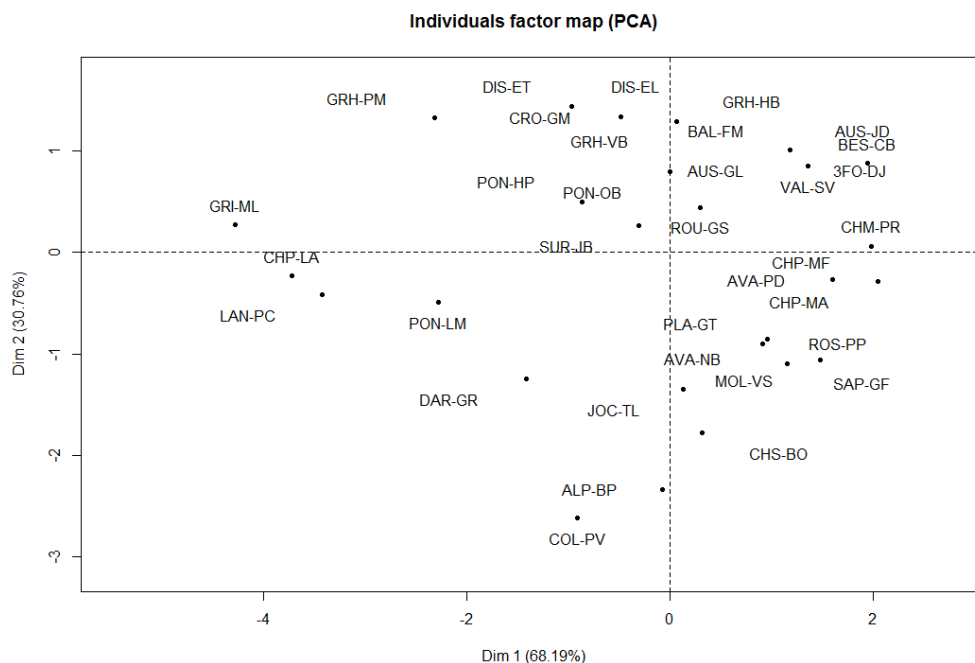


Figure 109 : Matrice de corrélation des variables sélectionnées pour la réalisation des ACP servant à la caractérisation du climat des exploitations de notre échantillon.

L'intérêt d'une ACP lorsqu'il n'y a que quatre variable (dont certaines sont fortement corrélées) est sans doute assez limité ; néanmoins par souci d'adopter une méthode homogène pour tous les

traitements statistiques nous associons une ACP et une CAH systématiquement. Les deux premières dimensions de l'ACP réalisée sur les 4 variables de caractérisation du climat « moyen » des exploitations contiennent pratiquement toute (98,95%) l'inertie totale (l'inertie est la variance totale du tableau de données, i.e. la trace de la matrice des corrélations) (Figure 110). On retrouve les corrélations identifiées précédemment entre les différentes variables : date moyenne de début de printemps et durée moyenne de l'hiver ont pratiquement les mêmes coordonnées dans les deux dimensions de l'ACP ; date moyenne de début d'automne et durée moyenne de l'été sont proches également.





### Dim.1

	correlation	p.value
moy_duree_froid_hivernal	0.8867717	2.948119e-12
moy_precocite_printemps	0.8274971	1.588372e-09
moy_precociteautomne	-0.6706654	1.423682e-05
moy_duree_secheresse_estivale	-0.8982525	5.802442e-13

### Dim.2

	correlation	p.value
moy_precociteautomne	0.7322293	8.565704e-07
moy_precocite_printemps	0.5552117	6.537702e-04
moy_duree_froid_hivernal	0.4594337	6.267993e-03
moy_duree_secheresse_estivale	0.4183322	1.381143e-02

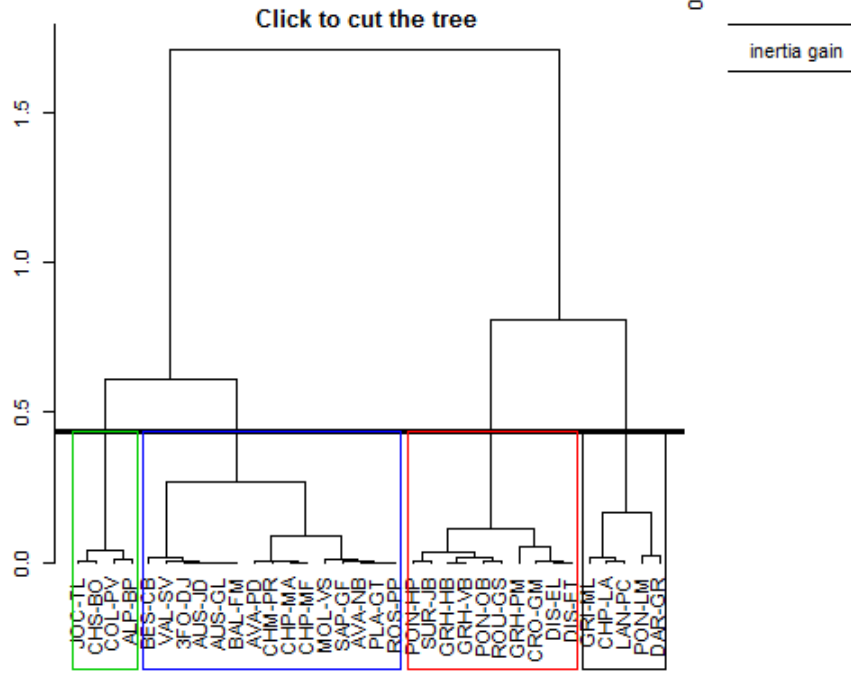
Figure 110 : Répartition des variables et des individus s sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales de caractérisation du climat moyen de exploitation ; contribution des variables à ces axes

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) sur les composantes principales nous permet de regrouper les alpages par classe les ressemblances des valeurs moyennes prises par les indicateurs agrométéorologiques retenus. Le graphique présentant les gains d'inertie lorsqu'on passe d'un nombre de classe à un nombre supérieur suggère un classement en trois classes (Figure 111) :

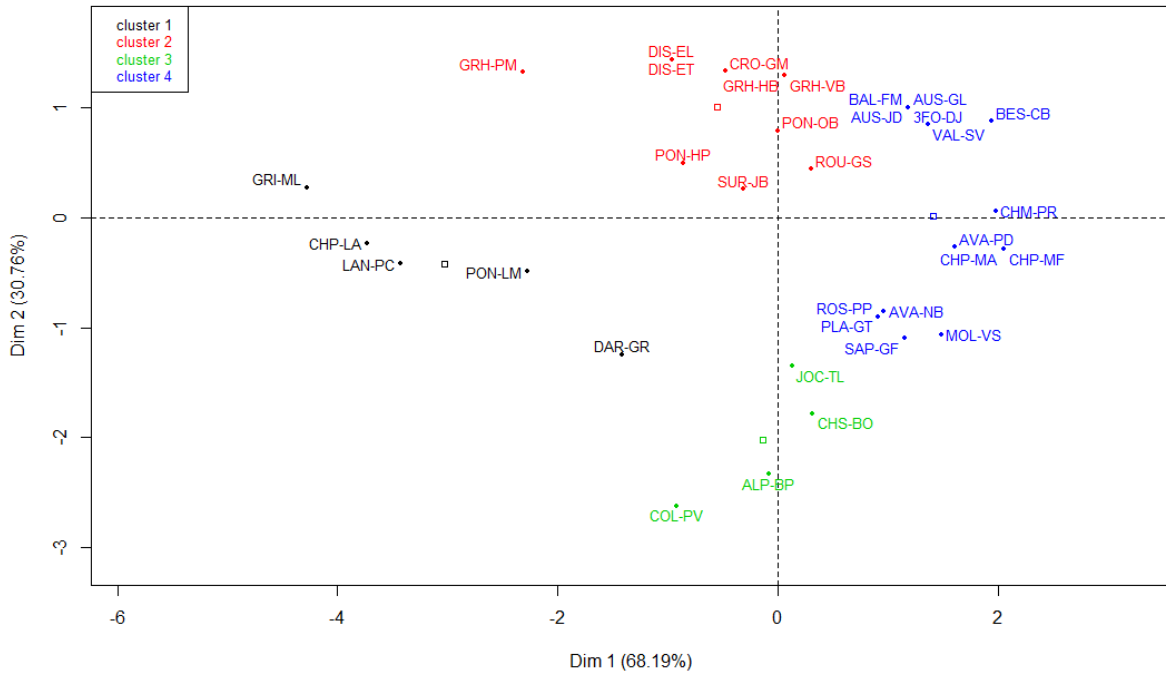
- la première classe rassemble 5 exploitations. Elle est caractérisée d'abord par une sécheresse estivale marquée en moyenne (moy\_duree\_secheresse\_estivale élevée) et un hiver assez court (moy\_durée\_froid\_hiver court). Cette classe connaît aussi (assez logiquement) un printemps plus précoce que la moyenne de l'échantillon d'exploitation et un automne qui démarre plus tardivement (moy\_precocite\_printemps faible et moy\_precociteautomne élevé). Ce groupe rassemble deux types de situations assez différentes : les exploitations méditerranéennes avec des étés très longs et des hivers réduits (GRI\_MI, CHP\_LA, LAN\_PC), et deux exploitations situées l'une en moyenne montagne dans les Préalpes du sud (PON-LM) et l'autre en plaine au pied du Vercors (DAR-GR), et qui subissent des été moins marqués et des hivers plus longs.

- La seconde classe rassemble 10 exploitations caractérisée par un printemps en moyenne plus précoce que pour l'ensemble de l'échantillon (moy\_precocite\_printemps faible), un automne qui démarre plus tôt (moy\_precocite\_automne faible), et un hiver plus court (moy\_duree\_froid\_hivernal faible). Ce sont des exploitations de montagne situées sur le versant sec (vallée interne) du massif des Ecrins.
- La troisième classe est composé de 4 exploitations, qui se distinguent des autres par un automne qui démarre plus tardivement (moy\_precocite\_automne élevé). Ces exploitations sont situées en plaine (COL-PV) ou sur les contreforts des massifs des Alpes du Nord (JOC-TL, CHS-BO, ALP-BP).
- La quatrième classe regroupe 15 exploitations, caractérisées par un hiver long (moy\_duree\_froid\_hivernal élevé), des sécheresses estivales courtes (moy\_secheresse\_estivale faible), et leurs corollaires que sont un printemps tardif (moy\_precocite\_printemps élevé) et un automne précoce (moy\_precocite\_automne faible). Il est composé des exploitations situées en Vanoise, ou situées en montagne sur des massifs arrosés (Vercors, versants ouest et nord arrosé des Ecrins). A noter qu'une partition supplémentaire de ce groupe aurait conduit à distinguer les exploitations de Maurienne (vallée interne de Vanoise, aux sécheresses plus marquées) des autres.

# Hierarchical Clustering

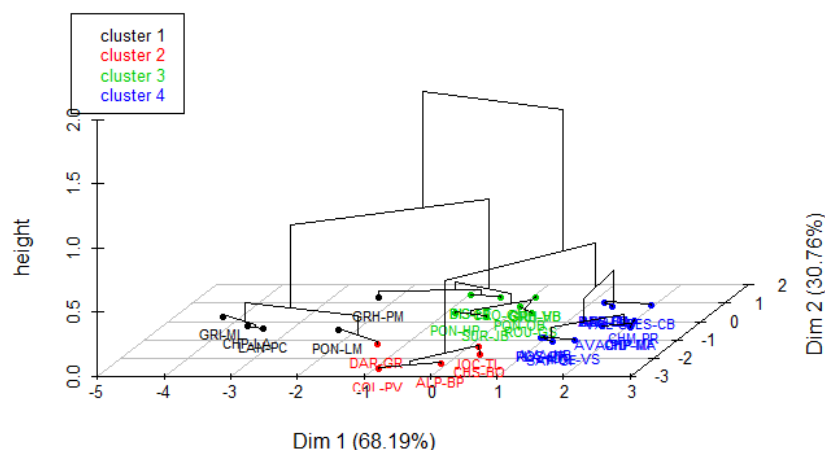


## Factor map





### Hierarchical clustering on the factor map



Classe 1		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd
d	p.value					
moy_duree_secheresse_estivale	4.379431		128.6	48.20588	25.989229	43.7874
4	1.189896e-05					
moy_precocite_automne	3.118989		272.2	256.44118	5.912698	12.0518
3	1.814726e-03					
moy_precocite_printemps	-3.642489		42.4	88.17647	13.529228	29.9769
2	2.700147e-04					
moy_duree_froid_hivernal	-4.044439		44.2	136.58824	33.677292	54.4880
5	5.244845e-05					
Classe 2		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd
	p.value					
moy_duree_froid_hivernal	-2.302132		84.0	136.58824	24.223955	54.48805 0.0
21327715						
moy_precocite_automne	-2.343608		244.6	256.44118	5.388877	12.05183 0.0
19098244						
moy_precocite_printemps	-2.830863		52.6	88.17647	12.126005	29.97692 0.0
04642267						
Classe 3		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd
	p.value					
moy_precocite_automne	2.79731		266.2222	256.4412	5.431958	12.05183 0.005153
005						
Classe 4		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd
d	p.value					
moy_duree_froid_hivernal	3.879254		178.0000	136.58824	22.452914	54.4880
5	0.0001047772					
moy_precocite_printemps	3.693195		109.8667	88.17647	15.443949	29.9769
2	0.0002214542					
moy_precocite_automne	-3.038541		249.2667	256.44118	7.196913	12.0518
3	0.0023772657					
moy_duree_secheresse_estivale	-3.730835		16.2000	48.20588	13.437262	43.7874
4	0.0001908462					

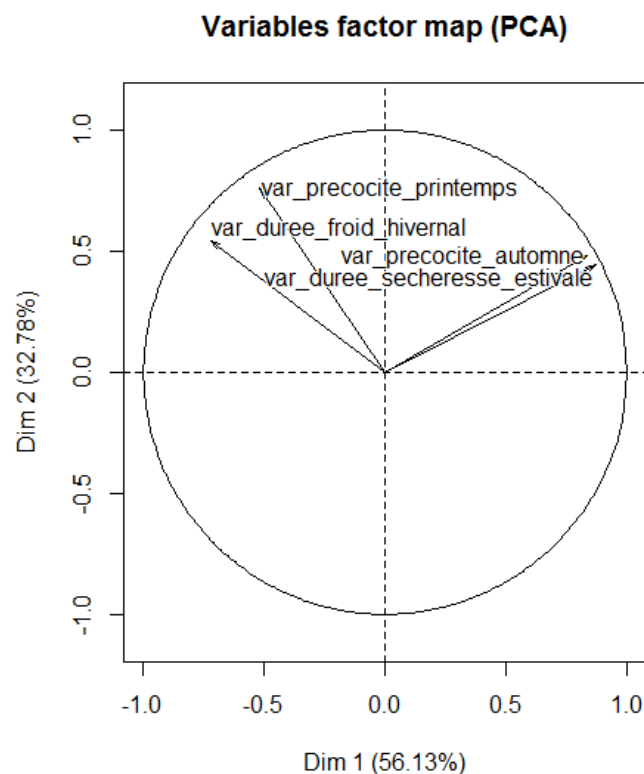
Figure 111 : classification ascendante hiérarchique des exploitations selon les variables climatiques retenues dans l'ACP « moyenne » ; représentation des classes dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP ; contribution des variables à la caractérisation des classes

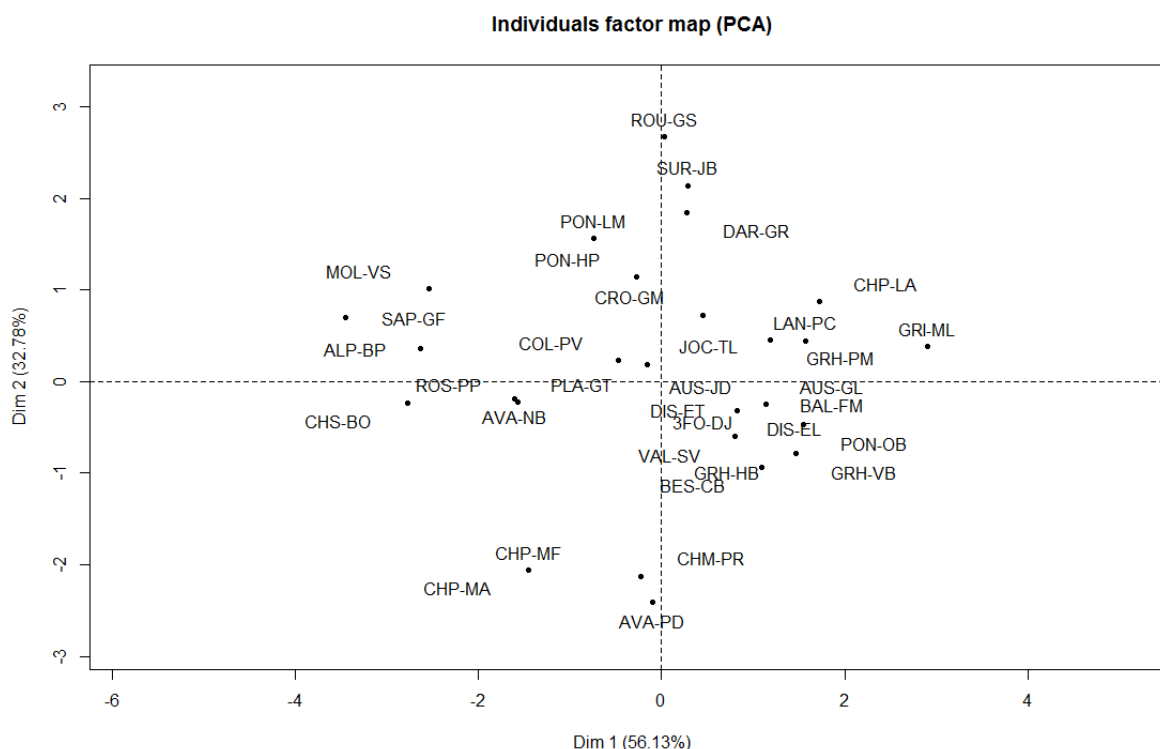
## 7 Comparaison de la variabilité climatique sur les exploitations

Si l'on s'intéresse à la variabilité climatique selon les mêmes indicateurs agrométéorologiques, on a là aussi des variables fortement corrélées deux à deux (Figure 109), mais ce ne sont pas les mêmes couples d'indicateurs agrométéorologiques que pour les moyennes (Figure 109 et Figure 112). L'écart-type de la durée de la sécheresse automnale est corrélé à celui de la date de début d'automne, et l'écart-type de la durée de l'hiver est corrélé à celui de la date de début de printemps. Cela signifie que les exploitations dont la sécheresse estivale varie beaucoup ont également des dates de début d'automne qui varient beaucoup. Ces différences de corrélation entre valeurs moyennes et écarts-type des indicateurs agrométéorologiques sont assez logiques. Par exemple, dans le cas d'un climat moyen chaud, le printemps sera précoce, et l'été long. Dans le cas d'un climat où la durée de la sécheresse est variable, cette variabilité pourra se répercuter sur la date de début de l'été (que l'on n'a pas conservée comme indicateur) et sur la date de début de l'automne. Mais elle n'est pas directement liée à la date de début de printemps.

Il est également intéressant de noter que les 4 variables ne sont pas toutes corrélées : les exploitations ne sont pas réparties sur un seul axe opposant des cas où tous les paramètres varient beaucoup et d'autres où aucun ne varie. Autrement dit il n'y a pas des climats stables et d'autres variables, mais des climats qui ne varient pas sur les mêmes aléas.

Les deux premiers axes de l'ACP (Figure 112) portent 88,91 % de l'inertie.





**Dim.1**

	correlation	p.value
var_duree_secheresse_estivale	0.8711949	2.064058e-11
var_precocite_automne	0.8342839	8.801150e-10
var_precocite_printemps	-0.5171574	1.736706e-03
var_duree_froid_hivernal	-0.7230557	1.364167e-06

**Dim.2**

	correlation	p.value
var_precocite_printemps	0.7637960	1.479295e-07
var_duree_froid_hivernal	0.5454503	8.493040e-04
var_precocite_automne	0.4845239	3.685731e-03
var_duree_secheresse_estivale	0.4421092	8.846204e-03

**Dim.3**

	correlation	p.value
var_duree_froid_hivernal	0.4185876	0.01374771
var_precocite_printemps	-0.3831923	0.02528878

Figure 112 : Répartition des variables sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales réalisée sur les écarts-types des indicateurs agrométéorologiques, et contribution des variables à ces axes

Lorsqu'on s'intéresse à la variabilité climatique, les positions relatives des exploitations apparaissent assez différentes des positions qu'elles ont en termes de climat moyen. Le graphique des gains d'inertie de la CAH suggère un classement en trois classes. Les exploitations qui bien que très proches géographiquement, se retrouvent dans des classes différentes à l'issue de la CAH. Le graphique des gains d'inertie suggère un classement en quatre classes (Figure 113) :

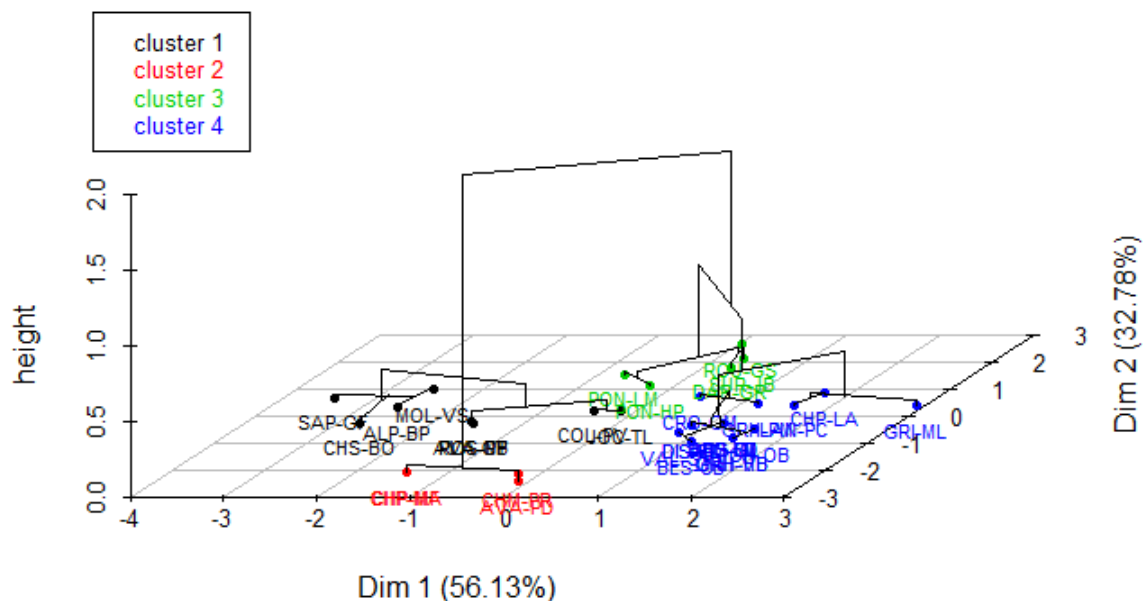
- La classe 1 regroupe 9 alpages. Cette classe est caractérisée par une variabilité faible dans la date de début d'automne (var\_precocite\_automne faible) et dans la durée de la sécheresse estivale (var\_duree\_secheresse\_estivale faible) et une variabilité importante dans la durée

de l'hiver (*var\_duree\_froid\_hivernal* élevé) et dans la précocité du printemps (*var\_precocite\_printemps* élevé). Ce groupe est constitué de 8 exploitations de montagne arrosée (Vanoise, Ouest des Ecrins et Vercors) et une exploitation de plaine en Isère (COL-PV), qui subissent peu de variabilité sur le plan des sécheresses (il fait rarement sec, et jamais longtemps). Le mode de construction de l'indicateur de date de début d'automne peut accentuer la faible variabilité de cet indicateur (date fixe lorsqu'il n'y a pas de sécheresse estivale). L'hiver qui est assez long pour ces exploitations, présente plus de variabilité que pour les exploitations du premier groupe, tout comme la date de début du printemps.

- la classe 2 comprend 4 exploitations. Elle est caractérisée par une faible variabilité de la date de début de l'automne et du printemps (*var\_precocite\_automne* et *var\_precocite\_printemps* faibles), et une faible variabilité dans la durée des sécheresses estivales. Ce sont deux exploitations du Haut Oisans (Nord arrosé des Ecrins) et de deux exploitations de Tarentaise (versant arrosé de Vanoise) caractérisées par une très faible variabilité climatique, sauf pour la durée de l'hiver (donc la durée varie uniquement avec la variation des dates de fin de l'automne).
- La 3<sup>ème</sup> classe rassemble 5 exploitations caractérisées par une forte variabilité dans la date de démarrage du printemps (*var\_precocite\_printemps* élevée) et dans la longueur de l'hiver (*var\_duree\_froid\_hivernal* élevée). Ce sont quatre exploitations de moyenne montagne plutôt au sud (Hautes-Alpes, Alpes de Haute Provence) et 1 exploitation de plaine plutôt au nord (Nord Drôme). Ces exploitations connaissent en fait de la variabilité pour tous les indicateurs, mais avec des niveaux de variabilité limités par rapport aux autres groupes.
- la 4<sup>ème</sup> classe rassemble 16 exploitations. Cette classe est caractérisée par une variabilité importante de la date du démarrage de l'automne (*var\_precocite\_automne* élevée) et de la durée de la sécheresse estivale (*var\_duree\_secheresse\_estivale* élevée), deux variables liées, et par une variabilité faible de la précocité du printemps (*var\_precocite\_printemps* faible) et de la durée de l'hiver (*var\_duree\_froid\_hivernal* faible). On a dans ces 17 exploitations les 3 exploitations de plaine méditerranéennes (qui constituent une sous-classe de la CAH), subissant une très forte variabilité interannuelle dans la durée des sécheresses (qui sont toujours très longues, alors que l'hiver est très peu marqué), et 15 exploitations des vallées sèches internes de Vanoise (Maurienne) et des Ecrins, ainsi qu'une exploitation du Gapençais (vallée interne également), avec une variabilité moindre des sécheresses estivales (qui sont moins longues, avec des hivers plus marqués).



## Hierarchical clustering on the factor map



\$quantif\$`1`						
		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall s
d	p.value					
var_duree_froid_hivernal	3.158801	31.812857	24.15118	4.077285	7.09456	
7	0.0015841955					
var_precocite_printemps	2.967762	27.901429	20.32676	3.382807	7.46549	
1	0.0029997621					
var_duree_secheresse_estivale	-3.676009	12.951429	28.85441	3.644481	12.65395	
2	0.0002369114					
var_precocite_automne	-3.691336	9.011429	17.79765	2.405354	6.96213	
6	0.0002230792					
\$quantif\$`2`						
		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall s
d	p.value					
var_precocite_printemps	-2.292551	12.1675	20.32676	3.068692	7.46549	
1	0.021873869					
var_duree_secheresse_estivale	-2.688242	12.6375	28.85441	3.977954	12.65395	
2	0.007182937					
var_precocite_automne	-2.963979	7.9600	17.79765	2.500000	6.96213	
6	0.003036895					
\$quantif\$`3`						
		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall s
p.value						
var_precocite_printemps	2.714965	26.68750	20.32676	3.434413	7.465491	0.006628275
var_duree_froid_hivernal	2.285073	29.23875	24.15118	4.790526	7.094567	0.022308535
\$quantif\$`4`						
		v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall s
d	p.value					

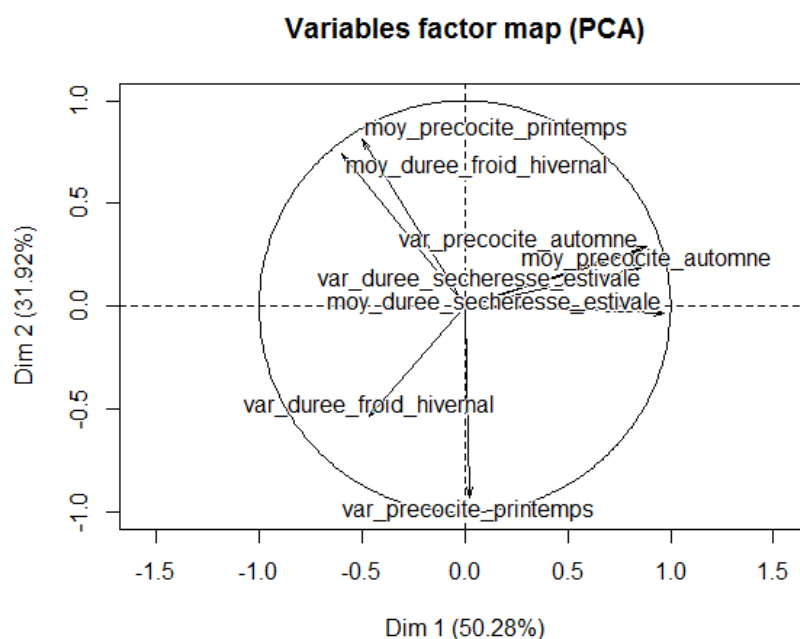
var_precocite_automne	3.519301	22.59800	17.79765	1.864097	6.96213
6 0.0004326850					
var_duree_secheresse_estivale	3.441086	37.38533	28.85441	6.957345	12.65395
2 0.0005793834					
var_precocite_printemps	-3.248568	15.57533	20.32676	4.848173	7.46549
1 0.0011598767					
var_duree_froid_hivernal	-3.549168	19.21800	24.15118	4.535090	7.09456
7 0.0003864502					

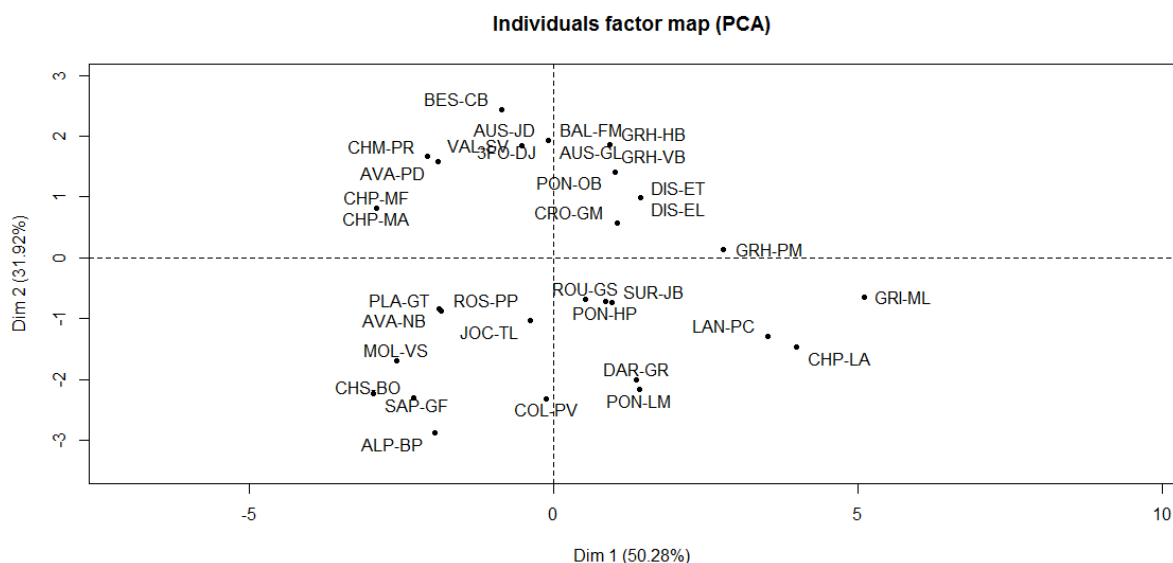
Figure 113 : classification ascendante hiérarchique des exploitations selon les variables climatiques retenues dans l'ACP « variabilité » ; représentation des classes dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP ; contribution des variables à la caractérisation des classes

## 8 Comparaison de l'exposition aux aléas climatiques sur les exploitations

Les deux premiers axes de l'ACP (Figure 114) portent 82,20 % de l'inertie. Les différentes dimensions de l'ACP sont bien représentées sur les deux premiers axes, sauf la variabilité de la durée de l'hiver, qui est répartie sur les trois premiers axes. La corrélation entre 4 variables (Figure 109) ressort fortement : moyenne et écart-type de la date de début de l'automne, moyenne et écart-type de la durée de la sécheresse estivale. Il en est de même pour la corrélation entre la date moyenne de début du printemps et la durée moyenne de l'hiver. Ces corrélations ont pour partie été discutées dans les ACP précédentes.

On notera que les durées moyennes des sécheresses et l'écart-type de la durée des sécheresses sont très corrélées : les exploitations qui subissent les sécheresses les plus longues en moyenne sont aussi celles qui subissent le plus de variabilité dans la durée des sécheresses. en revanche la durée moyenne de l'hiver n'est pas corrélée à l'écart-type de la durée de l'hiver. La durée de l'hiver ne présage donc en rien de la variabilité interannuelle de cette durée.





**Dim.1**

	correlation	p.value
moy_duree_secheresse_estivale	0.9687516	6.070480e-21
moy_precocite_automne	0.8813711	5.968335e-12
var_duree_secheresse_estivale	0.8712647	2.047296e-11
var_precocite_automne	0.8555454	1.149240e-10
var_duree_froid_hivernal	-0.4607204	6.105353e-03
moy_precocite_printemps	-0.4989768	2.665117e-03
moy_duree_froid_hivernal	-0.5952638	2.043860e-04

**Dim.2**

	correlation	p.value
moy_precocite_printemps	0.8151565	4.365003e-09
moy_duree_froid_hivernal	0.7411598	5.346153e-07
var_duree_froid_hivernal	-0.5364812	1.072710e-03
var_precocite_printemps	-0.9249507	5.419731e-15

**Dim.3**

	correlation	p.value
var_duree_froid_hivernal	0.6802172	9.617362e-06
var_precocite_automne	0.4027063	1.821133e-02

Figure 114 : Répartition des variables et des individus sur les trois premiers axes de l'analyse en composantes principales de caractérisation du climat des exploitations ; contribution des variables aux axes de l'ACP

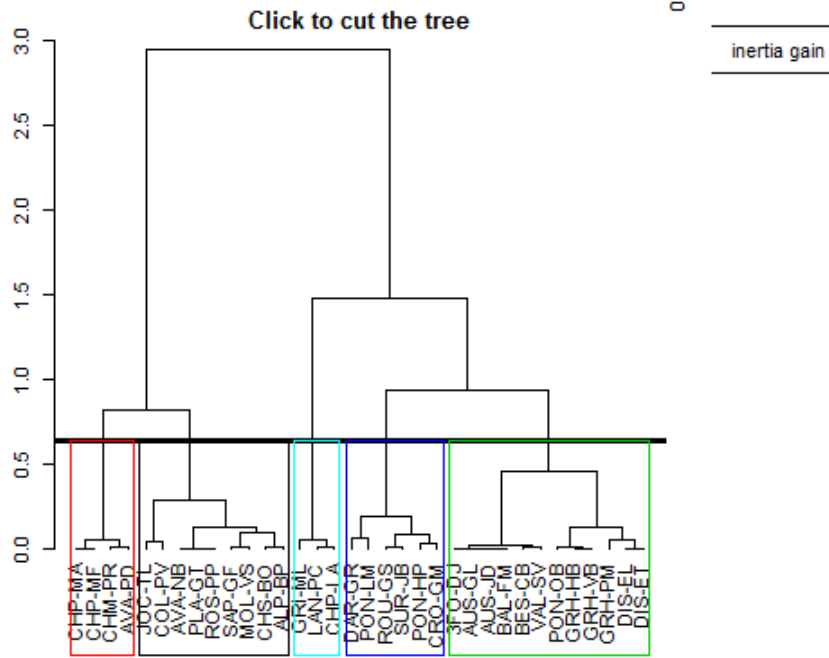
Le graphique des gains d'inertie suggère un classement en cinq classes (Figure 115) :

- La classe 1 rassemble 4 exploitations. Ces exploitations sont caractérisées par des dates de début d'automne et de printemps peu variables (var\_precocite\_automne et var\_precocite\_printemps faibles), des durées de sécheresses estivales peu variables (var\_duree\_secheresse\_estivale faible) et courtes en moyenne (moy\_duree\_secheresse\_estivale faible), et enfin un automne qui démarre tôt (moy\_precocite\_automne faible) et un printemps qui démarre tard (moy\_precocite\_printemps élevé). Cette classe rassemble des exploitations situées haut en altitude : celles du Haut Oisans et les plus hautes de Tarentaise.

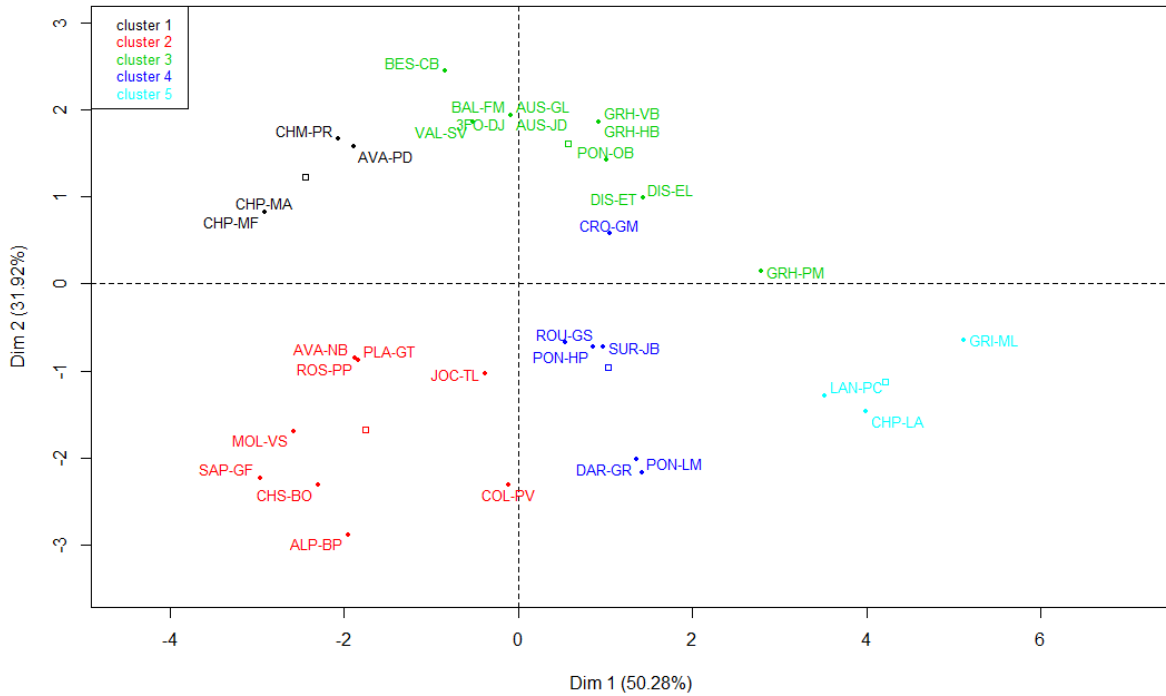


- La classe 2 rassemble 9 exploitations caractérisées par un automne précoce dont la date de début varie peu (*moy\_precocite\_printemps* et *var\_precocite\_printemps* faibles), en lien (cf. biais probable de construction de l'indicateur de début d'automne évoqué plus haut) avec des sécheresses courtes et variant peu (*moy\_duree\_secheresse\_estivale* et *var\_duree\_secheresse\_estivale* faibles), et enfin par printemps dont la date de démarrage varie plus que la moyenne de l'échantillon, tout comme la durée de l'hiver (*var\_precocite\_printemps* et *var\_duree\_froid\_hivernal* élevés). Cette classe rassemble les exploitations de moyenne montagne des Alpes du Nord (Chartreuse, Vercors, Vanoise).
- La classe 3 est caractérisée par un printemps dont la date de début varie fortement d'une année sur l'autre (*var\_precocite\_printemps* élevé), qui est en moyenne tardif (*moy\_precocite\_printemps* élevé). La durée de l'hiver est longue (*moy\_duree\_froid\_hivernal* élevée), l'automne est tardif et son démarrage est variable (*moy\_precocite\_automne* élevé et *var\_precocite\_automne* élevé). Cette classe regroupe 12 exploitations de montagne dans les vallées internes des Ecrins et de Vanoise (Maurienne).
- La classe 4 est caractérisé par une forte variabilité dans la durée de l'hiver, la date de démarrage du printemps, et de l'automne (*var\_duree\_froid\_hivernal*, *var\_precocite\_printemps*, *var\_precocite\_automne* élevés). Cette classe regroupe 6 exploitations situées dans les Alpes du Sud (y compris le Sud et le Sud-Ouest du massif des Ecrins) ou en plaine (Drôme).
- La classe 5 est caractérisée d'abord par des sécheresses longues (*moy\_duree\_secheresse\_estivale* élevé) et des hivers courts (*moy\_duree\_froid\_hivernal* faible), avec leurs corollaires que sont des printemps précoces (*moy\_precocite\_printemps* faible) et des automnes tardifs en moyenne (*moy\_precocite\_automne* élevé). ils sont enfin caractérisés par un niveau élevé de variabilité dans la durée de la sécheresse estivale et de l'hiver (*var\_duree\_secheresse\_estivale* et *var\_duree\_froid\_hivernal* élevés). Cette classe regroupe les 3 exploitations de plaine des Bouches du Rhône.

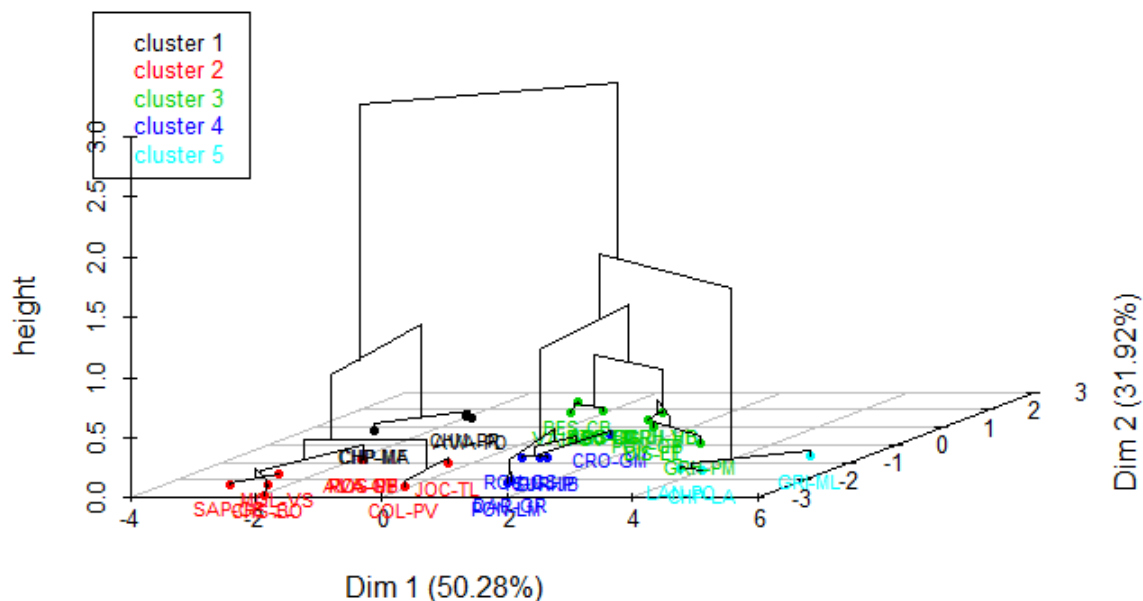
# Hierarchical Clustering



## Factor map



## Hierarchical clustering on the factor map



\$quantif\$`1`		v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall s			
d	p.value				
moy_precocite_printemps	2.051897	117.5000	88.17647	3.840573	29.97692
3	0.040179687				
moy_duree_secheresse_estivale	-2.069758	5.0000	48.20588	2.000000	43.78744
1	0.038474974				
moy_precocite_automne	-2.165384	244.0000	256.44118	2.000000	12.05182
7	0.030358303				
var_precocite_printemps	-2.292551	12.1675	20.32676	3.068692	7.46549
1	0.021873869				
var_duree_secheresse_estivale	-2.688242	12.6375	28.85441	3.977954	12.65395
2	0.007182937				
var_precocite_automne	-2.963979	7.9600	17.79765	2.500000	6.96213
6	0.003036895				
\$quantif\$`2`		v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall s			
d	p.value				
var_precocite_printemps	3.259482	27.386667	20.32676	3.140747	7.46549
1	0.0011161603				
var_duree_froid_hivernal	2.715206	29.740000	24.15118	5.337167	7.09456
7	0.0066234603				
moy_duree_secheresse_estivale	-3.024876	9.777778	48.20588	8.676632	43.78744
1	0.0024873482				
var_duree_secheresse_estivale	-3.302499	16.730000	28.85441	7.841759	12.65395
2	0.0009582734				
var_precocite_automne	-3.711302	10.301111	17.79765	3.219549	6.96213
6	0.0002061957				
moy_precocite_automne	-3.875859	242.888889	256.44118	2.726188	12.05182
7	0.0001062493				
\$quantif\$`3`					

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	
p.value						
moy_precocite_printemps	3.312779	111.58333	88.17647	11.968419	29.976923	0.0
009237408						
moy_duree_froid_hivernal	3.042791	175.66667	136.58824	23.872346	54.488055	0.0
023439534						
var_precocite_automne	2.571019	22.01667	17.79765	1.572224	6.962136	0.0
101399780						
moy_precocite_automne	2.396930	263.25000	256.44118	6.684871	12.051827	0.0
165330614						
var_precocite_printemps	-3.871602	13.51417	20.32676	2.719352	7.465491	0.0
001081226						
`4`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	
p.value						
var_duree_froid_hivernal	2.682600	32.130	24.15118	3.000627	7.094567	0.00
7305225						
var_precocite_printemps	2.624212	28.540	20.32676	2.219703	7.465491	0.00
8684977						
var_precocite_automne	2.027004	23.714	17.79765	2.708103	6.962136	0.04
2662041						
`5`						
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall s	
d p.value						
moy_duree_secheresse_estivale	4.325499	138.5000	48.20588	18.821530	43.78744	
1 1.521868e-05						
moy_precocite_automne	3.056109	274.0000	256.44118	5.244044	12.05182	
7 2.242296e-03						
var_duree_secheresse_estivale	2.893160	46.3075	28.85441	6.279576	12.65395	
2 3.813869e-03						
var_precocite_automne	2.004283	24.4500	17.79765	1.103608	6.96213	
6 4.503973e-02						
var_duree_froid_hivernal	-2.714556	14.9700	24.15118	4.723045	7.09456	
7 6.636468e-03						
moy_precocite_printemps	-3.231172	42.0000	88.17647	15.099669	29.97692	
3 1.232839e-03						
moy_duree_froid_hivernal	-3.718341	40.0000	136.58824	36.462309	54.48805	
5 2.005351e-04						

Figure 115 : classification ascendante hiérarchique des exploitations selon les variables climatiques retenues dans l'ACP « moyenne » ; représentation des classes dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP ; contribution des variables à la caractérisation des classes





Adaptation au changement climatique sur les alpages. Modéliser le système alpage-exploitations pour renouveler les cadres d'analyse de la gestion des alpages par les systèmes pastoraux.

Les alpages sont des espaces utilisés par la majorité des exploitations d'élevage de montagne et de Provence, qui y envoient tout ou partie de leurs troupeaux durant la saison estivale. Ce sont des milieux très riches sur le plan environnemental, mais aussi très fragiles et gérés exclusivement par le pâturage des troupeaux, constituant de ce fait des espaces particuliers dans la problématique de l'adaptation au changement climatique pour les systèmes d'élevage provençaux et de montagne. Or le constat est fait que les approches de diagnostic d'alpage et les références utilisées au plan pastoral présentent des lacunes pour appréhender la gestion dynamique des alpages : vision statique des végétations d'alpage et des pratiques, prise en compte des aléas et de la variabilité interannuelle souvent réduite à un coefficient forfaitaire de sécurité... et pas de prise en considération des interactions entre alpage et exploitations utilisatrices. Afin de renouveler ces cadres d'analyse, notre travail de thèse propose une modélisation conceptuelle du fonctionnement du système « alpage-exploitations », intégrant les plans biophysique et de la gestion. La construction du modèle s'appuie sur la combinaison de travaux en écologie et en agronomie « système », et de dires d'expert (modélisation participative). Le modèle est mis à l'épreuve sur une diversité de cas, issus du réseau Alpages Sentinelles dans le massif Alpin. Une analyse de la vulnérabilité des systèmes à la recrudescence des aléas climatiques est effectuée en étudiant leur exposition aux aléas puis leur sensibilité ; afin d'intégrer la dynamique de long terme du changement climatique dans la gestion des alpages, une analyse mobilisant les théories de la résilience socio-écologique est proposée en complément.

**Mots-clés :** alpage, estive, système d'élevage, système fourrager, vulnérabilité, résilience, adaptation au changement climatique, modélisation participative

Adaptation to climate change on alpine pastures. Modelling the alpine pasture - farms systems to renew the analytical framework of alpine pastures management by pastoral farming systems.

Alpine pastures, or mountain summer pastures can be defined as permanent grasslands used in summer by mountain and surrounding plains farmers (especially Provence in the French Alps). They are rich but fragile ecosystems, managed exclusively through the grazing of herds. Therefore adaptation to climate change is very specific on these spaces. Pastoral diagnosis methods and technical references are insufficient to analyse dynamic management of summer mountain pastures: static vision of vegetation and practices, climatic hazards considered only through a security coefficient, and no consideration for interactions between summer pastures and farms. In order to renew these analytical frameworks, our PhD thesis proposes a conceptual model of how the system "mountain summer pastures-farm" works, both in biophysical terms and in terms of management. The building of this model relies both on researches in ecology and agronomy, and on participatory modelling. We evaluate the model through an analysis of the vulnerability to climatic hazards of a diversified sample of systems. In order to take into account long term dynamics of climate change, we also mobilise the theories of social-ecological resilience.

**Keywords:** alpine pasture, summer pasture, mountain pasture, highland pasture, livestock farming system, vulnerability, resilience, adaptation to climate change, participatory modelling