



HAL
open science

Les populations travaillent avec la nature pour co-produire l'adaptation aux changements globaux dans les Alpes françaises

Enora Bruley

► **To cite this version:**

Enora Bruley. Les populations travaillent avec la nature pour co-produire l'adaptation aux changements globaux dans les Alpes françaises. *Ecologie, Environnement*. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2021. Français. NNT : 2021GRALV026 . tel-03347395

HAL Id: tel-03347395

<https://theses.hal.science/tel-03347395>

Submitted on 17 Sep 2021

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.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Spécialité : Biodiversité-Ecologie-Environnement

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

Enora Bruley

Thèse dirigée par **Sandra LAVOREL** et **Bruno LOCATELLI**

préparée au sein du **Laboratoire d'ECologie Alpine**
dans l'**École Doctorale Chimie et Sciences du Vivant**

Les populations travaillent avec la nature pour co- produire l'adaptation aux changements globaux dans les Alpes Françaises

Thèse soutenue publiquement le **24 février 2021**,
devant le jury composé de :

Philippe BOURDEAU

Professeur, Université Grenoble Alpes – IUGA (Président du jury)

Nathalie FRASCARIA

Professeur, AgroParisTech - Université Paris Saclay (Rapporteuse)

Unai PASCUAL

Professeur, Ikerbasque - Basque Centre for Climate Change (Rapporteur)

Elsa BERTHET

Chargée de recherche, INRAE (Examinatrice)

Nicholas CRADOCK-HENRY

Professeur associé, Manaaki Whenua Landcare Research (Examinateur)

Delphine RENARD

Chargée de recherche, CNRS (Examinatrice)

Sandra LAVOREL

Directrice de Recherche, Laboratoire d'Ecologie Alpine – CNRS (Directrice de thèse)

Bruno LOCATELLI

Chercheur, CIRAD et CIFOR (co-directeur de thèse)



REMERCIEMENTS

Une thèse est un long chemin sinueux certes, mais que l'on ne parcourt jamais seul ! Certaines personnes sont à nos côtés du début à la fin ou se joignent à nous en cours de route et d'autres en partageant une plus ou moins longue portion. Il est donc important pour moi de remercier chaleureusement l'ensemble des personnes m'ayant accompagnée dans cette riche aventure.

Mes premiers remerciements vont à Sandra qui m'a permis d'entamer et mener à bien ce travail. Merci pour cette chance et pour m'avoir fait confiance pour réaliser ce beau projet sur ce territoire qui te tiens à cœur. Ensuite, Bruno, qui s'est joint à nous en cours de route et qui m'a guidée et encouragée jusqu'à la dernière minute malgré la distance ! Merci à ce duo de choc pour votre soutien, vos conseils précieux, votre temps, nos longs échanges pour débobiner ce que j'avais en tête et votre patience, car oui, il en a fallu !

Je tiens également à remercier l'équipe du projet MountainPaths. Même s'il n'a pas toujours été facile de se réunir, notamment à Argentière en pleine tempête de neige, merci Adrienne, Nicolas, Victor, Tobias et Vincent pour ce travail collectif très enrichissant ! Merci en particulier à Nicolas, pour notre superbe collaboration autour du jeu Adapta'Meije, nos discussions et débats sur les sujets d'actualités !

Je remercie les membres du jury pour avoir pris le temps d'évaluer mon travail et pour leurs retours éclairés et bienveillants sur celui-ci. Merci également à Nicolas et Véronique qui ont suivi mon travail pour m'aiguiller chaque année lors des comités de suivi de thèse.

L'ensemble de ce travail n'aurait pas pu exister sans la généreuse participation de nombreuses personnes au Pays de la Meije, les « acteurs » principaux de ma thèse ! Je vous remercie infiniment, de nous avoir consacré votre temps et d'avoir partagé vos connaissances, perceptions et inspirations. J'espère que vous avez autant pris de plaisir et appris que moi au cours des nombreux échanges que nous avons pu avoir. Un grand merci aux plus fidèles à notre démarche, Pierrette, Sabine, Jean-Pierre, Thierry, Pierre, Jérôme, Richard, Bruno, Roland, David, Marc, Niels, Sonia, Cyr... Merci pour tout. Merci également aux membres du Jardin Alpin, de m'avoir permis de séjourner dans cette ambiance unique afin d'être au plus près du territoire.

Merci aux membres successifs de l'équipe ServAlp et du fameux bureau 111. Ceux que j'ai croisés en fin de parcours, Rémy, Emilie, Coline, Marine. Ceux qui le commencent, Emmanuel, Marie, Titouan et Nacho. Et enfin ceux qui ont été là, avec moi (presque) jusqu'au bout, Julia, Agnès, Nicolas, Gabin, Lionel, Océane, Marie-Pascale, Karl et Arnaud. Merci à vous, d'abord pour les nombreux moments d'amitié et de camaraderie partagés au quotidien, mais aussi pour les échanges scientifiques, parfois sans queue ni tête, mais qui aident toujours à faire avancer la réflexion qui m'ont tant manqué en 2020 ! Merci également d'avoir été de parfaits cobayes pour goûter ma pâtisserie !

Merci évidemment aux collègues du LECA pour les discussions à la cafète et au détour d'un bureau ! Mais aussi un grand merci aux équipes administratives du LECA et de l'IDEX pour le support et la gentillesse pour préparer chaque mission entreprise, et il y en a eu !

Je tiens aussi à remercier François et Thibault, mes deux supers stagiaires, pour leur aide d'une part, mais aussi pour les moments partagés sur le territoire du Pays de la Meije. J'espère que cette expérience vous aura enrichi autant que moi.

Nombreux sont ceux qui ont pris la route en même temps que moi au sein du projet Trajectories, et je remercie particulièrement la joyeuse bande de « Jeunes » que nous avons formé pendant ces 3 années : Raphael, Mélanie, Lucas, Florian, Anastasia, Taline, Léa... sans oublier Aurélie. Pourvu que l'aventure puisse continuer jusqu'à devenir vieux.

J'ai eu la chance de pouvoir côtoyer un formidable groupe de chercheurs (TARA) au cours de cette thèse, que je tiens à remercier particulièrement. Que ce soit en Australie, en Espagne, en Indonésie ou en Suisse, nos rencontres m'ont profondément marquée et fait avancer dans mon approche et mon travail, merci d'avoir été si inspirants et bienveillants ! Je remercie en particulier Houria, Améline, Giacomo, Claudia, Russ, Rachel... Et surtout Matt, merci pour ton accueil à Canberra et d'avoir rendu mon séjour si agréable et enrichissant, mais également pour les longues discussions qui m'ont permis de franchir un cap dans ma recherche !

Un immense merci à mes amies et amis, celles et ceux qui comprenaient bien ce que j'étais en train de trafiquer pendant ces 4 ans et celles pour qui cela est resté un peu flou jusqu'à la fin. Je vous remercie pour votre soutien évidemment, mais surtout pour avoir été mes bouffées d'oxygène le temps de vacances arrosées et ensoleillées ou de week-end arrosés dans tous les sens du terme, ou simplement via nos longues, très longues, discussions écrites sur diverses applications !

Et enfin, à ma grande Famille, qui m'a donné, entre autres, un pied montagnard et une tête pensante, un bel héritage qui m'a été fort utile dans cette expérience et qui le sera pour la suite, j'en suis certaine.

Maman, Papa, je ne vous remercierai jamais assez pour la confiance, la liberté, le soutien indéfectible que vous m'avez toujours apporté pour que je puisse tout accomplir. C'est bien grâce à vous que j'en suis là et que je m'y sens bien. Merci les Frangins, et la famille qui s'agrandit !

Clément, tu es devenu un pilier dont je ne peux plus me séparer. Merci de m'apporter tout ce bonheur, de me faire rire et de m'accompagner en musique chaque jour.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
INTRODUCTION	8
Ancrage conceptuel	9
1. S'adapter à quoi ? Une urgence sociétale et écologique.	10
2. Qui s'adapte ? Les sociétés et les écosystèmes en interactions.	10
2.1. L'approche socio-écosystème	10
2.2. L'exemple du cadre conceptuel de l'IPBES	11
2.3. L'adaptation des socio-écosystèmes	12
2.4. Une approche lieu et contexte dépendante	13
3. Vers quoi ? Des objectifs d'adaptation souhaités et durables.	13
4. Comment s'adapter ? Une adaptation basée sur les écosystèmes.	14
4.1. L'adaptation basée sur les écosystèmes	15
4.2. Les contributions de la nature aux populations	15
4.3. La co-production des NCP	17
Contexte de recherche	18
1. La projet MtnPATHS	18
2. Le projet Trajectories	20
3. Le cadre conceptuel TARA	21
4. Les socio-écosystèmes de montagne	24
Questionnement scientifique, approche et cadre d'analyse	26
1. Questionnement scientifique	26
2. Approche	26
3. Cadre d'analyse développé	27
Structure du manuscrit	30
REFERENCES	33
CHAPITRE 2	42
Site d'étude : Le socio-écosystème du pays de la Meije	43
1. Caractéristiques biophysiques	43
2. Caractéristiques socio-économiques	45
3. Synthèse	48
Le processus participatif	49
1. Sélection des acteurs	51
2. Déroulement du processus participatif	53
2.1. Comprendre le fonctionnement actuel du socio-écosystème	53
2.1.1. Atelier collectif avec les acteurs locaux	54
2.1.2. Atelier collectif avec les acteurs régionaux	55
2.1.3. Entretiens individuels	56
2.1.4. L'atelier de validation	57
2.1.5. Observations	58
2.2. Retracer la trajectoire passée du socio-écosystème du Pays de la Meije depuis 1900	59
2.2.1. Entretiens exploratoires	60
2.2.2. Ateliers de co-construction de la frise chrono-systémique	60
2.2.3. Observations	61
2.3. Co-construire une vision d'avenir pour le Pays de la Meije	61
2.3.1. Ateliers collectifs	62

2.3.2.	Focus groupes sur le futur de l'agriculture et de l'habitabilité	64
2.3.3.	Entretiens individuels	65
2.3.4.	Restitution	66
2.4.	Co-construire des trajectoires d'adaptation pour atteindre la vision	66
2.4.1.	Construction du jeu sérieux	67
2.4.2.	Session de jeu Adapta'Meije	68
2.4.3.	Restitution sur le jeu	69
2.4.4.	Entretiens individuels suite au jeu	69
3.	Evaluation du projet	70
3.1.	Réseaux de collaboration	70
3.2.	Apprentissage au cours du processus participatif	70
4.	Synthèse du processus participatif	71
REFERENCES		73
ANNEXES CHAPITRE 2		76
CHAPITRE 3		94
INTRODUCTION		97
METHODS		99
1.	Case study description	99
2.	Data collection	100
3.	Data analysis	101
RESULTS		103
1.	Dimensions of good quality of life	103
2.	Nature's contributions to good quality of life	104
3.	Landscape units producing NCP	106
4.	NCP co-production in the social-ecological system	106
5.	Human-derived capital involved in NCP co-production	107
DISCUSSION		109
1.	Operationalization of the IPBES framework and co-production lens	109
2.	Differing intensities of co-production among NCP categories and across co-production types	110
3.	Role of co-production for NCP synergies and trade-offs	112
4.	Implications of NCP co-production for co-producers	113
CONCLUSION		114
REFERENCES		116
APPENDICES		121
CHAPITRE 4		128
INTRODUCTION		131
STUDY SITE		133
METHODS		133
RESULTS		135
1.	Gradual transformation of the agricultural system (1900-1960)	137
2.	Agriculture shift toward heifer and lamb breeding (1965-1990)	138
3.	Societal transformation following tourism development (1976-2000)	139
4.	Agricultural system resistance to change (1990-2015)	140
DISCUSSION		141
1.	Drivers of change and impacts on nature contributions to people co-production	141
2.	Mechanisms of adaptive responses	142

3. Nature of adaptive responses _____	143
CONCLUSION _____	145
REFERENCES _____	147
APPENDICES _____	154
ANNEXES _____	156
CHAPITRE 5 _____	158
Analyses de la dynamique du jeu _____	159
INTRODUCTION _____	163
STUDY SITE _____	165
METHODS _____	166
1. Participatory backcasting scenario approach _____	168
2. Data analysis _____	168
RESULTS _____	169
1. Adaptation objectives related to ecosystems _____	170
2. Dependence of adaptation objectives on NCA _____	171
3. Co-production actions for adaptation _____	172
4. Levers to implement co-production actions _____	174
DISCUSSION _____	177
1. Recognizing the role of ecosystems for adaptation _____	177
2. Navigating desired adaptation pathways _____	178
3. Nature-based adaptation for transformative climate change adaptation? _____	179
CONCLUSION _____	181
REFERENCES _____	182
APPENDIX _____	188
DISCUSSION GENERALE _____	198
Synthèse des résultats _____	199
Co-production des NCP dans la trajectoire du socio-écosystème _____	200
1. Une qualité de vie reposant sur un paysage multifonctionnel _____	200
2. Le rôle des capitaux et de l'accès à ces capitaux dans la co-production des NCP _____	202
3. Les mécanismes d'adaptation basée sur les écosystèmes _____	204
4. Conditions nécessaires pour l'adaptation _____	205
4.1. Les conditions naturelles _____	205
4.2. Les conditions sociales _____	205
Discussion de l'approche conceptuelle et méthodologique _____	207
1. Forces et limites d'une entrée par la co-production des NCP _____	207
2. Retour sur l'approche de l'adaptation proposée par TARA _____	209
2.1. Contributions de la nature à l'adaptation _____	209
2.2. Contexte de décision _____	209
2.3. Trajectoire d'adaptation _____	210
3. Défis posés par l'approche transdisciplinaire _____	211
3.1. Une entrée par les écosystèmes toujours difficile. _____	211
3.2. Articulation entre acteurs et chercheurs _____	211
3.3. Quel rapport des acteurs au futur et à l'adaptation ? _____	212
Perspectives sur l'adaptation future du pays de la Meije. _____	214

1. Le potentiel des écosystèmes pour l'adaptation méconnu ? _____	214
2. Dépasser les chemins de dépendance ? _____	214
3. La transformation, pour qui ? par qui ? _____	215
4. Une fenêtre d'opportunité actuellement ouverte ? _____	216
REFERENCES _____	218
<i>ANNEXES THÈSE</i> _____	223
<i>RÉSUMÉS</i> _____	224

INTRODUCTION



Aquarelle – « Massif du Mont-Blanc » – Henri PROST – 1970¹

¹ Chaque page titre est illustrée par de modestes œuvres familiales, qui ont participé à la construction de mon imaginaire de la montagne et que je souhaite partager avec vous. C'est également l'occasion de souligner l'importance selon moi de la contribution de la nature à l'inspiration et à l'imagination.

Ancrage conceptuel

De tout temps, les organismes vivants se sont adaptés aux conditions changeantes de leur environnement pour survivre et se développer. L'Homme, ne faisant pas exception, a drastiquement modifié les écosystèmes pour s'adapter et améliorer ou garantir ses conditions de vie provoquant des changements sans précédents menaçant aujourd'hui ces mêmes conditions de vie (Steffen et al. 2018). En conséquence, l'adaptation au changement global est désormais une préoccupation fondamentale, et fait l'objet d'une attention croissante tant dans la communauté scientifique que dans la société civile, notamment dans les discours et politiques sur le changement climatique (Bassett and Fogelman 2013).

Afin d'assurer la qualité de vie à long terme des sociétés, il est urgent de réorienter les activités humaines et le développement économique vers des trajectoires de développement plus durables (Carpenter et al., 2009 ; Seppelt et al., 2014 ; Wu, 2013). Pour cela, Il est important d'accorder une plus grande attention aux options et stratégies d'adaptation et à leur mise en œuvre par les sociétés. Il est impératif d'adopter des approches qui vont au-delà des concepts et qui sont susceptibles d'informer et d'orienter la décision et l'action (Norström et al. 2020). Et ce, via l'implication d'acteurs non-académiques dans la production participative de connaissance pour faciliter les réflexions sur la transition et l'adaptation. L'adaptation au changement climatique est un champ de recherche relativement jeune dont les concepts sont en cours d'évolution. La recherche peut cependant aider à explorer les options d'adaptation possibles et à mieux comprendre les processus par lesquels l'adaptation se produit. En particulier la manière dont les facteurs sociaux, écologiques et institutionnels d'un système affectent les décisions et les actions le long de trajectoires d'adaptation en réponse aux changements (Colloff et al. 2017a).

Il existe une multitude de définitions pour caractériser l'adaptation des sociétés au changement global. Elles reposent sur l'idée commune de processus impliquant des modifications au sein d'un système (humain ou naturel) en réponse aux effets et impacts actuels ou attendus du changement climatique (Pielke 1998; Smit et al. 2000; IPCC 2014). Selon ses modalités de mise en œuvre, l'adaptation peut être anticipative ou réactive, spontanée ou planifiée et présenter une réponse du court au long terme, à une échelle locale à globale (IPCC 2014). On définit également différentes stratégies d'adaptation en fonction des changements qu'elles engendrent au sein des socio-écosystèmes. Les stratégies d'ajustement permettant de maintenir le système dans son état actuel ; les adaptations incrémentales permettant de maintenir les avantages sociaux du système actuel tout en modifiant peu sa structure et son fonctionnement ; enfin, des adaptations transformatives modifiant fondamentalement les propriétés et les fonctions d'un système pouvant le mener vers de nouveaux états (Kates et al. 2012; Feola 2015; Pelling et al. 2015; Fedele et al. 2019).

Dans le contexte du changement global, l'adaptation est étudiée au travers d'une multitude de champs disciplinaires, sur différents objets et à différentes échelles (du génome à la planète). Afin de mieux situer mon travail il est alors important de préciser les objets de ladite adaptation, c'est-à-dire : s'adapter à quoi ? qui s'adapte ? s'adapter vers quoi ? et enfin comment s'adapter ? (Smitt et al. 1999). Ainsi, dans ce travail je considère l'adaptation à la fois aux changements climatiques et socio-économiques. Je m'intéresse à l'adaptation des socio-écosystèmes (SES) c'est-à-dire à l'adaptation via les interactions entre la société et la nature. Je m'intéresse à la construction de trajectoires d'adaptation pour atteindre un futur souhaité. Et enfin, je me suis focalisée sur les adaptations basées sur les écosystèmes, nécessitant des contributions de la nature à la qualité de vie. Ces questions me permettent dans un premier temps de présenter les concepts mobilisés dans cette thèse. Je détaillerai ensuite le contexte de recherche, le questionnement scientifique et l'approche mise en place et enfin la structure du manuscrit.

1. S'adapter à quoi ? Une urgence sociétale et écologique.

Aujourd'hui l'humanité fait face à des changements environnementaux et sociétaux rapides et imprédictibles résultant des actions humaines passées, qui menacent fortement la qualité de vie des sociétés. La domination humaine sur les écosystèmes est devenue au court de l'anthropocène une des forces déterminantes de la trajectoire de la planète (Crutzen 2002; Steffen et al. 2018). Ces écosystèmes, dont dépendent en grande partie la qualité de vie des sociétés, sont altérés ou menacés par la dégradation des terres, l'érosion de la biodiversité, la pollution de l'eau, des sols et de l'atmosphère, l'invasion d'espèces exotiques et le changement climatique (Díaz et al. 2019).

Le changement climatique est un défi majeur notamment par la multiplication d'évènements extrêmes comme les sécheresses, les inondations ou l'élévation du niveau des mers qui menacent directement les écosystèmes et les populations (IPCC 2018). Si de nombreuses mesures d'atténuation ont été mises en place et orchestrées au niveau international, elle ne sont aujourd'hui pas suffisantes soulignant le besoin d'adaptation et même de transformation des sociétés (Chan et al. 2019).

Ces facteurs de changements impactent directement ou indirectement l'approvisionnement en nourriture et en eau, la sécurité des personnes et des infrastructures et la santé des individus augmentant ainsi leur vulnérabilité (IPBES 2019). Cependant la vulnérabilité des sociétés ne vient pas exclusivement de leur dépendance aux écosystèmes mais dépend de nombreux autres facteurs sociétaux. C'est notamment le cas de facteurs économiques (e.g. évolution des modes de consommation), technologiques (e.g. innovations), socioculturels (e.g. évolution des systèmes de connaissances et de valeurs), démographiques (e.g. flux migratoires) ou de gouvernance et politiques (e.g. évolution des normes et règles) (Bennett et al. 2016b; Díaz et al. 2019). Pour étudier les réponses adaptatives des sociétés il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble de ces facteurs de changements et leurs interactions qui poussent à l'adaptation (Bennett et al. 2016b; Räsänen et al. 2016).

2. Qui s'adapte ? Les sociétés et les écosystèmes en interactions.

2.1. L'approche socio-écosystème

L'une des conséquences de l'impact accru des activités humaines sur la biosphère a été la reconnaissance croissante de la dépendance de la qualité de vie des sociétés aux écosystèmes (MEA 2005). Il est donc important de considérer l'adaptation via les dynamiques d'interactions entre les systèmes sociaux et écologiques en réponse aux changements. Le concept de socio-écosystème est apparu pour mieux appréhender ces processus qui relient les systèmes sociaux et écologiques ainsi que leurs effets de dépendances et de rétroactions à différentes échelles (Liu et al. 2007; Herrero-Jáuregui et al. 2018). De nombreux cadres conceptuels ont été proposés afin de décrire et comprendre les éléments et variables à l'origine des dynamiques socio-écologiques (Binder et al. 2013).

Les socio-écosystèmes sont caractérisés par les interactions entre de multiples sous-systèmes imbriqués. Ces cadres conceptuels comportent généralement une structure commune via une séparation plus ou moins artificielle et arbitraire du système écologique et social et de leurs processus propres en interactions (Berkes Fikret et al. 2003). Si le concept de SES avait initialement pour objectif de réunir les sciences naturelles et sociales (Berkes and Folke 1998), on observe qu'en pratique l'intégration de processus écologiques et humains reste difficile et que souvent l'un des systèmes est négligé ou encore trop simplifié (Herrero-Jáuregui et al. 2018). On

retrouve ces disparités au sein même des cadres conceptuels avec un accent mis sur le système social (e.g. Ostrom 2009; Muhar et al. 2017) ou le système écologique (Collins et al. 2011; Reyers et al. 2013a). La compréhension de chacun des sous-systèmes individuellement et leurs interrelations reste encore un défi à l'heure actuelle. Si les sciences naturelles tendent à intégrer de plus en plus de variables socio-économiques, parfois au détriment des dynamiques écologiques, les sciences sociales ne sont que trop peu impliquées dans ces approches socio-écologiques (Herrero-Jáuregui et al. 2018).

2.2. L'exemple du cadre conceptuel de l'IPBES

Le cadre récemment élaboré par l'IPBES (plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) offre une synthèse claire des liens entre l'homme et la nature (Díaz et al. 2015). Ce cadre est particulièrement pertinent pour la recherche inter et transdisciplinaire car il a été développé pour intégrer différents systèmes de valeurs, de connaissances et perspectives des acteurs et disciplines scientifiques (Pascual et al. 2017). Ce cadre se focalise sur le lien entre la nature et la qualité de vie au travers des contributions de la nature aux populations (services écosystémiques ou NCP). Il offre notamment une place centrale aux systèmes de gouvernance ayant une influence directe sur les NCP et en cascade sur la qualité de vie (Figure 1).

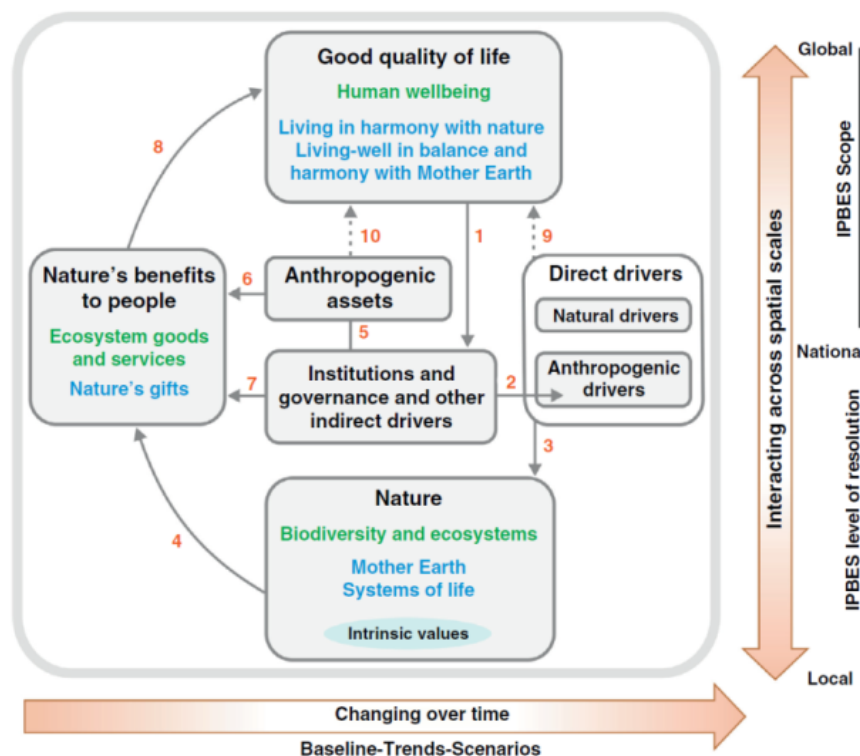


Figure 1: Cadre conceptuel proposé par l'IPBES (Díaz et al. 2015)

Dans ce cadre le socio-écosystème est divisé en six groupes d'éléments en interactions (Figure 1). Tout d'abord la qualité de vie qui réfère à l'accomplissement d'une "vie humaine épanouie" en lien avec les aspirations individuelles d'accès aux moyens de subsistance (nourriture, eau, santé, éducation et sécurité), les objectifs sociaux (liberté de choix et d'actions, de justice environnementale et sociale, et d'équité) et enfin, les dimensions culturelles (identité, spiritualité, art et religion) (Pascual et al. 2017). La nature fait référence à la diversité des organismes vivants et à leurs interactions entre eux et avec leur environnement. La nature contribue à la qualité de la

vie par le biais de NCP matériels, non-matériels et de régulations définit comme « toutes les contributions, positives et négatives, de la nature vivante (diversité des organismes, des écosystèmes et des processus écologiques et évolutifs qui leur sont associés) à la qualité de vie des populations » (Díaz et al. 2018).

Les institutions et la gouvernance réfèrent à la manière dont les décisions sont prises et mises en œuvre, ainsi que de la manière dont les personnes et les sociétés s'organisent, elles ont une influence directe ou indirecte sur l'ensemble des éléments du système. Les facteurs indirects sont liés aux changements extérieurs au socio-écosystème, tels que les changements économiques, démographiques, culturels ou de mode de vie (Martín-López et al. 2019). Les capitaux anthropiques représentent l'ensemble des infrastructures, des capitaux financiers, des connaissances et compétences, des technologies impliquées dans la production de NCP et participent directement à la qualité de vie. Enfin les facteurs de changements directs pouvant impacter la nature et la qualité de vie sont soit naturels, soit humains. Les facteurs de changement naturels sont des processus liés au climat ou à des perturbations qui ne sont pas directement liées à l'activité humaine tel que des vagues de froid, des tremblements de terres ou encore des tempêtes. Enfin, les facteurs humains directs sont ceux qui résultent de décisions et d'actions humaines, comme la pollution, le changement climatique et la restauration des écosystèmes.

2.3. L'adaptation des socio-écosystèmes

Dès l'origine, la recherche sur les socio-écosystèmes a porté une attention particulière à la compréhension des dynamiques de systèmes complexes dans des situations de changement et d'incertitude en lien avec la gestion durable des écosystèmes et des services écosystémiques (Berkes and Folke 1998; Gunderson et al. 2002; Berkes Fikret et al. 2003). Depuis lors, la recherche sur les socio-écosystèmes est souvent associée aux concepts et thématiques de résilience, adaptation, durabilité, gouvernance adaptative, vulnérabilité, gestion adaptative et changement climatique (Herrero-Jáuregui et al. 2018). L'approche des socio-écosystèmes permettrait ainsi d'informer la conception, la mise en œuvre et l'expérimentation de mesures d'adaptation qui favorisent la durabilité (Horcea-Milcu et al. 2020).

L'adaptation des socio-écosystème est souvent étudiée par le prisme du concept de résilience. D'abord associée aux systèmes écologiques (Holling 1973), la résilience a été très rapidement appliquée aux socio-écosystèmes et réfère à "la capacité d'un socio-écosystème à absorber des perturbations et à se réorganiser tout en subissant des changements afin de conserver les mêmes fonctions, structure, identité et effets de rétroaction" (Walker et al. 2004). Le concept de résilience a notamment été repris par les sciences sociales afin de comprendre comment les sociétés sont touchées et répondent aux changements, en y incluant les dimensions sociales (Davidson 2010; Cinner and Barnes 2019). Dans le champ de la résilience, le concept de capacité d'adaptation est utilisé afin d'évaluer l'adaptation sociale. La capacité d'adaptation réfère aux ressources nécessaires et disponibles pour répondre aux perturbations et comprend la capacité du système à concevoir et à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation efficaces pour faire face aux changements actuels ou futurs (Smit and Wandel 2006; Engle 2011). Les ressources comprennent le capital physique, culturel, humain, social, politique, financier et même naturel selon les approches (Adger et al. 2011; Freduah et al. 2019).

2.4. Une approche lieu et contexte dépendante

Si l'approche par les socio-écosystèmes peut être appliquée à différentes échelles allant de l'individu à une région du monde, elle est le plus souvent appliquée à l'échelle locale, d'une communauté, d'un paysage ou d'un territoire. En effet, l'analyse des dynamiques socio-écologiques est particulièrement pertinente dans le cadre d'un lieu et d'un contexte spécifique, c'est-à-dire à l'échelle où convergent les influences sociales, économiques et politiques, ainsi que là où se rencontrent les multiples flux et réseaux biophysiques et sociétaux (Fischer et al. 2014; Balvanera et al. 2017a). La recherche socio-écologique à l'échelle locale permet notamment l'échange de connaissances entre les disciplines et entre les différents acteurs afin de relever les défis de la durabilité dans un lieu particulier (Martín-López and Montes 2015; Balvanera et al. 2017b; Norström et al. 2020).

Ainsi l'approche par les socio-écosystèmes et le cadre de l'IPBES plus particulièrement, constituent une base conceptuelle importante pour mieux comprendre les dynamiques socio-écologiques pouvant soutenir l'adaptation dans un objectif de durabilité.

3. Vers quoi ? Des objectifs d'adaptation souhaités et durables.

Pour faire face à ces changements les sociétés doivent trouver des solutions afin de maintenir l'humanité dans une trajectoire désirable et durable humainement et écologiquement (Bennett et al. 2016a). Il existerait un « safe operating space » permettant à l'humanité de s'épanouir tout en respectant les écosystèmes dont elle dépend (Steffen et al. 2015). De nombreux individus, organisations et dirigeants politiques prennent conscience des menaces globales auxquelles l'humanité est confrontée et s'emparent de ces enjeux au travers de multiples initiatives de l'échelle globale à locale.

Ainsi, la communauté internationale tente de fixer les objectifs à atteindre et les stratégies pour y parvenir afin de répondre aux défis sociétaux et écologiques qui sont inextricablement liés. C'est le cas des « Objectifs de développement durable 2030 » pour le développement d'un monde plus durable et juste ; des Accords de Paris pour limiter le réchauffement climatique à 2°C ; ou encore le cadre mondial pour la biodiversité pour l'après 2020 pour enrayer l'érosion de la biodiversité. De plus, de nombreux états ont se sont dotés de stratégies pour l'atténuation et l'adaptation aux effets du changement climatique (Biesbroek et al. 2010). Stratégies qui se déclinent à l'échelle régionale et même jusqu'au local, parfois à l'initiative individuelle.

A l'échelle locale, il s'agit pour les individus et les communautés de maintenir leurs conditions de vie qu'elles soient directement dépendantes ou non des écosystèmes. Pour cela, les communautés et systèmes de gouvernance locaux peuvent s'engager dans une réflexion sur des solutions et des trajectoires d'adaptation (Wamsler et al. 2014; Rauken et al. 2015). Les chercheurs s'engagent à présent dans la recherche de solutions pour atteindre ces objectifs à différentes échelles de manière transdisciplinaire (Swart et al. 2014). En effet, la nécessité de trouver des solutions aux problèmes complexes de durabilité a fait progresser la collaboration entre les disciplines scientifiques, ainsi qu'entre la science et les autres acteurs de la société à l'interface science-société et science-politique (Clark and Harley 2020; Horcea-Milcu et al. 2020).

L'implication des acteurs locaux dans les processus de recherche sur l'adaptation et la durabilité est de plus en plus courante et recommandée afin de produire des connaissances de manière participative (Swart et al. 2014). La manière dont les connaissances sont créées, partagées et utilisées dans la société peut influencer de façon cruciale les processus d'adaptation. La construction de trajectoires d'adaptation d'un socio-écosystème doit se faire conjointement avec

les acteurs locaux (Cradock-Henry et al. 2020). Par ces approches, les communautés locales peuvent se mobiliser en s'engageant dans des processus participatifs de production de connaissance et d'apprentissage social (Wyborn et al. 2019). Elles deviennent ensuite un support pour la réflexion et l'action visant à améliorer les résultats en matière de durabilité au sein d'un socio-écosystème (Colloff et al. 2017a; Horcea-Milcu et al. 2020). In fine, les nouvelles méthodes de la recherche transdisciplinaire vise à dépasser les concepts théoriques abstraits et de créer des connaissances exploitables pour les acteurs (Balvanera et al. 2017a).

Parmi les nombreuses approches existantes pour co-construire des trajectoires d'adaptation (Norström et al. 2020), le recours à la scénarisation participative est fréquent (Carlsson-Kanyama et al. 2008; Palomo and Montes 2011; Oteros-Rozas et al. 2015). Il existe plusieurs types de scénarios ; prédictifs, exploratoires et enfin normatifs permettant respectivement d'explorer des futurs possibles, probables ou encore souhaités et de répondre aux questions : que va-t-il se passer, que peut-il se passer et comment atteindre un objectif spécifique ? (Börjeson et al. 2006). Lorsque l'on s'intéresse à des changements profonds nécessaires dans le contexte actuel, il est plus pertinent d'étudier les futurs possibles ou souhaités au travers de scénarisations normatives. Lors des prémisses de l'utilisation de cette approche, Polak, en 1973, soulignait l'importance d'images visionnaires de l'avenir pour renforcer l'engagement et inspirer une action coordonnée des citoyens.

L'idée de la scénarisation normative est de commencer par se projeter dans un futur proche (20 ans ou plus) et de construire une vision souhaitée du socio-écosystème considéré en faisant abstraction des contraintes actuelles. Ensuite, il s'agit de réfléchir à une ou plusieurs trajectoires permettant d'atteindre la vision future depuis l'état actuel du système en termes de mesures d'adaptation (Falardeau et al. 2019; Lavorel et al. 2019). L'objectif de cette approche n'est pas de proposer un plan définitif pour l'avenir, mais d'explorer ce qui peut être réalisé à long terme en tant que contribution à la planification et à la discussion au sein de la communauté locale (Carlsson-Kanyama et al. 2013).

Une étape supplémentaire peut être ajoutée, permettant d'étudier la trajectoire d'adaptation passée et notamment d'identifier les chemins de dépendance du système étudié impactant sa capacité d'adaptation future (Fazey et al. 2015). Elle peut notamment ouvrir de nouvelles perspectives sur un problème qui semble être ancré dans le contexte actuel. Si le contexte du changement climatique peut encadrer la construction de vision et de trajectoire d'adaptation, ce type d'approche ne permet en revanche pas d'inclure le caractère incertain et chaotique des changements globaux pouvant rendre toute stratégie caduque.

4. Comment s'adapter ? Une adaptation basée sur les écosystèmes.

Pour atteindre les objectifs de développement durable et/ou souhaité, l'adaptation des sociétés au changement global nécessite des options qui, simultanément, réduisent les inégalités, protègent ou restaurent la biodiversité et les écosystèmes, et réduisent les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Un type d'adaptation pertinent pour combiner ces résultats est l'adaptation basée sur les écosystèmes (EBA) (Barkdull and Harris 2019). Celle-ci peut notamment être étudiée via l'adaptation de la co-production des contributions de la nature à la qualité de vie (Lavorel et al. 2020a).

4.1. L'adaptation basée sur les écosystèmes

Il existe plusieurs définitions de l'adaptation basée sur les écosystèmes (également désignée sous le terme de « solution basée sur la nature ») reposant sur l'idée d'options d'adaptation (actions, politiques ou pratiques) impliquant une gestion durable des écosystèmes et de la biodiversité permettant de réduire la vulnérabilité et d'améliorer la qualité de vie des sociétés dans le contexte des changements globaux (CBD 2009; Cohen-Shacham et al. 2016; Scarano 2017). Ces adaptations sont décrites comme des options ayant des co-bénéfices pour l'adaptation des sociétés au changement climatique et l'atténuation de ses effets, le développement socio-économique durable des communautés locales, la protection de l'environnement et la conservation de la biodiversité (Munang et al. 2013).

Les adaptations basées sur les écosystèmes sont de plus en plus étudiées, notamment dans les sciences de la durabilité et ont largement été saisies par les politiques publics, les associations de conservation et les décideurs (Barkdull and Harris 2019). Elles englobent le plus souvent un large éventail de solutions, telles que la restauration, la protection et la gestion des écosystèmes, la réduction des risques naturels liés aux écosystèmes et l'utilisation d'infrastructures vertes (Seddon et al. 2020b). Cependant, ces options restent encore marginales par rapport aux options classiques dans les plans et stratégies d'adaptation (par exemple, les infrastructures grises ou ingénieries techniques).

En intégrant la préservation de la nature et le développement socio-économique, l'adaptation basée sur les écosystèmes peut jouer un rôle central dans les stratégies d'adaptation des socio-écosystèmes (CBD 2009). Cette intégration permet de lier les écosystèmes à l'ensemble des secteurs socio-économiques participants à l'adaptation (Vignola et al. 2009), elle constitue également un complément aux approches de l'adaptation des systèmes socio-techniques (Scarano 2017).

Les recherches actuelles sur l'adaptation basée sur les écosystème visent principalement à démontrer sa pertinence, son efficacité et ses résultats en matière d'atténuation du changement climatique (Reid et al. 2019; Chausson et al. 2020; Donatti et al. 2020), ainsi que les lacunes en matière de connaissances et les barrière à leur mise en œuvre (Rizvi et al. 2015; Kabisch et al. 2016; Nalau et al. 2018). Toutefois, les adaptations basées sur les écosystèmes ne sont que rarement étudiées au sein de stratégies ou trajectoires d'adaptation des socio-écosystèmes, là où potentiellement de nombreuses options d'adaptation pourraient reposer sur des écosystèmes (Reid et al. 2019) et sur les modalités de gouvernance nécessaires à leur mise en œuvre (Wamsler et al. 2016).

4.2. Les contributions de la nature aux populations

L'adaptation basée sur les écosystèmes ainsi que le concept socio-écosystème sont profondément liés au concept de services écosystémiques. Ce dernier a été introduit au début des années 1980 pour reconnaître la valeur de la nature pour le bien-être humain afin de remédier aux nombreuses activités humaines non durables ou dommageables pour les écosystèmes (Ehrlich and Mooney 1983; Costanza et al. 2017). Les services écosystémiques ont été définis initialement comme les bénéfices que les personnes tirent des écosystèmes, directement ou indirectement, pour leur bien-être (MEA 2005). L'IPBES propose une nouvelle terminologie, définition et classification adoptée dans le cadre de mon travail. Il s'agit des « contributions de la nature aux populations »

(NCP ci-après) définit comme « toutes les contributions, positives et négatives, de la nature vivante (diversité des organismes, des écosystèmes et des processus écologiques et évolutifs qui leur sont associés) à la qualité de vie des populations » (Díaz et al. 2018).

L'IPBES identifie 18 types de NCP et les classe en fonction de la nature de leur contribution à la qualité de vie : NCP de régulation, matérielle et non matérielle (Figure 2). Les contributions matérielles correspondent aux produits, objets et éléments matériels issus de la nature, les contributions non-matérielles sont des effets de la nature sur les aspects subjectifs ou psychologiques soutenant la qualité de vie des individus ou du collectif. Les contributions de régulation sont liées aux aspects fonctionnels et structurels des organismes vivants et des écosystèmes qui modifient les conditions environnementales où vivent les personnes et/ou participent à la régulation des NCP matérielles et non-matérielles (Díaz et al. 2018). Le 18^{ème} NCP concerne la capacité des écosystèmes à maintenir des options afin de soutenir une bonne qualité de vie, particulièrement pertinent dans le cadre de l'adaptation. De plus, une contribution particulière peut appartenir simultanément aux différentes catégories de NCP (Díaz et al. 2018; Martín-López et al. 2019).

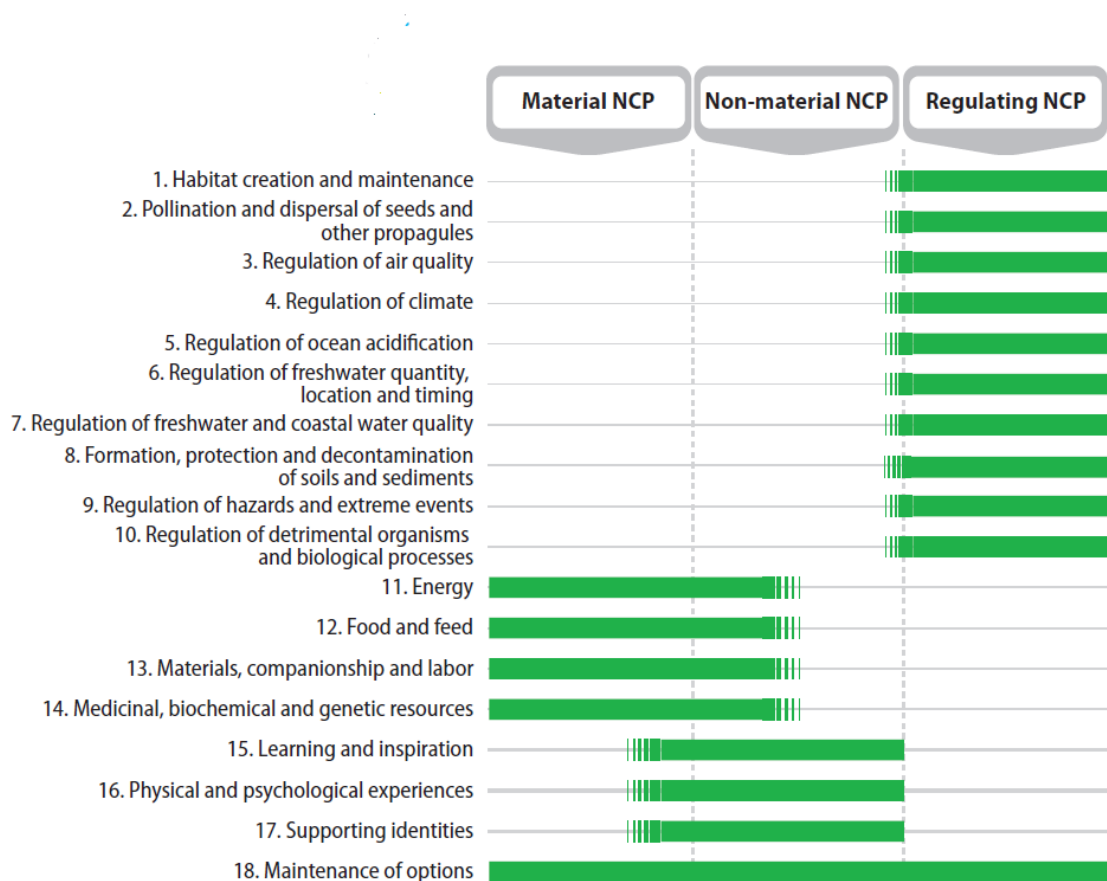


Figure 2. Classification des contributions de la nature à la qualité de vie (NCP) proposée dans le cadre conceptuel de l'IPBES (Díaz et al. 2018).

4.3. La co-production des NCP

Cependant, les NCP sont souvent traitées dans les analyses scientifiques et le discours commun comme un "don gratuit de la nature" (Spangenberg et al. 2014), elles sont en fait la plupart du temps produites conjointement par des processus socio-écologiques et nécessitent une intervention humaine pour fournir des bénéfices, un processus appelé co-production. Depuis l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA 2005), la co-production de services écosystémiques par l'homme et la nature a suscité de plus en plus d'intérêt (Mastrángelo et al. 2019). Ostrom a défini la co-production comme l'apport des citoyens à la production de biens communs (Ostrom 2009). Le cadre conceptuel de l'IPBES met en évidence le rôle de l'homme via la co-production des NCP entre la nature et les capitaux anthropiques (Díaz et al. 2015). Si les facteurs écologiques qui déterminent la fourniture de services écosystémiques ont été largement abordés, l'évaluation des facteurs humains est restée plus marginale (Mastrángelo et al. 2019), elle est pourtant essentielle pour comprendre les socio-écosystèmes complexes.

Cette notion de co-production a été récemment intégrée aux approches socio-écosystémiques (Reyers et al. 2013b; Lele et al. 2015). Elle a notamment été appliquée à la cascade de bénéfices des services écosystémiques, c'est-à-dire les différentes étapes successives de production de services et de bénéfices de la nature vers l'homme (Haines-Young and Potschin 2010). Par exemple, Spangenberg et al. (2014) ont conceptualisé la manière dont l'homme façonne la fourniture de services écosystémiques au long de cette cascade. Fedele et al. (2017) ont caractérisé les mécanismes de co-production des services écosystémiques au long de la cascade : gestion, mobilisation, allocation-appropriation et appréciation des bénéfices. Il existe d'autres conceptualisations et applications à des cas d'études du concept de co-production. Fischer and Eastwood (2016) ont proposé un cadre analytique pour définir le rôle des sociétés dans la production de services écosystémiques en se concentrant sur les identités et les capacités des individus. Jones et al. (2016) et Palomo et al. (2016) ont proposé d'analyser les capitaux naturels et anthropiques impliqués dans le flux de fourniture des services écosystémiques, mettant en évidence les compromis entre le capital naturel et anthropique le long des gradients d'intensification de la gestion des écosystèmes (Outeiro et al. 2017). À ce jour, le concept de co-production reste peu mobilisé y compris dans les rapports de l'IPBES (e.g. Díaz et al. 2019), et la question prioritaire de savoir comment les NCP sont co-produites par les socio-écosystèmes apparaît toujours comme une lacune de connaissances (Bennett et al. 2015; Mastrángelo et al. 2019).

Pourtant, les mécanismes de co-production de NCP dépendant de la mobilisation de capitaux naturels et anthropiques sont au cœur des options d'adaptation basée sur les écosystèmes. Dans un contexte changeant pouvant aussi bien impacter les écosystèmes que la capacité d'adaptation des sociétés, les communautés devront modifier ces mécanismes de co-production pour s'adapter et conserver leurs moyens de subsistance. Dans le cadre de l'adaptation, l'utilisation des concepts de socio-écosystème, d'adaptation basée sur les écosystèmes et de co-production des NCP se base sur l'idée commune selon laquelle les écosystèmes, généralement lorsqu'ils sont en bon état, peuvent soutenir les efforts des sociétés pour s'adapter au changement global, et ce, en offrant des options pour maintenir ou développer les contributions de la nature à la qualité de vie (Colloff et al. 2016; Lavorel et al. 2019). La co-production des NCP peut être un concept particulièrement intéressant pour évaluer et caractériser les mécanismes d'adaptation impliquant des interactions socio-écologiques et notamment au sein de trajectoire d'adaptation d'un socio-écosystème (Lavorel et al. 2020a).

Contexte de recherche

Ce travail de thèse s'inscrit (et a été financé) dans le cadre de deux projets de recherche, le projet ANR Franco-Suisse MountainPaths et le CDP Trajectories porté par l'Idex de l'Université Grenoble Alpes. Ces projets interdisciplinaires et transdisciplinaires partagent une thématique commune, l'étude des trajectoires des socio-écosystèmes de montagne. Mon travail s'inscrit également dans le cadre du groupe de recherche international Transformative Adaptation Research Alliance (TARA), qui a pour objectif de participer au développement et à la mise en œuvre de nouvelles approches pour l'adaptation transformative des sociétés au changement global. Les objectifs, concepts et approches proposés dans ces projets et les échanges et collaborations avec les chercheurs y étant impliqués ont posé les bases de la structuration de mon travail. Ils ont également guidé mon questionnement scientifique et l'approche conceptuelle mise en place. Il s'agit notamment du contexte particulier des socio-écosystèmes de montagne comme cas d'étude, du caractère transdisciplinaire de l'approche mais également l'opérationnalisation des concepts développés par le groupe TARA.

1. La projet MtnPATHS

Le projet MountainPaths financé par un partenariat des agences nationales de recherche Française (ANR) et Suisse (FNS) en collaboration avec l'ETH Zurich a été structurant pour mes travaux de thèse. Ce projet avait pour principal objectif de co-construire des trajectoires d'adaptation vers la durabilité pour les socio-écosystèmes de montagne. Dans ce contexte la durabilité englobe la résilience des socio-écosystèmes au changement climatique et du contexte social et économique. Elle s'appuie notamment sur l'évolution de la fourniture et la demande sociétale en services écosystémiques pour l'adaptation au sein de ces trajectoires.

Ce projet à visée transdisciplinaire s'est articulé autour de trois principaux axes de travail impliquant les acteurs locaux et experts régionaux (Figure 3) :

- WP1 : Construction d'une compréhension commune du socio-écosystème sur chaque site afin de co-crée des visions pour le développement durable des territoires de montagne dans le contexte du changement climatique et socio-économique.
- WP2 : Construction de trajectoires d'adaptation pour atteindre ces visions, exprimées sous la forme d'une fourniture durable des services écosystémiques et d'adaptation souhaités, en utilisant la modélisation participative (Agent-based modelling).
- WP3 : Evaluation participative et communication aux décideurs et au public de trajectoires d'adaptation réalisables et acceptables, et leurs conditions de réalisation sociales, institutionnelles et environnementales.

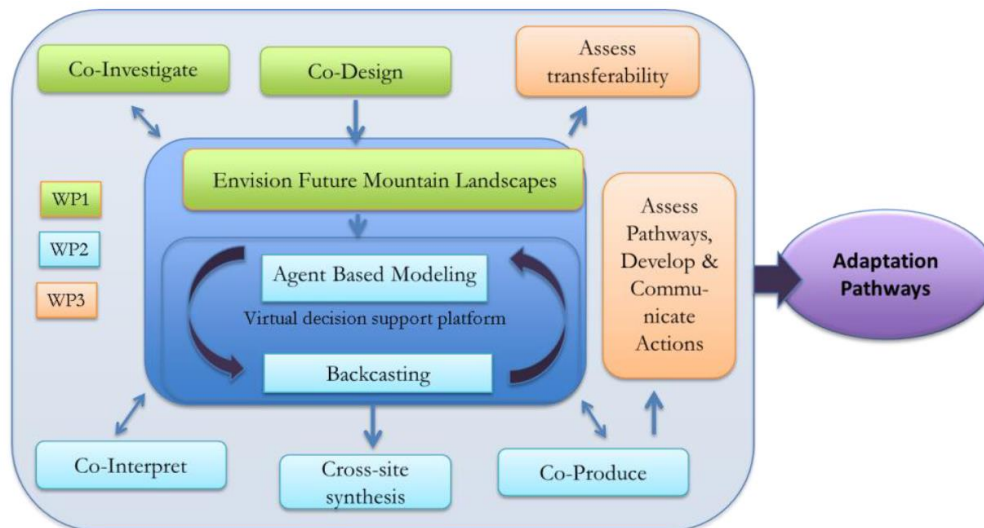


Figure 3. Organisation initiale du projet MtnPaths, les tâches correspondantes aux trois axes de recherche sont représentées par les work-packadge (WP1, 2 et 3).

Deux sites d'étude ont été sélectionnés pour mener ce projet, un dans les Alpes Française (Pays de la Meije) et l'autre dans les Alpes Suisses (Haut-Valais) en vue d'une comparaison inter-sites, offrant des contextes contrastés mais complémentaires. L'équipe de recherche était constituée d'un doctorant et de deux post-doctorants sous la direction d'Adrienne Grêt-Regamey, professeure au laboratoire Planning Landscape and Urban Systems (PLUS) à l'ETH de Zurich et d'un doctorant (moi-même) sous la direction de Sandra Lavorel, directrice de recherche au Laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA) à Grenoble. Les orientations scientifiques, les méthodes et les résultats obtenus étaient discutés régulièrement lors de points d'avancement réunissant l'ensemble de l'équipe de recherche. Mon rôle était de développer cette approche transdisciplinaire sur le cas Français et notamment de participer à la construction du modèle de socio-écosystème qui aurait ensuite servi à la modélisation participative des trajectoires d'adaptation. Cependant, à la suite de l'abandon du doctorant en charge de la construction du modèle, nous avons adopté une nouvelle méthode de modélisation participative, l'utilisation d'un jeu sérieux, reposant également sur la conceptualisation du socio-écosystème, pour atteindre cet objectif.

Si, à l'origine la même approche devait être appliquée sur les deux sites pour une comparaison, les travaux ont suivi deux dynamiques différentes dues notamment à une différence notable d'implication des acteurs locaux. Sur le site Suisse, la conceptualisation du socio-écosystème avait été effectuée en amont, seule la co-construction de la vision a pu avoir lieu, les experts locaux n'ayant pas jugé pertinent de poursuivre la réflexion sur les trajectoires d'adaptation pour l'atteindre (Salliou et al. in review). Sur le site Français, j'ai pu mener à bien les étapes de conceptualisation du socio-écosystème, de construction de vision et de réflexion sur les trajectoires d'adaptation, seule la dernière étape d'évaluation participative et de communication aux acteurs locaux des trajectoires d'adaptation n'a pas pu être réalisé dans le temps imparti et sera effectué après la thèse, comme valorisation de ces travaux. De plus, une évaluation du processus transdisciplinaire a été mise en place via deux questionnaires en début et fin de projet. Une sur les réseaux de collaboration entre acteurs propices à l'adaptation et l'innovation dans les territoires de montagne face au défi du changement climatique (sur les deux sites) (Blanco et al. in review). L'autre sur l'apprentissage chez les acteurs ayant participé aux différentes étapes du projet (sur le site Français uniquement) (Blanco et al. in prep).

2. Le projet Trajectories

Mon travail de recherche s'inscrit également dans le cadre du projet Trajectories financé par l'IDEX de l'Université Grenoble Alpes. Ce projet inter et transdisciplinaire a pour objectif la création de connaissances afin d'explorer l'évolution des interactions entre les sociétés humaines et leur environnement dans les régions alpines dans le temps afin d'aider les territoires à mieux s'adapter. Trajectories regroupe une centaine de chercheurs parmi la communauté scientifique travaillant sur les Alpes Française, ainsi qu'une quinzaine de doctorants travaillant sur des sujets variés. Trois territoires pilotes ont été sélectionnés : la vallée de l'Arve, la vallée de la Maurienne et le Pays de la Meije.

Plus spécifiquement, Trajectories s'articule autour de 5 axes de recherche ayant pour objectifs de :

- WP1 : Développer des outils innovants pour construire des passerelles entre la production de connaissances et les besoins des utilisateurs au sein des territoires.
- WP2 : Construire un système intégré d'acquisition et de gestion des données socio-environnementales.
- WP3 : Développer et appliquer des modèles de la dynamique des socio-écosystèmes face aux changements globaux.
- WP4 : Reconstruire les trajectoires socio-écologiques passées sur la base des observations et de la modélisation.
- WP5 : Co-construire avec les acteurs des territoires des trajectoires d'adaptation futures au changement global.

Le travail effectué dans le cadre du projet MtnPaths et de ma thèse ont contribué aux axes 4 et 5 sur les trajectoires passées et futures du socio-écosystème du Pays de la Meije.

Ce projet se caractérise par un certain nombre d'interactions au sein de la communauté de chercheurs et notamment de jeunes chercheurs. L'ensemble de ces axes de recherche se recoupe et a fait naître de nombreuses collaborations entre chercheurs. De plus, afin de favoriser l'interdisciplinarité au sein de la communauté de chercheurs impliqués, des groupes thématiques ont été mis en place afin d'explorer et de partager des connaissances sur des concepts ou approches tel que le concept de socio-écosystèmes ou l'approche transdisciplinaire, deux groupes auxquels j'ai participé régulièrement.

Enfin, nous avons mis en place, une approche interdisciplinaire et transdisciplinaire innovante impliquant des doctorants et post-doctorants issus d'une grande diversité de disciplines (écologie, climatologie, palynologie, histoire, géographie, informatique et sciences humaines et politiques). Il s'agissait d'expérimenter l'inter et la transdisciplinarité via un travail collectif de terrain, « In situ », comme moyen de faciliter la co-production de questions de recherche en lien avec les trajectoires des socio-écosystème de montagne. Le premier volet a eu lieu sur le territoire du Pays de la Meije et avait pour objectif de mieux comprendre les approches disciplinaires des uns et des autres, de construire une communauté de recherche et de fixer un objet de recherche commun : l'analyse des dynamiques spatio-temporelles du socio-écosystème local. Le second volet a eu lieu dans la vallée de la Maurienne qui avait pour objectifs de poursuivre cette analyse interdisciplinaire sur un autre terrain et d'expérimenter une méthodologie transdisciplinaire pour inclure les acteurs locaux dans une démarche de coproduction de questions de recherche et

de connaissance. Ces expériences particulièrement enrichissantes, ont été l'occasion de confronter les connaissances, méthodes, approches issues de nos disciplines respectives dans un objectif commun (Lachello et al. in prep).

3. Le cadre conceptuel TARA

Fondé en 2014, le réseau international de recherche interdisciplinaire TARA – Transformative Adaptation Research Alliance, dans lequel s'inscrivent le projet MtnPaths et mes travaux, a pour objectif de participer au développement et à la mise en œuvre de nouvelles approches pour l'adaptation transformative des sociétés au changement global. Les membres du réseau TARA se regroupent lors d'ateliers de travail chaque année depuis 2014 afin de partager les avancées conceptuelles et pratiques sur les études de cas, ce qui m'a permis d'y participer à deux reprises afin de présenter mon travail sur le cas d'étude des alpes françaises.

Le groupe TARA s'intéresse en particulier aux systèmes de gouvernance, de pouvoir, de justice sociale et environnementale, de valeurs, mais également aux processus de création de connaissances et d'apprentissage social. Il rassemble environ 50 membres et associés basés dans 13 pays (Afrique du Sud, Australie, Argentine, Espagne, France, Indonésie, Pérou...) issus principalement du monde académique et de la conservation de la nature (universités, le CSIRO, le CNRS, le CIRAD, le CATIE, le WWF, l'UICN, l'UNESCO). Par la collaboration et l'expérimentation, il vise notamment à développer un cadre conceptuel pour aborder l'adaptation transformative qui repose sur trois concepts fondamentaux appliqués à différentes études de cas à travers le monde. Le Pays de la Meije est un de ces cas d'étude auquel participent les travaux menés dans le cadre de ma thèse.

Les trois concepts fondateurs du cadre développé (en constante évolution) par TARA sont : (a) les contributions de la nature à l'adaptation, un sous-ensemble des NCP qui soutiennent l'adaptation au changement global des populations ; (b) le cadre des interactions entre valeurs, règles et connaissances (vrk) pour identifier les aspects du contexte de décision sociétal qui facilitent ou limitent l'adaptation et (c) l'approche des trajectoires d'adaptation pour mettre en œuvre l'adaptation, qui s'appuie sur et intègre les services d'adaptation et la perspective vrk. Ensemble, ces éléments fournissent une approche prospective de l'utilisation des services écosystémiques pour l'adaptation, une compréhension approfondie de la gouvernance et de la prise de décision, et une approche séquentielle qui relie les décisions dans le temps (Colloff et al. 2017b). L'approche TARA permettrait de mettre en évidence les changements dans les institutions et la gouvernance nécessaires pour soutenir l'adaptation transformative des socio-écosystèmes.

3.1. Les services d'adaptation (ou contributions de la nature à l'adaptation - NCA)

Les services d'adaptation sont définis comme les bénéfices tirés par les populations des processus écologiques et des services écosystémiques qui augmentent leur capacité d'adaptation aux changements environnementaux (Colloff et al. 2020; Lavorel et al. 2020a). Ce concept reprend le concept de services écosystémiques en mettant l'accent sur les processus écologiques qui soutiennent la persistance ou la transformation des écosystèmes et sur la création, l'évaluation et la mise en œuvre d'options d'adaptation. On identifie cinq catégories de service d'adaptation (Figure 4): (i) les propriétés écologiques qui soutiennent la persistance des écosystèmes actuels et de leurs NCP et (ii) les services écosystémiques latents dont la valeur est révélée par

l'adaptation via la demande sociale; (iii) les propriétés écologiques qui soutiennent la capacité de transformation des écosystèmes, qui soutiennent : (iv) les services écosystémiques existants maintenus à partir d'écosystèmes persistants ou transformés, et enfin (v) de nouveaux services écosystémiques, émergeant dans de nouveaux contextes biophysiques et sociaux. Ce concept est vu comme un moyen d'opérationnaliser l'adaptation transformative, en soulignant la nécessité de créer des options pour que la société se transforme en lien avec la transformation des écosystèmes (Colloff et al. 2020). Ce concept est notamment contenu dans le cadre conceptuel de l'IPBES en tant que NCP 18 qui comprend le maintien des options actuelles et futures (Díaz et al. 2018).

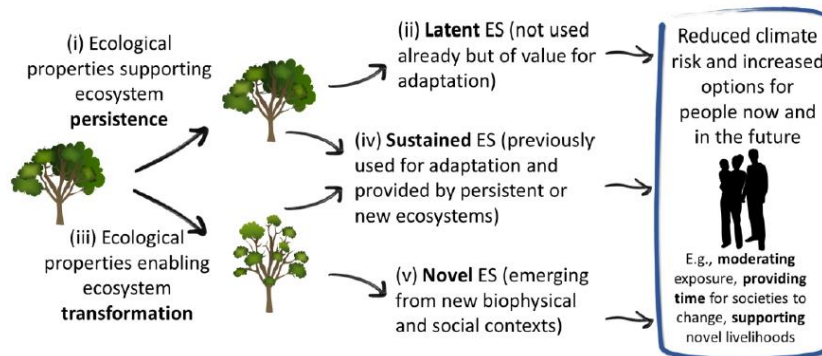


Figure 4 : Typologies des services d'adaptation (Lavorel et al. 2020a).

3.2. Le contexte de décision

Pour diversifier les options d'adaptation, des changements sont nécessaires au niveau de la prise de décision et de leur mise en œuvre, i.e. le contexte de décision (Figure 5). Le contexte de décision se définit par les interactions entre les systèmes de valeurs humaines (Schwartz 2012) et la manière dont ces valeurs sont exprimées en tant que préférences, ainsi que par les règles et normes sociétales et enfin les systèmes de connaissances scientifiques, locales et empiriques que les décideurs mobilisent (Gorrdard et al. 2016). Il s'agit donc de prendre en considération les interactions entre les systèmes de valeurs, de gouvernance et de connaissances (vrk) associées à chaque option d'adaptation notamment concernant la demande en services d'adaptation afin d'identifier les leviers et freins à leur mise en œuvre (Colloff et al. 2017b).

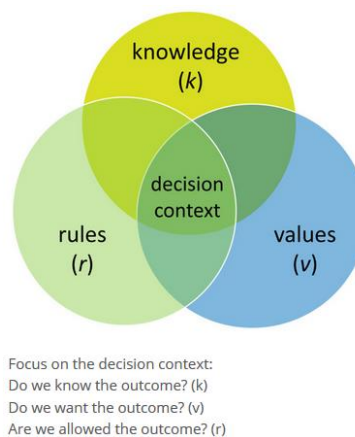


Figure 5. Cadre d'analyse du contexte de décision (TARA - www.research.csiro.au)

3.3. Les trajectoires d'adaptation

L'approche des trajectoires d'adaptation peut être formalisée comme un processus de décision adaptative pour "explorer et séquencer un ensemble d'actions possibles basées sur des développements alternatifs et incertains dans le temps" de manière à éviter une mal-adaptation (Wise et al. 2014). Une trajectoire d'adaptation est définie comme un enchaînement séquentiel de décisions ou d'actions permettant de maintenir le socio-écosystème dans un espace souhaité (Figure 6). Cette approche permet d'examiner le contexte de décision et la mobilisation de services d'adaptation à chaque point de décision (Lavorel et al. 2019).

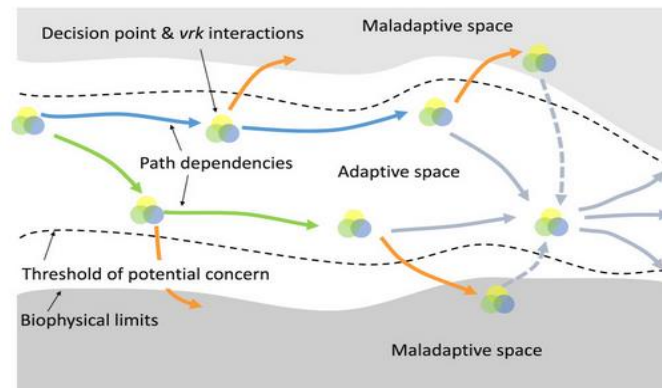


Figure 6 : Méaphore des trajectoires d'adaptation d'un socio-écosystème (Colloff et al. 2017)

Cette approche et ces concepts, utilisé au sein d'un processus transdisciplinaire, peuvent être un support pour les décideurs et les acteurs pour relever le défi de l'adaptation et explorer de nouvelles approches de l'adaptation dans le cadre du changement global (Colloff et al. in review). L'approche TARA a notamment structuré la démarche mise en place dans le projet Mtnpaths (Figure 7) et par extension de mon travail de thèse.

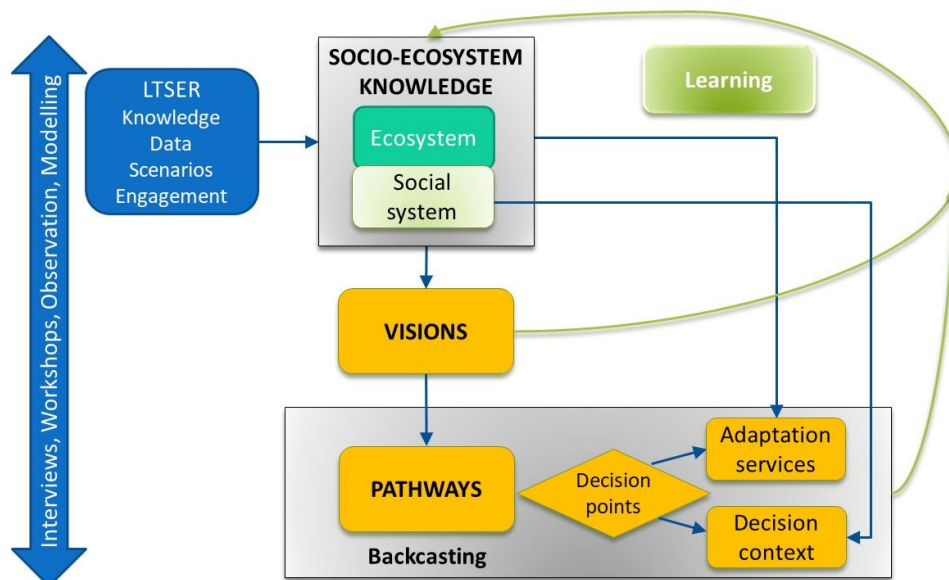


Figure 7 : Cadre conceptuel de la démarche de construction des trajectoires d'adaptation adoptée pour MtnPaths basé sur le cadre développé au sein de TARA (Lavorel et al. 2019).

4. Les socio-écosystèmes de montagne

Les socio-écosystèmes de montagne abritent une très grande biodiversité et fournissent des NCP vitaux aux populations à l'échelle locale (entre 10 et 20 % de la population mondiale), régionale et mondiale (Körner et al. 2005; Egan and Price 2017; Martín-López et al. 2019). Cependant, ils sont extrêmement vulnérables aux changements climatiques, politiques et socio-économiques (Palomo 2017). Ils sont aujourd'hui considérés comme des sentinelles du changement climatique renforçant le besoin et l'intérêt de penser l'adaptation des communautés de montagne dans ce contexte. L'incapacité à s'adapter au changement climatique de manière durable des communautés locales serait donc susceptible d'avoir des effets en cascade bien au-delà des socio-écosystèmes montagneux.

Initialement défini en tant que zones de montagne selon leur altitude (pouvant débuter entre 300m et 1000m selon le pays) et leur pente (Körner et al. 2005), les socio-écosystèmes de montagne sont caractérisés par un ensemble d'éléments en interactions qui les rendent particuliers et augmente leur vulnérabilité (Klein et al. 2019). Il s'agit notamment de la rudesse climatique et topographique (notamment la pente), la récurrence de risques naturels, l'isolement physique et la marginalisation sociale notamment due à la topographie et à l'éloignement des centres de pouvoirs et de décision. En outre, les montagnes sont des territoires contrastés d'une diversité ethnique et culturelle extrêmement riche et abritant à la fois des habitants extrêmement pauvres et marginalisés ainsi que des communautés qui atteignent des niveaux élevés de qualité de vie (Klein et al. 2019).

Les montagnes jouent un rôle clé dans la fourniture des contributions de la nature qui soutiennent la qualité de vie des populations locales et du monde entier (Locatelli et al. 2017). Tout d'abord les écosystèmes de montagne fournissent d'importantes NCP de régulation du cycle de l'eau et des risques naturels. Ils contribuent notamment à la régulation de la qualité et quantité de l'eau, et participent à l'approvisionnement en eau douce pour une grande partie de la population mondiale (Viviroli et al. 2007). Ils régulent également les risques naturels, via le couvert forestier, tels que les avalanches, les glissements de terrain et les chutes de pierres (Teich et al. 2012).

Les écosystèmes de montagne sont aussi le support de productions matérielles notamment via la production agricole, qui ont façonné de nombreux paysages de montagne au cours des siècles (Egarter Vigl et al. 2016). On retrouve le plus souvent une mise en culture et en pâturage des terres, souvent issues de l'agriculture de subsistance, et de la production de bétails et de fourrage. Par ailleurs, les écosystèmes, dont les forêts, sont souvent exploitées pour le bois d'œuvre et de chauffage ainsi que pour le gibier ou encore les plantes sauvages et médicinales.

Enfin, les écosystèmes de montagne fournissent de nombreuses NCP non-matérielles en lien avec l'attachement au lieu, les opportunités récréatives, la beauté des paysages et leur biodiversité (Schirpke et al. 2016). En effet, les montagnes sont à la fois des lieux de vie porteurs d'identités locales particulières et des destinations majeures pour les activités touristiques ou récréatives (Schirpke et al. 2017). Ainsi, la grande diversité des paysages, des espèces dont certaines à forte valeur patrimoniale et la variabilité saisonnière contribuent au bien-être psychologique et physique des communautés locales et des visiteurs (Lavorel et al. 2020b). Cependant, la co-production de ces NCP est à la fois affectée par les changements du climat et des pratiques socio-culturelles des communautés de montagne.

Les impacts du changement climatique sont d'ores et déjà observés dans les socio-écosystèmes de montagne partout dans le monde. Ces changements sont caractérisés par l'augmentation des températures (e.g. entre 0.5 et 0.7°C/an dans les Alpes) et une plus forte variabilité des précipitations (Gobiet et al. 2014) causant le déclin des glaciers, de la couverture neigeuse et du

permafrost qui devrait se poursuivre au cours du 21^{ème} siècle (Hock et al. 2019). Des impacts notables sont déjà observés ou à venir sur de nombreuses NCP et principalement concernant l'alimentation humaine et animale, la disponibilité de l'eau, la régulation des risques naturels, la spiritualité et l'identité culturelle, l'esthétique et les loisirs (Palomo 2017). Sont par exemple affectés, la composition et l'abondance des espèces (notamment en haute montagne) ; la fréquence, l'ampleur et la localisation des risques naturels de montagne ; la quantité et la saisonnalité des ruissellements d'eau dans les bassins versants.

Ces changements affectent directement la mobilisation et les bénéfices issus des NCP, notamment en lien avec la disponibilité en eau pour la vie locale et en plaine, l'agriculture et le tourisme (principalement les activités récréatives en haute montagne et dépendante du couvert neigeux et des glaciers) (Hock et al. 2019). Selon les observations et les scénarisations effectuées, dans les Alpes notamment, les changements et leurs impacts devraient différer selon l'altitude et la zone géographique (Elkin et al. 2013; Ménégos et al. 2020) suggérant le besoin de stratégies d'adaptation contextualisées à chaque territoire.

Ces changements induits par le climat se superposent et sont accélérés par les changements démographiques et socio-économiques, modifiant l'offre et la demande de NCP et, in fine, ont un impact sur la qualité de vie et les activités économiques dans les zones de montagne. C'est par exemple le cas du dépeuplement et l'abandon de l'utilisation traditionnelle des terres (Hinojosa et al. 2016). Ou encore la remise en question du modèle touristique, qui est devenu une source majeure de moyens de subsistance pour les communautés de montagne grâce aux avantages économiques et aux emplois directs et indirects qu'il offre (Bourdeau 2009). La vulnérabilité des socio-écosystèmes de montagne vient également de certains paradoxes (Klein et al. 2019), certains s'appliquent particulièrement aux Alpes Françaises comme par exemple, des politiques et décisions prises de l'extérieur pas toujours en adéquation avec ce contexte particulier et des flux d'immigration et d'émigration importants, notamment le départ des jeunes pour l'éducation et l'emploi et l'arrivée de population pour le cadre de vie et les loisirs (Martin 2014).

La recherche sur les socio-écosystèmes et les services écosystémiques de montagne s'est accentuée ces dernières décennies, même si elle reste moins importante que pour d'autres socio-écosystèmes tels que les agroécosystèmes ou les systèmes urbains (Martín-López et al. 2019). Des efforts de recherche sont encore nécessaires pour améliorer la compréhension des systèmes sociaux et des interactions entre les systèmes sociaux et écologiques (Gurung et al. 2012) et notamment en incluant les acteurs locaux (Haida et al. 2016). Par ailleurs, à l'instar des autres types de socio-écosystèmes, encore peu d'études sont faites sur l'adaptation aux changements globaux des socio-écosystèmes de montagne et on note notamment un besoin d'étudier les dimensions sociales associées à l'adaptation et l'implication des acteurs dans cet objectif (McDowell et al. 2019).

Questionnement scientifique, approche et cadre d'analyse

1. Questionnement scientifique

Les effets combinés des changements climatiques et socio-économiques globaux amplifient la vulnérabilité et les risques pour les systèmes sociaux et écologiques. C'est particulièrement le cas pour les populations dont les moyens de subsistance dépendent directement des écosystèmes et de leurs contributions à la qualité de vie. Afin de se maintenir dans une trajectoire souhaitée, les communautés locales devront s'adapter ou se transformer pour maintenir ou développer cette qualité de vie via une mobilisation durable des écosystèmes et des NCP. L'objectif principal de ma thèse est donc de mieux comprendre comment les écosystèmes peuvent être mobilisés par les communautés locales pour l'adaptation d'un socio-écosystème aux changements climatiques et socio-économiques. Pour cela, je me suis intéressée aux mécanismes de co-production par l'homme et la nature des contributions de la nature à la qualité de vie et au rôle de ces mécanismes pour l'adaptation.

Pour répondre à cet objectif il est nécessaire de répondre aux questions suivantes :

1. Sur quelles contributions de la nature aux populations repose la qualité de la vie ?
2. Comment les contributions de la nature à la qualité de vie sont-elles co-produites par l'homme et la nature ?
3. Quels changements sont nécessaires au sein de la co-production des NCP pour l'adaptation ?
4. Comment les communautés locales peuvent mettre en place ces changements de co-production et maintenir le socio-écosystème dans une trajectoire souhaitée ?

Ce questionnement repose notamment sur plusieurs hypothèses. La première hypothèse est que, dans le cas d'un paysage support de multiples activités, de nombreuses dimensions de la qualité de vie des communautés locales reposent sur les NCP. Je fais également l'hypothèse que l'adaptation se traduit par des changements au sein de la co-production des NCP et notamment via une reconfiguration des capitaux humains et naturels en réponse à des facteurs de changements. Une autre hypothèse est que, dans des milieux préservés tel que celui du Pays de la Meije où j'ai réalisé mon étude, la nature n'est pas un facteur limitant contrairement aux facteurs humains qui constitueront les principaux freins à l'adaptation.

2. Approche

Tout d'abord, nous avons adopté une approche axée sur le lieu, en sélectionnant un site d'étude bien défini et relativement restreint, la vallée du Pays de la Meije dans les Alpes centrale Française. L'approche mise en place repose sur un processus transdisciplinaire qui m'a permis de caractériser le rôle de la co-production des NCP pour l'adaptation et la qualité de vie dans trois contextes : la trajectoire passée, le fonctionnement actuel et l'adaptation souhaitée future du socio-écosystème du Pays de la Meije (Hautes Alpes (05) - France). Le processus transdisciplinaire ou participatif que j'ai pu mettre en place a réuni une grande diversité d'acteurs locaux et régionaux et s'est basé sur leur connaissance du terrain, leurs perceptions des changements et leurs visions pour l'avenir du territoire. Les détails du site d'étude, du processus participatif et de l'implication des acteurs sont présentés dans le chapitre 2.

Mon travail s'est organisé en 4 principales étapes entre 2017 et 2019 (Figure 8) :

- La première étape avait pour objectif d'obtenir une compréhension commune du fonctionnement actuel du socio-écosystème et notamment en termes d'interactions homme/nature contribuant à la qualité de vie perçues par les participants.
- Avant de se projeter dans le futur, nous avons effectué, au cours de la seconde étape, un retour en arrière afin de reconstruire la trajectoire passée du socio-écosystème. Il s'agissait notamment de caractériser l'évolution des dynamiques sociales et écologiques depuis 1900 et d'identifier les principales périodes de changements au sein du socio-écosystème.
- Suivant les principes de la scénarisation normative, la troisième étape visait à co-construire une vision d'avenir souhaitée pour le territoire en 2040. Cette vision est notamment caractérisée par les valeurs, critères de qualité de vie et activités socio-économiques souhaitées par les participants pour le développement futur de leur territoire.
- Enfin, nous avons exploré les trajectoires d'adaptation futures en projetant les participants entre 2020 et 2040 à l'aide d'un jeu sérieux.

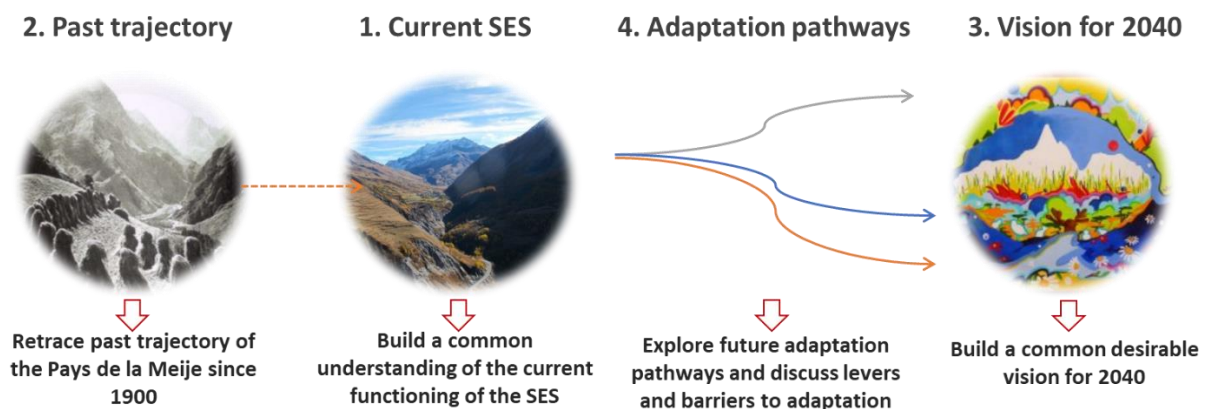


Figure 8. Etapes du processus participatif et leurs objectifs.

Les acteurs ont principalement été mobilisés au travers d'ateliers collectifs, de focus groupe et d'entretiens individuels. Au total, 92 personnes ont été impliquées dans au moins une étape du processus, et on dénombre 166 participations sur l'ensemble du processus. L'ensemble des résultats présentés dans cette thèse est issu des analyses menées sur les contributions et discours des acteurs impliqués au cours des différentes étapes de ce processus participatif.

3. Cadre d'analyse développé

Pour répondre à ce questionnement, j'ai développé un cadre d'analyse permettant d'évaluer la mobilisation des écosystèmes pour l'adaptation d'un socio-écosystème basé sur le concept de co-production des NCP. Ce cadre d'analyse développé a été largement nourri par les collaborations avec le réseau de chercheurs TARA et de l'équipe de recherche ServAlp du Laboratoire d'Ecologie Alpine. La conceptualisation de la co-production des NCP a émergé en cours de route, venant à la fois des résultats de processus participatif et d'interrogations conceptuelles sur l'intervention

humaine dans la genèse des NCP. En effet, d'une part, la prédominance des facteurs humains (et la quasi-absence des facteurs écologiques) dans les discours d'acteurs au sujet des contributions de la nature à leur qualité de vie, m'a poussé à m'intéresser davantage à la manière de les prendre en compte dans l'analyse des NCP et du fonctionnement du socio-écosystème. D'autre part, avec l'équipe ServAlp nous avons rapidement lancé une réflexion sur la co-production des NCP afin de mieux comprendre et appréhender l'intervention humaine tout au long de la cascade de NCP (Fedele et al. 2017) et au sein du cadre conceptuel de l'IPBES (Díaz et al. 2015). Ces réflexions ont abouti à une conceptualisation des actions de co-production des NCP par l'homme et la nature suivant trois étapes (Figure 9) (Bruley et al. 2021; Lavorel et al. 2020a) :

- CP 1 : Actions de gestion des écosystèmes qui modifient la structure et les fonctions des écosystèmes pour obtenir les bénéfices souhaités (par exemple, fumure des cultures, plantation d'arbres ou conservation de la nature) ;
- CP 2 : Actions permettant la mobilisation, la récolte de bénéfices et l'accès physique à la nature fournissant un flux de bénéfices matériels ou non-matériels (par exemple, la fauche, la collecte de plantes ou la visite d'un lieu pittoresque) ;
- CP 3 : Actions permettant l'appropriation et l'appréciation des bénéfices et impliquant des processus par lesquels les personnes participent à la distribution, à l'utilisation et à l'appréciation des bénéfices (par exemple, la transformation et la commercialisation de produits locaux, l'appréciation de l'artisanat utilisant des éléments naturels, ou encore le sentiment d'attachement à un lieu, paysage).

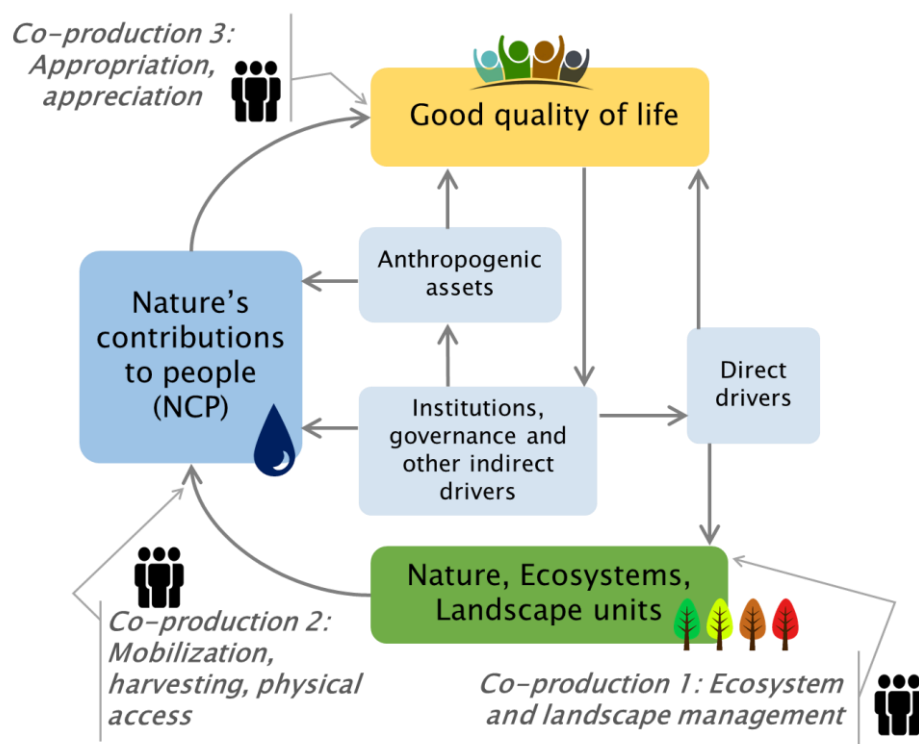


Figure 9. Cadre conceptuel de l'IPBES repris de Díaz et al. (2015), incluant notre conceptualisation de la co-production des NCP en trois étapes. Les encadrés représentent les composantes du socio-écosystème et les flèches leurs relations. (Bruley et al. 2021)

Nous considérons l'intervention humaine à chacune de ces étapes via la mobilisation de capital humain, social, financier, manufacturé et enfin naturel (Goodwin 2003). Le capital humain fait

référence à la capacité de production des individus et se caractérise par les connaissances, les compétences, l'éducation et l'état de santé des personnes ainsi que par leurs motivations, leurs croyances, leurs habitudes et leur comportement. Le capital social réfère à l'ensemble des relations sociales dont dispose une personne, associé aux réseaux formels et informels, à la confiance, aux valeurs et aux normes partagées, nécessaires à l'amélioration des interactions sociétales dans et entre les groupes d'individus. Le capital manufacturé comprend les actifs physiques, tels que les routes, les véhicules, les bâtiments, les machines, les outils, les semences, etc. qui soutiennent le processus de production de biens et de services. Le capital financier comprend l'argent, l'épargne, les crédits et les subventions qui permettent des interactions entre d'autres formes de capital nécessaires à la production de NCP. Enfin, le capital naturel ici considéré comme l'ensemble des fonctions et processus des écosystèmes contribuant à la production de ressources naturelles. Ce cadre d'analyse de la co-production a d'abord été appliqué à l'analyse du fonctionnement actuel du socio-écosystème.

De plus, ce cadre m'a permis d'appréhender les mécanismes d'adaptation basée sur les écosystèmes au sein des trajectoires passée et future du socio-écosystème. En effet, selon notre conceptualisation, la co-production des NCP se situe au cœur des mécanismes d'adaptation.

Pour comprendre comment les communautés peuvent tirer parti des bénéfices des écosystèmes pour s'adapter au changement global il était nécessaire d'identifier et d'analyser différents éléments (Figure 10) :

- Les facteurs de changements qu'ils soient climatiques, socio-économiques, internes ou externes au système et leurs impacts sur les actions de co-production des NCP, notamment sur les capitaux qui y sont impliqués.
- Les réponses adaptatives en termes de NCP mobilisées et de changements au sein des actions de co-production de ces NCP.
- Les dimensions de la bonne qualité de vie, les NCP et les écosystèmes dont elles dépendent.
- Les leviers et barrières d'actions facilitant ou contraignant la mise en œuvre des actions de co-production nécessaires pour atteindre les objectifs d'adaptation et de qualité de vie.

Ce cadre a été mobilisé de différentes manières selon la période étudiée. La compréhension du fonctionnement actuel du socio-écosystème repose sur la caractérisation de la co-production des NCP participants aux dimensions de qualité de vie (Q. 1 et 2). L'étude de la trajectoire passée repose sur l'analyse des changements au sein de la co-production des NCP en réponse aux facteurs de changements via la reconfiguration des capitaux (Q. 1, 2 et 3). Et enfin, l'analyse de l'adaptation future se base sur l'ensemble des éléments du cadre, par l'analyse des objectifs d'adaptation souhaités participants au maintien de la qualité de vie, des contributions de la nature à ces objectifs (NCA), des changements au sein des actions de co-production à mettre en œuvre et enfin des leviers à activer pour l'adaptation (Q. 1, 2, 3 et 4).

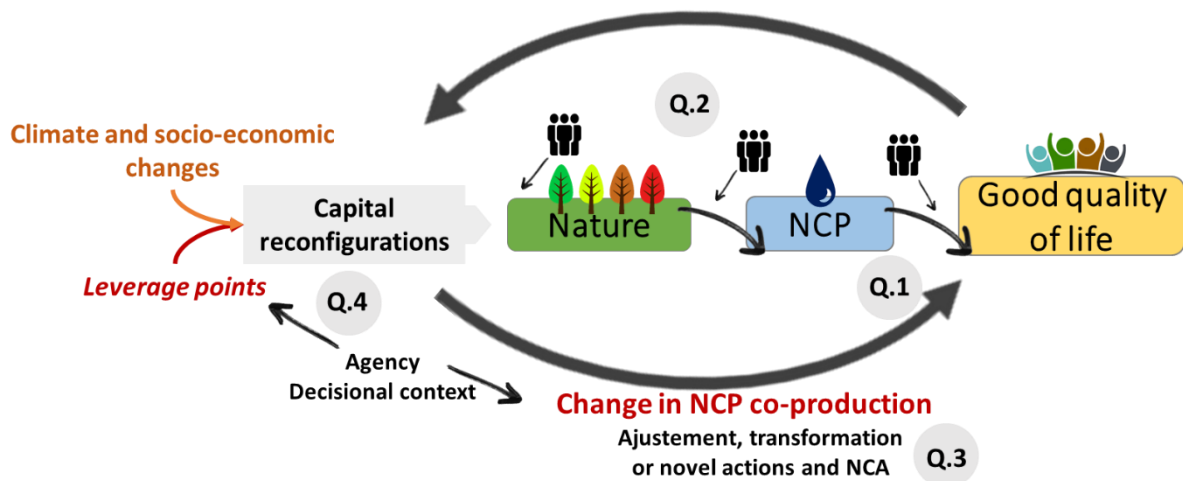


Figure 10. Cadre d'analyse développé afin de décrire le rôle de la co-production au sein de l'adaptation d'un socio-écosystème avec les questions de recherche situées en fonction de la partie du cadre qu'elles adressent.

Structure du manuscrit

Ce manuscrit de thèse est organisé en cinq chapitres. Suite à ce premier chapitre introductif, le second chapitre présente en détail le site d'étude correspondant au socio-écosystème du Pays de la Meije et la démarche et étapes transdisciplinaires mises en place. Les trois chapitres suivants sont présentés sous la forme d'articles scientifiques (publiés ou soumis) et correspondent respectivement aux analyses des résultats des étapes du processus participatif, c'est-à-dire le fonctionnement actuel du socio-écosystème, l'étude de la trajectoire passée et l'exploration des trajectoires d'adaptation futures. Les méthodes de recherche et d'analyse sont décrites plus en détail dans chacun de ces chapitres. Enfin, le dernier et sixième chapitre propose une discussion des principaux résultats ainsi qu'un retour sur l'approche et les concepts adoptés (Figure 11).

Le chapitre 3 vise à répondre aux deux premières questions afin d'identifier et de caractériser les contributions de la nature à la qualité de vie et d'analyser les mécanismes de co-production associés. Il explore particulièrement les principales NCP perçues par les participants, les liens entre les NCP induites par leur co-production simultanée participant aux dimensions de qualité de vie, l'implication de différents capitaux aux différentes étapes de co-production et les différents types de NCP matérielles, non matérielles et de régulation. Cette analyse permet in fine une meilleure compréhension du fonctionnement du socio-écosystème.

Ce chapitre fait l'objet d'une publication : *Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2021). Nature's contributions to people: Co-producing quality of life from multifunctional landscapes. Ecology and Society.* <https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112>

Le chapitre 4, apporte une réponse aux trois premières questions dans le contexte de la trajectoire passée du socio-écosystème. Ce chapitre présente une analyse des réponses adaptatives passées dans les trajectoires agricoles et touristiques, via la reconfiguration des capitaux impliqués dans la co-production des NCP en réponse aux facteurs de changement. Ainsi, il explore les différents types de réponses adaptatives en fonction des changements au sein des étapes de co-production, allant de la résistance à l'ajustement et à la transformation du ou d'une partie du socio-écosystème.

Ce chapitre fait l'objet d'une publication : *Bruley, E., Locatelli, B., Vendel, F., Bergeret, A., Elleaume, N., Grosinger, J., & Lavorel, S. (2021). Past reconfigurations of a social-ecological system adapting to global changes in the French Alps. Regional Environmental Change. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01760-8>*

Enfin, le chapitre 5, tente de répondre à l'ensemble des questions dans le contexte de l'adaptation future du socio-écosystème. J'y ai étudié comment les écosystèmes pourraient être mobilisés par les communautés locales au sein d'une trajectoire d'adaptation souhaitée. Pour cela, j'explore d'une part, les changements nécessaires au sein des actions de co-production des NCP pour répondre aux objectifs d'adaptation fixés par une vision d'avenir souhaitée. Et d'autre part, les leviers d'actions que la communauté locale devra activer afin de mettre en œuvre ces actions de co-production et maintenir le socio-écosystème dans une trajectoire souhaitée.

Ce chapitre fait l'objet d'une publication très prochainement soumise pour publication : *Bruley, E., Locatelli, B., Colloff, M. J., Salliou, N., & Lavorel, S. (n.d.). Identifying levers for ecosystem-based adaptation in a social-ecological system. Environmental Science & Policy.*

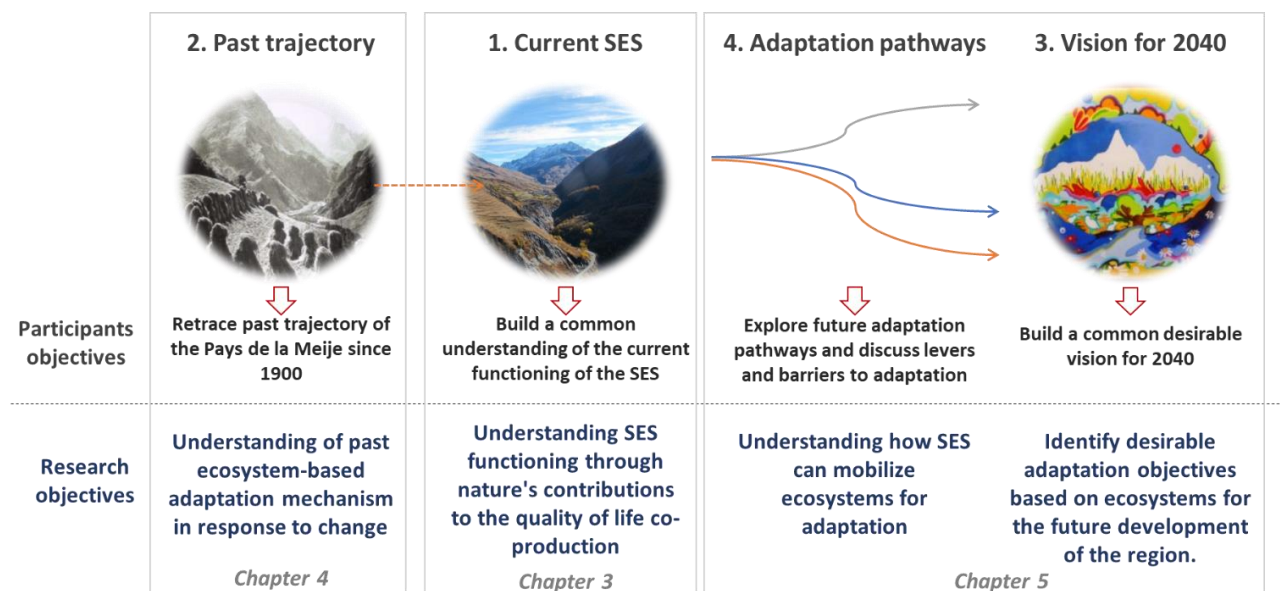


Figure 11. Schéma de synthèse présentant l'articulation entre le processus participatif et les chapitres constitutifs de la thèse.

De plus, j'ai eu la chance de pouvoir contribuer en tant que co-auteur à d'autres articles issus de riches collaborations avec l'équipe projet MtnPaths, les chercheurs du réseau TARA et de l'équipe ServAlp du Laboratoire d'Ecologie Alpine :

- Lavorel, S., Locatelli, B., Colloff, M. J., & Bruley, E. (2020). Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Phil. Trans. R. Soc.* **(Annexe T.1)**
- Pramova, E., Lavorel, S., Locatelli, B., Colloff, M. J., & Bruley, E. (2020). Adaptation in the Anthropocene: How we can support ecosystems to enable our response to change. *CIFOR Infobrief 283*. doi:10.17528/cifor/007588 **(Annexe T.2)**
- Salliou, N., Bruley, E., Luthe, T., Blanco, V., Lavorel, S., & Grêt-Regamey, A. (n.d.). Game of Cruxes: co-designing a game for scientists and stakeholders for identifying joint problems. *Sustainability Science Journal*. (submitted- in revision). **(Annexe T.3)**

- Blanco, V., Luthe, T., Bruley, E., & Grêt-Regamey, A. (n.d.). Aligning collaboration networks and co-designed visions to enable systemic innovation for transforming mountain regions. *Sustainability Science* (submitted- in review). **(Annexe T.4)**
- Colloff, M.J., Abel, N., Gorddard, R., Lavorel, S., Butler, J., Kerkhoff, L.v., Meharg, S., Munera, C., Bruley, E., Fedele, G., Wise, R.M., Dunlop, M., (n.d.). Adapting transformation and transforming adaptation to climate change using a pathways approach. *Environmental Science & Policy*. (submitted- in review). **(Annexe T.5)**
- Ignacio Palomo, Bruno Locatelli, Matthew Colloff, Emilie Crouzat, Erik Gómez-Baggethun, Adrienne Grêt-Regamey, Amanda Jimenez-Aceituno, Berta Martín-López, Iago Otero, Unai Pascual, Noelia Zafra-Calvo, Enora Bruley, Aida Cuni-Sánchez, Alberto González-García, Marie Fischborn, Rosmarie Metz & Sandra Lavorel (2021) Assessing nature-based-solutions for transformative change. *One Earth* (accepted). **(Annexe T.6)**

J'ai également eu l'occasion durant ces années de thèse de participer à de nombreuses conférences et colloques, en France et à l'étranger :

- Bruley, E., & Lavorel, S. (2018). Le Pays de la Meije, will future rhyme with nature? (Poster) 4th Sustainable Summit Conference 2018, Chamonix, France.
- Bruley, E., & Lavorel, S. (2018). A participatory process to understand ecosystem-based adaptation in a mountain social-ecological system to climate change: Past, present and future ecosystem services. ESP Europe conference, San Sebastian, Spain.
- Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2019) Adaptation toward which future? A participatory process to describe adaptive capacity of a mountain social-ecological system in 2040. GLP OSM 2019, Bern, Switzerland.
- Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2019). Insights from a transdisciplinary project on mountain social-ecological system adaptation to future global change. International Mountain Conference, Innsbruck, Austria
- Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2019). A participatory process to understand ecosystem-based adaptation to climate change in a mountain socio-ecological system. Global Challenges Science Week, Grenoble, France.
- Bruley, E., Locatelli, B., Salliou, N., & Lavorel, S. (2020). People working with nature to co-produce adaptation in the French Alps. World Biodiversity Forum 2020, Davos, Switzerland

REFERENCES

- Adger WN, Brown K, Nelson DR, Berkes F, Eakin H, Folke C, Galvin K, Gunderson L, Goulden M, O'Brien K, Ruitenbeek J, Tompkins EL (2011) Resilience implications of policy responses to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2:757–766 . <https://doi.org/10.1002/wcc.133>
- Balvanera P, Calderón-Contreras R, Castro AJ, Felipe-Lucia MR, Geijzendorffer IR, Jacobs S, Martín-López B, Arbieu U, Speranza CI, Locatelli B, Harguindeguy NP, Mercado IR, Spierenburg MJ, Vallet A, Lynes L, Gillson L (2017a) Interconnected place-based social-ecological research can inform global sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 29:1–7 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.09.005>
- Balvanera P, Daw TM, Gardner TA, Martín-López B, Norström A V., Speranza CI, Spierenburg M, Bennett EM, Farfan M, Hamann M, Kittinger JN, Luthe T, Maass M, Peterson GD, Perez-Verdin G (2017b) Key features for more successful place-based sustainability research on social-ecological systems: A programme on ecosystem change and society (PECS) perspective. *Ecology and Society* 22:14 . <https://doi.org/10.5751/ES-08826-220114>
- Barkdull J, Harris PG (2019) Emerging responses to global climate change: Ecosystembased adaptation. *Global Change, Peace and Security* 31:19–37 . <https://doi.org/10.1080/14781158.2018.1475349>
- Bassett TJ, Fogelman C (2013) Déjà vu or something new? The adaptation concept in the climate change literature. *Geoforum* 48:42–53 . <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.04.010>
- Bennett EM, Cramer W, Begossi A, Cundill G, Díaz S, Egoh BN, Geijzendorffer IR, Krug CB, Lavorel S, Lazos E, Lebel L, Martín-López B, Meyfroidt P, Mooney HA, Nel JL, Pascual U, Payet K, Harguindeguy NP, Peterson GD, Prieur-Richard A-H, Reyers B, Roebeling P, Seppelt R, Solan M, Tschakert P, Tschardtke TI, Turner BL, Verburg PH, Viglizzo EF, White PCL, Woodward G (2015) Linking biodiversity, ecosystem services, and human well-being: three challenges for designing research for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 76–85 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.03.007>
- Bennett EM, Solan M, Biggs R, McPhearson T, Norström A V., Olsson P, Pereira L, Peterson GD, Raudsepp-Hearne C, Biermann F, Carpenter SR, Ellis EC, Hichert T, Galaz V, Lahsen M, Milkoreit M, Martín-López B, Nicholas KA, Preiser R, Vince G, Vervoort JM, Xu J (2016a) Bright spots: seeds of a good Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14:441–448 . <https://doi.org/10.1002/fee.1309>
- Bennett NJ, Blythe J, Tyler S, Ban NC, Bennett NJ (2016b) Communities and change in the anthropocene : understanding social-ecological vulnerability and planning adaptations to multiple interacting exposures. *Regional Environmental Change* 16:907–926 . <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0839-5>
- Berkes F, Folke C (1998) *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*, Cambridge. Cambridge University Press, New York City (USA)
- Berkes Fikret, Colding Johan, Folke Carl (2003) *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience For Complexity And Change*, Cambridge. Cambridge University Press, Cambridge (UK)
- Biesbroek GR, Swart RJ, Carter TR, Cowan C, Henrichs T, Mela H, Morecroft MD, Rey D (2010) Europe adapts to climate change: Comparing National Adaptation Strategies. *Global Environmental Change* 20:440–450 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.03.005>
- Binder CR, Bots PWG, Hinkel J, Pahl-Wostl C (2013) Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society* 18:1:26 . <https://doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- Börjeson L, Höjer M, Dreborg KH, Ekvall T, Finnveden G (2006) Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures* 38:723–739 . <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>
- Bourdeau P (2009) From après-ski to après-tourism: the Alps in transition? *Revue de géographie alpine* 0–11 . <https://doi.org/10.4000/rga.1054>
- Bruley E, Locatelli B, Lavorel S (2021) Nature's contributions to people: Co-producing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society* <https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112>

- Carlsson-Kanyama A, Carlsen H, Dreborg KH (2013) Barriers in municipal climate change adaptation: Results from case studies using backcasting. *Futures* 49:9–21 .
<https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.02.008>
- Carlsson-Kanyama A, Dreborg KH, Moll HC, Padovan D (2008) Participative backcasting: A tool for involving stakeholders in local sustainability planning. *Futures* 40:34–46 .
<https://doi.org/10.1016/j.futures.2007.06.001>
- CBD (2009) Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. Montreal, Canada
- Chan KMA, Agard J, Liu J, D. AP de A, Armenteras D, Boedihartono AK, Cheung WWL, Hashimoto S, Pedraza GCH, Hickler T, Jetzkowitz J, Kok M, O'Farrell MM-HP, Satterfield T, Saysel AK, Seppelt R, Strassburg B, Xue D (2019) IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services Chapter 5. Pathways towards a Sustainable Future
- Chausson A, Turner B, Seddon D, Chabaneix N, Girardin CAJ, Kapos V, Key I, Roe D, Smith A, Woroniecki S, Seddon N (2020) Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology* 26:6134–6155 . <https://doi.org/10.1111/gcb.15310>
- Cinner JE, Barnes ML (2019) Social Dimensions of Resilience in Social-Ecological Systems. *One Earth* 1:51–56 . <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.08.003>
- Clark WC, Harley AG (2020) An Integrative Framework for Sustainability Science. In: *Sustainability Science: A guide for researchers*, 1st ed. pp 1–22
- Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C, Maginnis S (2016) Nature-based solutions to address global societal challenges, IUCN. xiii. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland
- Collins SL, Carpenter SR, Swinton SM, Orenstein DE, Childers DL, Gragson TL, Grimm NB, Morgan GJ, Harlan SL, Kaye JP, Knapp AK, Kofinas GP, Magnuson JJ, McDowell WH, Melack JM, Ogden LA, Philip RG, Smith MD, Whitmer AC (2011) An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9:351–357 . <https://doi.org/10.1890/100068>
- Colloff MJ, Abel N, Gorrdard R, Lavorel S, Butler J, Kerkhoff L v., Meharg S, Munera C, Bruley E, Fedele G, Wise RM, Dunlop M Adapting transformation and transforming adaptation to climate change using a pathways approach. *Environmental Science & Policy*
- Colloff MJ, Doherty MD, Lavorel S, Dunlop M, Wise RM, Prober SM (2016) Adaptation services and pathways for the management of temperate montane forests under transformational climate change. *Climatic Change* 138:267–282 . <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1724-z>
- Colloff MJ, Lavorel S, van Kerkhoff LE, Wyborn CA, Fazey I, Gorrdard R, Mace GM, Foden WB, Dunlop M, Prentice IC, Crowley J, Leadley P, Degeorges P (2017a) Transforming conservation science and practice for a postnormal world. *Conservation Biology* 31:1008–1017 .
<https://doi.org/10.1111/cobi.12912>
- Colloff MJ, Martín-López B, Lavorel S, Locatelli B, Gorrdard R, Longaretti PY, Walters G, van Kerkhoff L, Wyborn C, Coreau A, Wise RM, Dunlop M, Degeorges P, Grantham H, Overton IC, Williams RD, Doherty MD, Capon T, Sanderson T, Murphy HT (2017b) An integrative research framework for enabling transformative adaptation. *Environmental Science and Policy* 68:87–96 .
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.007>
- Colloff MJ, Wise RM, Palomo I, Lavorel S, Pascual U (2020) Nature's contribution to adaptation: insights from examples of the transformation of social-ecological systems. *Ecosystems and People* 16:137–150 .
<https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1754919>
- Costanza R, de Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, Farber S, Grasso M (2017) Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services* 28:1–16 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cradock-Henry NA, Blackett P, Hall M, Johnstone P, Teixeira E, Wreford A (2020) Climate adaptation pathways for agriculture: Insights from a participatory process. *Environmental Science and Policy* 107:66–79 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.020>

- Crutzen PJ (2002) Geology of mankind. *Nature* 415:23 . <https://doi.org/10.1038/415023a>
- Davidson DJ (2010) The applicability of the concept of resilience to social systems: Some sources of optimism and nagging doubts. *Society and Natural Resources* 23:1135–1149 . <https://doi.org/10.1080/08941921003652940>
- Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Ash N, Larigauderie A, Adhikari JR, Arico S, Báldi A, Bartuska A, Baste IA, Bilgin A, Brondizio E, Chan KMA, Figueroa VE, Duraiappah A, Fischer M, Hill R, Koetz T, Leadley P, Lyver P, Mace GM, Martin-Lopez B, Okumura M, Pacheco D, Pascual U, Pérez ES, Reyers B, Roth E, Saito O, Scholes RJ, Sharma N, Tallis H, Thaman R, Watson R, Yahara T, Hamid ZA, Akosim C, Al-Hafedh Y, Allahverdiyev R, Amankwah E, Asah TS, Asfaw Z, Bartus G, Brooks AL, Caillaux J, Dalle G, Darnaedi D, Driver A, Erpul G, Escobar-Eyzaguirre P, Failler P, Fouda AMM, Fu B, Gundimeda H, Hashimoto S, Homer F, Lavorel S, Lichtenstein G, Mala WA, Mandivenyi W, Matczak P, Mbizvo C, Mehrdadi M, Metzger JP, Mikissa JB, Moller H, Mooney HA, Mumby P, Nagendra H, Nesshover C, Oteng-Yeboah AA, Pataki G, Roué M, Rubis J, Schultz M, Smith P, Sumaila R, Takeuchi K, Thomas S, Verma M, Yeo-Chang Y, Zlatanova D (2015) The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:1–16 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson RT, Molnár Z, Hill R, Chan KMA, Baste IA, Brauman KA, Polasky S, Church A, Lonsdale M, Larigauderie A, Leadley PW, van Oudenhoven APE, van der Plaats F, Schröter M, Lavorel S, Aumeeruddy-Thomas Y, Bukvareva E, Davies K, Demissew S, Erpul G, Failler P, Guerra CA, Hewitt CL, Keune H, Lindley S, Shirayama Y (2018) Assessing nature's contributions to people. *Science* 359:270–272 . <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Díaz S, Settele J, Brondizio ES, Ngo HT, Guèze M, Agard J, Arneth A, Balvanera P, Brauman KA, Butchart SHM, Chan KMA, Garibaldi LA, Ichii K, Liu J, Subramanian SM, Midgley GF, Miloslavich P, Molnár Z, Obura D, Pfaff A, Polasky S, Purvis A, Razzaque J, Reyers B, Chowdhury RR, Shin YJ, Visseren-Hamakers IJ, Willis KJ, Zayas CN (2019) Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany.
- Donatti CI, Harvey CA, Hole D, Panfil SN, Schurman H (2020) Indicators to measure the climate change adaptation outcomes of ecosystem-based adaptation. *Climatic Change* 158:413–433 . <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02565-9>
- Egan PA, Price MF (2017) *Mountain Ecosystem Services and Climate Change. A global overview of potential threats and strategies for adaptation*, UNESCO. Paris
- Egarter Vigl L, Schirpke U, Tasser E, Tappeiner U (2016) Linking long-term landscape dynamics to the multiple interactions among ecosystem services in the European Alps. *Landscape Ecology* 31:1903–1918 . <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0389-3>
- Ehrlich PR, Mooney AH (1983) Extinction , Substitution , Ecosystem Services. *BioScience* 33:248–254 . <https://doi.org/doi:10.2307/1309037>
- Elkin C, Gutiérrez AG, Leuzinger S, Manusch C, Temperli C, Rasche L, Bugmann H (2013) A 2 °C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps. *Global Change Biology* 19:1827–1840 . <https://doi.org/10.1111/gcb.12156>
- Engle NL (2011) Adaptive capacity and its assessment. *Global Environmental Change* 21:647–656 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.019>
- Falardeau M, Raudsepp-Hearne C, Bennett EM (2019) A novel approach for co-producing positive scenarios that explore agency: case study from the Canadian Arctic. *Sustainability Science* 14:205–220 . <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0620-z>
- Fazey I, Wise RM, Lyon C, Câmpeanu C, Moug P, Davies TE (2015) Past and future adaptation pathways. *Climate and Development* 8:26–44 . <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.989192>
- Fedele G, Donatti CI, Harvey CA, Hannah L, Hole DG (2019) Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science and Policy* 101:116–125 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.001>

- Fedele G, Locatelli B, Djoudi H (2017) Mechanisms mediating the contribution of ecosystem services to human well-being and resilience. *Ecosystem Services* 28:43–54 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.011>
- Feola G (2015) Societal transformation in response to global environmental change: A review of emerging concepts. *Ambio* 44:376–390 . <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0582-z>
- Fischer A, Eastwood A (2016) Coproduction of ecosystem services as human-nature interactions-An analytical framework. *Land Use Policy* 52:41–50 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.004>
- Fischer J, Sherren K, Hanspach J (2014) Place, case and process: Applying ecology to sustainable development. *Basic and Applied Ecology* 15:187–193 . <https://doi.org/10.1016/j.baae.2013.12.002>
- Freduah G, Fidelman P, Smith TF (2019) A framework for assessing adaptive capacity to multiple climatic and non-climatic stressors in small-scale fisheries. *Environmental Science and Policy* 101:87–93 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.016>
- Gobiet A, Kotlarski S, Beniston M, Heinrich G, Rajczak J, Stoffel M (2014) 21st century climate change in the European Alps-A review. *Science of the Total Environment* 493:1138–1151 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>
- Goodwin NR (2003) Five Kinds of Capital: Useful Concepts for Sustainable Development. *Global Development And Environment Institute- G-DAE Working Pa:1–13* . <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2005.12.011>
- Gorddard R, Colloff MJ, Wise RM, Ware D, Dunlop M (2016) Values, rules and knowledge: Adaptation as change in the decision context. *Environmental Science and Policy* 57:60–69 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.12.004>
- Gunderson LH, Holling CS, (Eds.) (2002) *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems.*, Island Pre. Washington, DC
- Gurung AB, von Dach SW, Price MF, Aspinnall R, Balsiger J, Baron JS, Sharma E, Greenwood G, Kohler T (2012) Global Change and the World's Mountains— Research Needs and Emerging Themes for Sustainable Development. *Mountain Research and Development* 32:S47–S54 . <https://doi.org/10.1659/mrd-journal-d-11-00084.s1>
- Haida C, Rüdiger J, Tappeiner U (2016) Ecosystem services in mountain regions: experts' perceptions and research intensity. *Regional Environmental Change* 16:1989–2004 . <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0759-4>
- Haines-Young R, Potschin M (2010) The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology: a new synthesis* 1:110–139
- Herrero-Jáuregui C, Arnaiz-Schmitz C, Reyes MF, Telesnicki M, Agramonte I, Easdale MH, Schmitz MF, Aguiar M, Gómez-Sal A, Montes C (2018) What do we talk about when we talk about social-ecological systems? A literature review. *Sustainability (Switzerland)* 10: . <https://doi.org/10.3390/su10082950>
- Hinojosa L, Napoléone C, Moulery M, Lambin EF (2016) The “mountain effect” in the abandonment of grasslands: Insights from the French Southern Alps. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221:115–124 . <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.032>
- Hock R, Rasul G, Adler C, Cáceres B, Gruber S, Y. H, Jackson M, Kääb A, Kang S, Kutuzov A, Milner AM, U., Morin S, Orlove B, Steltzer H (2019) High Mountain Areas. *IPCC SR Ocean and Cryosphere* 94
- Holling CS (1973) Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systems* 1–23 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Horcea-Milcu AI, Martín-López B, Lam DPM, Lang DJ (2020) Research pathways to foster transformation: Linking sustainability science and social-ecological systems research. *Ecology and Society* 25: . <https://doi.org/10.5751/ES-11332-250113>
- IPBES (2019) *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.* IPBES secretariat, Bonn, Germany

- IPCC (2014) Summary for policy makers, Cambridge. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IPCC (2018) Proposed outline of the special report in 2018 on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways , in the context of strengthening the global response to the threat of climate cha. *Ipcc - Sr15 2*:17–20
- Jones L, Norton L, Austin Z, Browne AL, Donovan D, Emmett BA, Grabowski Z., Howard DC, Jones JPG, Kenter J., Manley W, Morris C, Robinson DA, Short C, Siriwardena GM, Stevens CJ, Storkey J, Waters RD, Willis GF (2016) Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. *Land Use Policy* 52:151–162 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.014>
- Kabisch N, Frantzeskaki N, Pauleit S, Naumann S, Davis M, Artmann M, Haase D, Knapp S, Korn H, Stadler J, Zaunberger K, Bonn A (2016) Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas and their rural surroundings. *Ecology and Society* 21:
- Kates RW, Travis WR, Wilbanks TJ (2012) Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109:7156–7161 . <https://doi.org/10.1073/pnas.1115521109>
- Klein JA, Tucker CM, Nolin AW, Hopping KA, Reid RS, Steger C, Grêt-Regamey A, Lavorel S, Müller B, Yeh ET, Boone RB, Bourgeron P, Butsic V, Castellanos E, Chen X, Dong SK, Greenwood G, Keiler M, Marchant R, Seidl R, Spies T, Thorn J, Yager K (2019) Catalyzing Transformations to Sustainability in the World's Mountains. *Earth's Future* 547–557 . <https://doi.org/10.1029/2018EF001024>
- Körner C, Ohsawa M, Spehn E (2005) Mountain systems. In: Island press WD (ed) In: Millennium ecosystem assessment. Current state and trends: findings of the condition and trends working group. pp 681–716
- Lavorel S, Colloff MJ, Locatelli B, Gorrard R, Prober SM, Gabillet M, Devaux C, Laforgue D, Peyrache-Gadeau V (2019) Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science and Policy* 92:87–97 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lavorel S, Locatelli B, Colloff MJ, Bruley E (2020a) Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 375: . <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0119>
- Lavorel S, Rey PL, Grigulis K, Zawada M, Byczek C (2020b) Interactions between outdoor recreation and iconic terrestrial vertebrates in two French alpine national parks. *Ecosystem Services* 45:101155 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101155>
- Lele S, Springate-baginski O, Lakerveld R, Deb D, Dash P (2015) Ecosystem Services : Origins , Contributions , Pitfalls , and Alternatives. 11:343–358 . <https://doi.org/10.4103/0972-4923.125752>
- Liu J, Dietz T, Carpenter SR, Folke C, Alberti M, Redman CL, Schneider SH, Ostrom E, Pell AN, Lubchenco J, Taylor WW, Ouyang Z, Deadman P, Kratz T, Provencher W (2007) Coupled human and natural systems. *Ambio* 36:639–649 . [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[639:CHANS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[639:CHANS]2.0.CO;2)
- Locatelli B, Lavorel S, Sloan S, Tappeiner U, Geneletti D (2017) Characteristic trajectories of ecosystem services in mountains. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15:150–159 . <https://doi.org/10.1002/fee.1470>
- Martín-López B, Leister I, Cruz PL, Palomo I, Grêt-Regamey A, Harrison PA, Lavorel S, Locatelli B, Luque S, Walz A (2019) Nature's contributions to people in mountains: A review. *PLoS ONE* 14:1–24 . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217847>
- Martín-López B, Montes C (2015) Restoring the human capacity for conserving biodiversity: a social-ecological approach. *Sustainability Science* 10:699–706 . <https://doi.org/10.1007/s11625-014-0283-3>
- Martin N (2014) Les migrations d ' agrément , marqueur d ' une dynamique d ' après tourisme dans les territoires de montagne
- Mastrángelo ME, Pérez-Harguindeguy N, Enrico L, Bennett E, Lavorel S, Cumming GS, Abeygunawardane D, Amarilla LD, Burkhard B, Egoh BN, Frishkoff L, Galetto L, Huber S, Karp DS, Ke A, Kowaljow E,

- Kronenburg-García A, Locatelli B, Martín-López B, Meyfroidt P, Mwampamba TH, Nel J, Nicholas KA, Nicholson C, Oteros-Rozas E, Rahlao SJ, Raudsepp-Hearne C, Ricketts T, Shrestha UB, Torres C, Winkler KJ, Zoeller K (2019) Key knowledge gaps to achieve global sustainability goals. *Nature Sustainability* 2:1115–1121 . <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0412-1>
- McDowell G, Huggel C, Frey H, Wang FM, Cramer K, Ricciardi V (2019) Adaptation action and research in glaciated mountain systems: Are they enough to meet the challenge of climate change? *Global Environmental Change* 54:19–30 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.10.012>
- MEA (2005) *Millennium Ecosystem Assessment - Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC, USA
- Ménégoz M, Valla E, Jourdain N, Blanchet J, Beaumet J, Wilhelm B, Gallée H, Fettweis X, Morin S, Anquetin S (2020) Contrasting seasonal changes in total and intense precipitation in the European Alps from 1903 to 2010. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 1–37 . <https://doi.org/10.5194/hess-2019-690>
- Muhar A, Raymond CM, van den Born RJG, Bauer N, Böck K, Braitto M, Buijs A, Flint C, de Groot WT, Ives CD, Mitrofanenko T, Plieninger T, Tucker C, van Riper CJ (2017) A model integrating social-cultural concepts of nature into frameworks of interaction between social and natural systems. *Journal of Environmental Planning and Management* 0568:1–22 . <https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1327424>
- Munang R, Thiaw I, Alverson K, Mumba M, Liu J, Rivington M (2013) Climate change and Ecosystem-based Adaptation: A new pragmatic approach to buffering climate change impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:67–71 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.12.001>
- Nalau J, Becken S, Mackey B (2018) Ecosystem-based Adaptation: A review of the constraints. *Environmental Science and Policy* 89:357–364 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.014>
- Norström A V., Cvitanovic C, Löf MF, West S, Wyborn C, Balvanera P, Bednarek AT, Bennett EM, Biggs R, de Bremond A, Campbell BM, Canadell JG, Carpenter SR, Folke C, Fulton EA, Gaffney O, Gelcich S, Jouffray JB, Leach M, Le Tissier M, Martín-López B, Louder E, Loutre MF, Meadow AM, Nagendra H, Payne D, Peterson GD, Reyers B, Scholes R, Speranza CI, Spierenburg M, Stafford-Smith M, Tengö M, van der Hel S, van Putten I, Österblom H (2020) Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature Sustainability* 3:182–190 . <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2>
- Ostrom E (2009) A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325:419–422 . <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Oteros-Rozas E, Martín-López B, Daw TM, Bohensky EL, Butler JRA, Hill R, Martin-Ortega J, Quinlan A, Ravera F, Ruiz-Mallén I, Thyresson M, Mistry J, Palomo I, Peterson GD, Plieninger T, Waylen KA, Beach DM, Bohnet IC, Hamann M, Hanspach J, Hubacek K, Lavorel S, Vilarly SP (2015) Participatory scenario planning in place-based social-ecological research: Insights and experiences from 23 case studies
- Outeiro L, Ojea E, Rodrigues JG, Himes-cornell A, Belgrano A, Liu Y, Cabecinha E, Pita C, Macho G, Outeiro L, Ojea E, Rodrigues JG, Himes-cornell A, Belgrano A, Liu Y, Cabecinha E, Pita C, Macho G, Villasante S (2017) The role of non-natural capital in the co- production of marine ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 13:35–50 . <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1415973>
- Palomo I (2017) Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature Review. *Mountain Research and Development* 37:179–187 . <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00110.1>
- Palomo I, Felipe-Lucia MR, Bennett EM, Martín-López B, Pascual U (2016) Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service Co-Production. *Advances in Ecological Research* 54:245–283 . <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Palomo I, Montes C (2011) Participatory Scenario Planning for Protected Areas Management under the Ecosystem Services Framework : the Doñana Social-Ecological System in Southwestern Spain. *Ecology and Society* 16:23 . <https://doi.org/23>
- Pascual U, Balvanera P, Díaz S, Pataki G, Roth E, Stenseke M, Watson RT, Başak Dessane E, Islar M, Kelemen

- E, Maris V, Quaas M, Subramanian SM, Wittmer H, Adlan A, Ahn S, Al-Hafedh YS, Amankwah E, Asah ST, Berry P, Bilgin A, Breslow SJ, Bullock C, Cáceres D, Daly-Hassen H, Figueroa E, Golden CD, Gómez-Baggethun E, González-Jiménez D, Houdet J, Keune H, Kumar R, Ma K, May PH, Mead A, O'Farrell P, Pandit R, Pengue W, Pichis-Madruga R, Popa F, Preston S, Pacheco-Balanza D, Saarikoski H, Strassburg BB, van den Belt M, Verma M, Wickson F, Yagi N (2017) Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26–27:7–16 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Pelling M, O'Brien K, Matyas D (2015) Adaptation and transformation. *Climatic Change* 133:113–127 . <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1303-0>
- Pielke RAJ (1998) Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global Environmental Change* 8, 159–170. *Global Environmental Change* 8:159–170
- Polak F (1973) *The Image of the Future*, Elsevier. Leyden/New York
- Räsänen A, Sirkku J, Nygren A, Käkönen M, Kallio M, Monge AM, Kanninen M (2016) Climate change , multiple stressors and human vulnerability : a systematic review. *Regional Environmental Change* 16:2291–2302 . <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0974-7>
- Rauken T, Mydske PK, Winsvold M (2015) Mainstreaming climate change adaptation at the local level. *Local Environment* 20:408–423 . <https://doi.org/10.1080/13549839.2014.880412>
- Reid H, Jones XH, Porras I, Hicks C, Wicander S, Seddon N, Kapos V, Rizvi AR, Roe D (2019) Is ecosystem-based adaptation effective ? Perceptions and lessons learned from 13 project sites.
- Reyers B, Biggs R, Cumming GS, Elmqvist T, Hejnowicz AP, Polasky S (2013a) Getting the measure of ecosystem services: A social-ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11:268–273 . <https://doi.org/10.1890/120144>
- Reyers B, Biggs R, Cumming GSS, Elmqvist T, Adam P, Biggs R, Cumming GSS, Elmqvist T, Hejnowicz APP (2013b) Getting the measure of ecosystem services : a social — ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11:268–273 . <https://doi.org/10.1890/120144>
- Rizvi AR, Baig S, Verdone M (2015) *Ecosystem Based Adaptation: Knowledge Gaps in Making an Economic Case for Investing in Nature Based Solutions for Climate Change*, IUCN. Gland, Switzerland
- Scarano FR (2017) Ecosystem-based adaptation to climate change: concept, scalability and a role for conservation science. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15:65–73 . <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.003>
- Schirpke U, Meisch C, Marsoner T, Tappeiner U (2017) Revealing spatial and temporal patterns of outdoor recreation in the European Alps and their surroundings. *Ecosystem Services* 31:336–350 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.11.017>
- Schirpke U, Timmermann F, Tappeiner U, Tasser E (2016) Cultural ecosystem services of mountain regions: Modelling the aesthetic value. *Ecological Indicators* 69:78–90 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.001>
- Schwartz SH (2012) An Overview of the Schwartz Theory of Basic Values. *Online Readings in Psychology and Culture* 2:1–20 . <https://doi.org/10.9707/2307-0919.1116>
- Smit B, Burton I, Klein R, Wandel J (2000) An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change* 223–251
- Smit B, Wandel J (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16:282–292 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Spangenberg JH, Görg C, Truong DT, Tekken V, Bustamante JV, Settele J, Spangenberg JH, Görg C, Truong DT, Tekken V (2014) Provision of ecosystem services is determined by human agency , not ecosystem functions . Four case studies. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 10:40–53 . <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.884166>
- Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, Biggs R, Carpenter SR, De Vries W, De Wit CA, Folke C, Gerten D, Heinke J, Mace GM, Persson LM, Ramanathan V, Reyers B, Sörlin S (2015)

- Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347: . <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Steffen W, Rockström J, Richardson K, Lenton TM, Folke C, Liverman D, Summerhayes CP, Barnosky AD, Cornell SE, Crucifix M, Donges JF, Fetzer I, Lade SJ, Scheffer M, Winkelmann R, Schellnhuber HJ (2018) Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115:8252–8259 . <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Swart R, Biesbroek R, Lourenço TC (2014) Science of adaptation to climate change and science for adaptation. *Frontiers in Environmental Science* 2:1–8 . <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00029>
- Teich M, Bartelt P, Grêt-Regamey A, Bebi P (2012) Snow avalanches in forested terrain: Influence of forest parameters, topography, and avalanche characteristics on runout distance. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 44:509–519 . <https://doi.org/10.1657/1938-4246-44.4.509>
- Vignola R, Locatelli B, Martinez C, Imbach P (2009) Ecosystem-based adaptation to climate change: What role for policy-makers, society and scientists? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14:691–696 . <https://doi.org/10.1007/s11027-009-9193-6>
- Viviroli D, Dürr HH, Messerli B, Meybeck M, Weingartner R (2007) Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research* 43:1–13 . <https://doi.org/10.1029/2006WR005653>
- Walker B, Holling CS, Carpenter SR, Kinzig A (2004) Resilience, Adaptability and Transformability in Social – ecological Systems. *Ecology and Society* 9:5 . <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.258101>
- Wamsler C, Luederitz C, Brink E (2014) Local levers for change: Mainstreaming ecosystem-based adaptation into municipal planning to foster sustainability transitions. *Global Environmental Change* 29:189–201 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.09.008>
- Wamsler C, Niven L, Beery TH, Bramryd T, Ekelund N, Jönsson KI, Osmani A, Palo T, Stålhammar S (2016) Operationalizing ecosystem-based adaptation: Harnessing ecosystem services to buffer communities against climate change. *Ecology and Society* 21: . <https://doi.org/10.5751/ES-08266-210131>
- Wise RM, Fazey I, Stafford Smith M, Park SE, Eakin HC, Archer Van Garderen ERM, Campbell B (2014) Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change* 28:325–336 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.002>
- Wyborn C, Datta A, Montana J, Ryan M, Leith P, Chaffin B, Miller C, Van Kerkhoff L (2019) Co-Producing Sustainability: Reordering the Governance of Science, Policy, and Practice. *Annual Review of Environment and Resources* 44:319–346 . <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033103>

CHAPITRE 2

PRESENTATION DU SITE D'ETUDE ET DU PROCESSUS PARTICIPATIF MIS EN PLACE



Aquarelle - « Glacier » - Etienne BRULEY - 1990

Ce chapitre a pour objectifs d'apporter une présentation détaillée du système social et écologique étudié mais également une description des étapes du processus participatif mis en place dans le cadre du projet MtnPaths pendant ces trois années de thèse. Ce projet s'inscrit dans la lignée de plusieurs processus participatifs mis en place sur ce territoire depuis 2003 principalement avec le secteur agricole (Quétier 2006; Lamarque 2012) et sur une étude exploratoire des trajectoires d'adaptation (Lavorel et al. 2019). Il est important de noter qu'il s'agit de la première thèse prenant en compte l'ensemble des contributions de la nature à la qualité de vie menée sur ce site et pas seulement les dynamiques socio-écologiques en lien avec l'agriculture. Ce projet est réalisé notamment dans le prolongement de l'étude menée après la crise du Chambon en 2016, où le territoire s'est retrouvé isolé suite à un glissement de terrain ayant entraîné la fermeture de la route principale (Bally et al. 2020). Ce contexte constituait un terreau fertile pour engager des réflexions sur l'avenir et l'adaptation du territoire. Le choix du socio-écosystème du Pays de la Meije comme terrain d'étude a été motivé par cette longue histoire de recherche socio-écologique, il fait notamment partie de la Zone Atelier Alpes, un site « Long Term Socio-Ecological Research » (LTSER) (Lavorel et al. 2013).

Site d'étude : Le socio-écosystème du pays de la Meije

La vallée de la haute romanche, rebaptisée Pays de la Meije pour affirmer son identité touristique, se situe au cœur des Alpes françaises entre les massifs des Arves au nord et des Ecrins au sud. D'une superficie de 205 Km² entre moyenne et haute montagne, son altitude varie entre 1135m et 3983m, son point culminant, La Meije. Les points d'entrée de ce territoire sont le Lac du Chambon (1040m) à l'ouest et le Col du Lautaret à l'est (2058m). Les villages et hameaux sont situés entre 1350m et 1800m d'altitude à l'exception du col du Lautaret situé à 2058m. Elle regroupe deux communes. La Grave, composée du centre bourg et de six hameaux, Les Fréaux, Le Chazelet, Ventelon, Les Hières, Valfroide et Les Terrasses, comptait 487 habitants en 2017 avec une densité de 3,8 habitants/Km². Villar d'Arène, composée du centre bourg et de trois hameaux, Les Cours, le Col du Lautaret et Le Pied du col, comptait 311 habitants en 2017 avec une densité de 4 habitants/Km² (INSEE, 2017).

1. Caractéristiques biophysiques

Le climat alpin avec des influences méditerranéennes se caractérise par une température moyenne assez faible entre 4 et 6°C, avec des minimums de température enregistrés en février (moyenne de -7.4°C au col) et maximums en juillet (moyenne de 19.5°C au col) (Quétier et al. 2007). Les précipitations annuelles moyennes varient 950 et 1300mm/an sur le territoire. Le taux de précipitations est le plus faible en juillet et le plus fort en décembre, avec une majorité de précipitations sous forme de neige en hiver (60%). Ce climat froid entraînant une fonte des neiges tardives (entre avril et juin selon l'altitude) offre une saison de végétation plutôt courte, 6 mois entre avril et octobre (Robson et al. 2010).

Les effets du changement climatique déjà observés devraient s'accroître selon les scénarios climatiques de l'IPCC (Hock et al. 2019). Cela concerne en premier lieu le réchauffement des températures, il est estimé à 1,2°C au cours du 20^{ème} siècle, ce qui est deux fois plus important que les taux mondiaux (Gobiet et al. 2014). Ce réchauffement associé à une variabilité accrue des

précipitations, notamment une diminution des précipitations pluvieuses en été et une augmentation en hiver au détriment des précipitations neigeuses (Ménégoz et al. 2020), auraient de nombreuses conséquences. En premier lieu, le déclin de la couverture neigeuse, des glaciers et du permafrost pouvant à long terme impacter la disponibilité en eau pour les écosystèmes et les populations, mais qui impacte déjà les activités touristiques et le paysage (Hock et al. 2019). Ces changements au sein de la cryosphère auraient également des conséquences sur la magnitude, la fréquence et le zonage des risques naturels tels que les avalanches, les inondations ou les chutes de blocs (Hock et al. 2019). Enfin, les changements saisonniers de température et de précipitation (sécheresse, longueur de saison, jours de gel...) impacteraient la faune et la flore, via l'élargissement ou le rétrécissement des aires de répartition de certaines espèces (Hock et al. 2019).

Cette vallée constitue la tête du bassin versant de la Romanche, rivière notamment utilisée pour la production d'hydroélectricité et pour d'importantes usines pétrochimiques en aval. A l'heure actuelle l'eau n'est utilisée que pour la consommation locale et le bétail, et quelques activités récréatives (rafting, pêche), les lacs sont quant à eux un point d'attrait important pour le tourisme. A l'instar de nombreux territoires de montagne, les risques naturels sont liés principalement à l'instabilité des sols provoquant des glissements de terrain, des crues torrentielles en cas de très fortes précipitations et des chutes de blocs, mais également aux chutes de neige provoquant des avalanches et rendant difficile la circulation en hiver.

Le paysage qu'offre le pays de la Meije est riche, diversifié et découle d'une longue histoire entre l'homme et la nature (Figure 1). En effet, on observe tout d'abord un contraste important entre les faces sud et nord. La face nord (Ubac) et ses pentes raides appartenant au massif de la Meije, sont actuellement constituées de forêts de mélèze jusqu'à 2500m, de landes herbacées et arbustives, de roches, de glace et de neige. Les écosystèmes y sont bien préservés car intégrés dans la zone cœur du Parc National des Ecrins depuis 1973. La face sud (Adret) dont les pentes sont plus douces, accueille les villages et hameaux, de très nombreuses terrasses, prairies et alpages façonnés par l'action de l'homme. Ainsi sur l'ensemble du territoire on retrouve une dominance de roches (46%), puis d'alpages (27%) et de terrasses pâturées (9%). La glace et la neige représentent 8% de la surface, les forêts et les terrasses fauchées en représentent moins de 2% (Figure 1).

La faible part de forêts sur l'ensemble du territoire et a fortiori sur l'adret s'explique par l'utilisation agricole du paysage depuis l'Age du Bronze visant à augmenter la surface de culture et de pâture d'altitude (Girel et al. 2010). Les terrasses ou banquettes dominant encore le paysage agricole sur l'adret, sont l'héritage de l'agriculture de subsistance, et notamment la culture céréalière, qui a persisté jusqu'au début du 20ème siècle pour être ensuite remplacée par l'élevage (Girel et al. 2010). Les terres agricoles sont aujourd'hui en majorité dédiées à l'élevage bovins, ovins et caprins. Ainsi on observe un gradient d'utilisation des parcelles en fonction de l'altitude et de leur éloignement des villages : les terrasses entre 1300-1900m, principalement des prairies de fauche (fertilisées ou non), parfois pâturées au printemps et à l'automne ; les prairies pâturées entre 1900-2200m, historiquement fauchées dominées par l'espèce *Patzkea paniculata* ; et enfin les grands alpages d'été entre 2200-2700 m, zones pâturées depuis plusieurs siècles (Quétier et al. 2007; Lavorel et al. 2017). Au plus près des villages, on retrouve également sur les terrasses quelques parcelles cultivées (pomme de terre, potager). Les prairies de fauche se caractérisent par une forte biodiversité entretenue par la fauche tardive. Certains alpages subissent cependant l'effet du surpâturage. Les terrasses se dégradent actuellement à cause de l'érosion naturelle et

du piétinement des bêtes, en effet, l'entretien de ces terrasses constitue une somme de travail importante que ne peuvent plus effectuer des quelques éleveurs présents. Ce paysage caractéristique pourrait donc être menacé à moyen terme notamment en lien avec les départs à la retraite d'éleveurs dont le travail de fauche ne pourra plus être compensé par les autres éleveurs.

Le paysage et les écosystèmes sont le support de nombreuses activités socio-économiques du territoire. En effet, il existe de nombreux usages matériels et immatériels de la nature en lien avec la production agricole (production de fourrage), les activités touristiques (randonnées, observation naturaliste, ski) et la vie quotidienne (cueillette, chauffage, identité). Seules les forêts restent globalement inexploitées du fait de la longue absence de celles-ci sur le territoire, du manque de tradition de culture forestière mais également de piètre qualité du bois, à l'exception de quelques forêts de protection gérés par l'Office National des Forêt qui protègent les villages contre l'érosion et les avalanches.

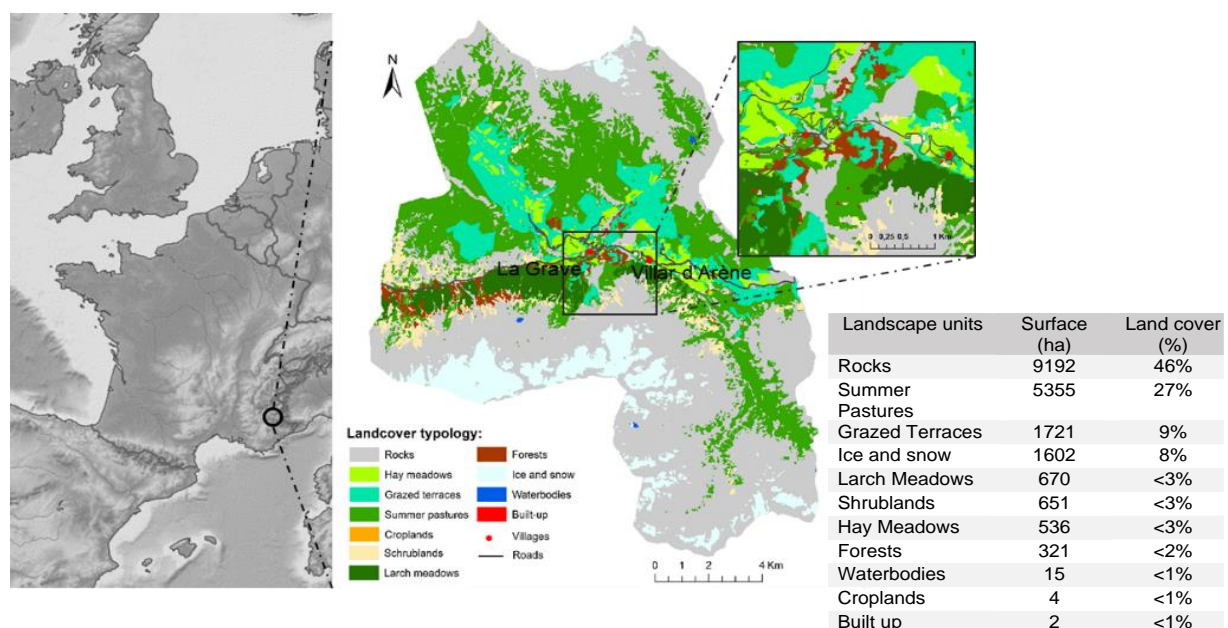


Figure 1. Carte d'occupation des sols du site d'étude et surface occupée par chaque type de couverture de sol.

2. Caractéristiques socio-économiques

Ces deux communes forment le canton de La Grave situé dans la communauté de communes du Briançonnais qui est rattaché au département des Hautes-Alpes dont la préfecture est Gap (située à 120Km) et à la région Alpes-Provence-Côte d'Azur dont la préfecture est Marseille (située à 300Km). Malgré cela, elles faisaient historiquement partie du Haut-Oisans (Isère) jusqu'à la formation des départements français en 1790. Ce découpage a eu d'importantes répercussions en termes de gouvernance. En effet, le système français se caractérise par un feuilletage administratif, ainsi les communes gèrent toutes affaires d'intérêt communal (urbanisme, logement, environnement, écoles), et ont perdu de nombreuses compétences au profit des intercommunalités, ici la communauté de communes du briançonnais. Celle-ci gère, depuis la Loi NOTRE en 2015, la promotion du tourisme, le soutien à l'agriculture, la mobilité, l'aménagement territorial via le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT), la gestion des déchets et des milieux aquatiques. Les départements gèrent principalement ce qui est relatif à l'action sociale, aux

infrastructures et aides aux communes. Les régions exercent leurs compétences dans le domaine du développement économique, de l'aménagement du territoire ou des transports. Enfin, l'adhésion des deux communes au Parc National des Ecrins ajoute un nouvel échelon de gouvernance en lien avec l'application de la Charte du parc élaboré avec des élus et acteurs locaux. Les missions du parc sont la production de connaissances, la préservation des espèces et des milieux, l'accueil du public et l'accompagnement du développement du territoire (au travers de la Charte).

Ce territoire a connu d'importantes fluctuations démographiques entre la fin du 19^{ème} siècle et aujourd'hui. Ainsi le pic de population a été atteint entre 1800 et 1850 avec un peu plus de 2000 habitants sur le canton, puis une émigration progressive due principalement aux guerres et à l'exode rural pour atteindre environs 650 habitants dans les années 1990 (*Cassini EHESS*). Le canton compte aujourd'hui un peu plus de 800 habitants. Si le solde migratoire reste positif pour Villar d'Arène ces 20 dernières années, il est faible ou négatif pour La Grave. Les structures de population sont similaires dans les deux communes, en 2015 on retrouve plus de 50% des habitants ayant entre 30 et 60 ans, puis environ 20% de moins de 14 ans. Les tranches d'âges les moins représentées sont alors les jeunes adultes entre 15 et 30 ans (10 à 12%) et les plus de 75ans (6%). La faible présence des jeunes adultes s'explique par les départs pour les études supérieures à partir du collège. En effet, si une école maternelle et primaire est présente sur le territoire, les collèges et lycées sont à une quarantaine de kilomètres du canton et les universités dans les grandes villes comme Gap ou Grenoble. Cette population est donc formée d'habitants dits « du cru » issus de familles implantées localement et d'habitants étant venus s'installer plus récemment en lien avec le développement du tourisme, aussi appelés « migrants d'agrément » (Martin 2013). Ainsi, entre 48 et 60% des ménages s'y sont installés il y a moins de 10 ans dont environ 16% il y a moins de 2 ans. Les ménages s'étant installés il y a plus de 10 ans sont entre 40 et 50% (dont 13 à 23% il y a 30 ans ou plus). On constate plus de ménages récemment installés à Villar d'Arène qu'à La Grave, ce qui explique en partie les différentes dynamiques sociales retrouvées entre les deux communes.

Ce territoire touristique a su se préserver de l'urbanisation forte qui touche les stations voisines (e.g. Serres-Chevalier, Les 2 Alpes). En effet, si le nombre de lits touristiques et les résidences secondaires est important (+ de 60% des logements) les villages et hameaux restent denses et l'étalement urbain est très faible. Ce phénomène s'explique également par la topographie et la présence de terrasses fauchées jusqu'aux bords des habitations offrant peu d'espace pour le développement urbain.

L'économie de ce territoire est majoritairement tertiaire axée sur le tourisme, qui représente le bassin d'emploi le plus important sur le territoire et dans les vallées voisines (hébergements, restauration, commerce, services). On retrouve également une part importante du service public (e.g. santé, éducation, administration) même si le territoire dépend fortement des agglomérations proches en ce qui concerne le commerce, la santé et l'éducation. Les secteurs agricoles et de la construction sont également présents mais restent minoritaires en termes d'emploi. On observe cependant une activité économique plus importante à la Grave qu'à Villar d'Arène due notamment à la présence du téléphérique catalyseur du tourisme. La majorité des travailleurs exercent leur profession dans leur commune, mais une partie importante se déplacent pour travailler dans les communes aux alentours notamment en Oisans et finalement très peu vers le Briançonnais. Ceci s'explique par la présence du Col du Lautaret - barrière physique et psychologique difficile à passer pour les habitants. Si le taux de chômage est relativement faible (de 6 à 8%), on compte de

nombreux emplois précaires (saisonnier, contrat à durée déterminée et temps partiel surtout pour les femmes) et le revenu moyen reste faible. De plus, sans en connaître l'ampleur exacte, on constate de nombreux pluriactifs, principalement liés aux saisons mais aussi le cumul de plusieurs emplois et fonctions.

Le secteur du tourisme est donc le premier employeur de ce territoire. Il prend de plus en plus d'ampleur depuis les années 1970/80 avec l'ouverture du téléphérique de La Grave, première station non aménagée de ski hors-piste au monde (Muscella 2004) et attire une nouvelle population pour travailler dans ce secteur. Le tourisme dans la vallée du Pays de la Meije est considéré comme un tourisme de niche et de passage, il profite ainsi d'une clientèle spécifique en lien avec le ski hors-piste et l'alpinisme, et des visiteurs se rendant dans des stations villages plus éloignées. Les principaux points d'attraction touristique sont le téléphérique de La Grave – la Meije en été comme en hiver, le Parc National des Ecrins et le plateau d'Emparis pour la randonnée principalement, le col du Lautaret pour le cyclotourisme et le jardin Alpin, les refuges et sommets pour l'alpinisme. Le territoire valorise également son patrimoine culturel et architectural au travers des édifices religieux et des traditions paysannes et culinaires. Le tourisme est principalement une affaire d'entrepreneuriat privé (hôtels, restaurants, commerces, guides...), seul le téléphérique de La Grave et la station de ski familiale du Chazelet appartiennent à la commune, cependant le téléphérique est géré par une entreprise privée par le biais d'une délégation de service public.

Le secteur agricole, bien plus marginal, a connu une forte régression ces 50 dernières années mais attire encore de jeunes agriculteurs. En effet, bien que de nombreux départs à la retraite n'aient pas engendré de reprises d'exploitations, les terres ont pu être absorbées par les éleveurs en place ou reprises par quelques nouveaux agriculteurs. L'agriculture est, quant à elle, très encadrée institutionnellement, notamment par la chambre d'agriculture à l'échelle du département et le soutien du Parc National des Ecrins et du Centre d'Études et de Réalisations Pastorales Alpes-Méditerranée (CERPAM) pour aider les agriculteurs à la préservation des agroécosystèmes. La gestion des terres revient principalement aux communes, au Parc National des Ecrins dans la zone cœur du parc et aux agriculteurs. Le parcellaire agricole étant très morcelé et appartenant à de multiples propriétaires, les deux communes ont mis en place des associations foncières pastorales (regroupement de propriétaires terriens) afin de faciliter la gestion des terres agricoles.

On peut considérer cette vallée comme isolée car elle bénéficie d'un seul accès routier (RD9091) reliant Grenoble à Briançon qui la traverse d'ouest en est. Il s'agit pour autant d'un axe important permettant de relier la France et l'Italie qui a souvent eu un rôle important dans l'histoire et qui était un des axes empruntés par les routes touristiques aux prémices du tourisme montagnard (Cahier du Lautaret). Longtemps fermé en hiver, le col du Lautaret a représenté une barrière naturelle faisant de cette vallée un cul-de-sac pendant 6 mois de l'année. Aujourd'hui ce col fait partie des premiers dégagés lors des chutes de neige garantissant l'accessibilité toute l'année. C'est de l'autre côté, au niveau du tunnel du Chambon, que l'accessibilité est aujourd'hui menacée. En effet, un important glissement de terrain en 2015 a coupé l'accès principal pendant près de 2 ans, privant ainsi la vallée d'une partie de ses activités économiques, de l'accès à l'école et à l'agglomération grenobloise et surtout d'une grande partie de ses touristes (Bally et al. 2020). Si une déviation a été créée, cette menace est toujours présente et on observe le même phénomène dans d'autres vallées alentours (Vallée du Guil, Queyras). Par ailleurs, à l'exception du ramassage scolaire et d'une ligne de transport public, cette vallée est totalement dépendante de la voiture particulière pour sa mobilité.

3. Synthèse

SHORT DESCRIPTION	
Location, surface and elevation	Central French Alps (45°02'42.7"N 6°18'23.1"E) 2 municipalities : La Grave & Villar d'Arène 205 Km ² - 1135m to 3983m
Total population and demographic trend	~800 inhabitants – less than 4 inhabitant/Km ² Stable population since 2000's after an important rural exodus since 1850 (max. population: 2000 inhabitants) Aging population, young people leaving to study or work
NATURAL AND BIOPHYSICAL CHARACTERISTICS	
Climate	Dry, Alpine climate with Mediterranean influence Mean annual temperature between 4 and 6°C Precipitation between 950 et 1300mm/year with 60% as winter snowfall; growing season: mid-April to mid-October.
Land cover	South facing slopes: Host villages and hamlets and were shaped by subsistence farming since the late Middle Ages, are dominated by terraced grasslands (mown or grazed) and summer pastures supporting livestock farming, no land abandonment. North-facing slopes: steeper slopes covered by forest below 2200m and sparse vegetation, rocks and ice at higher altitude that are mainly included in the core area of the Ecrins National Park and in a skiing area.
Natural risks	Geological instability causing landslide, erosion, mud flow, rock fall. Avalanches during winter season
Use of natural resources	All ecosystems: support recreational and tourism activities Grasslands: support fodder production and livestock farming Forests: Little use of firewood Water: local consumption, hydroelectricity, chemical industry downstream
SOCIO-ECONOMIC CHARACTERISTICS	
Farming practices and trends	Livestock (cattle, goats, sheep) rearing, market gardening. Aging agricultural population, little farm takeover, land absorbed by the farmers in place and by some young farmers settlement.
Tourism	Main source of employment in the region and its surroundings. "Niche tourism" starting in the 70/80's around mountaineering and freeride skiing. Main tourist destinations : La Grave- La Meije cable car, Lautaret pass and Alpine Garden, Ecrins National Park, summits, lakes, refuges, villages.
Forestry	None – natural hazard protection forests close to villages and hamlets.
Local governance bodies	Municipalities (for local concerns), Pastoral Land Association (for farmer's land allocation), Ecrins National Park.
Regional institutions	Numerous departmental and regional institutions in charge of economic development, environmental and waste management, agricultural and tourist development, land use planning and public services.
Accessibility	Remote, one main road vulnerable to natural risks.
Cultural aspects	Strong local identity (rurality, tourism). Maintenance of particular traditions (culinary, cultural), religious and architectural heritage.

Le processus participatif

Afin d'apporter plus de précisions sur le processus participatif mis en place dans le cadre du projet MtnPaths et sur lequel repose ce travail de recherche il m'a semblé nécessaire de présenter l'approche participative choisie, la sélection des participants et de décrire plus en détail chaque étape du processus.

L'ensemble de ce projet de recherche repose sur la participation des acteurs locaux. L'objectif de ce processus participatif était de produire des connaissances qui constituent à la fois un intérêt scientifique pour les chercheurs et qui répondent aux intérêts des participants. Ce sont leur connaissance du terrain, leurs perceptions des changements et leurs visions pour l'avenir du territoire qui est au cœur des analyses présentées ci-après. Il existe un gradient d'implication des acteurs dans un processus de recherche allant de la recherche dite conventionnelle impliquant uniquement des chercheurs jusqu'à la recherche action où les acteurs sont impliqués à chaque étape du processus. Le processus participatif mis en place dans le cadre de ce projet pourrait être qualifié de consultatif (Lilja and Ashby 1999; Barreteau et al. 2010). En effet, le processus de recherche construit avait pour principal objectif la création de « connaissance pour comprendre » et non de « connaissance pour l'action ». Si les connaissances des acteurs ont été au centre du processus de recherche, ils ont seulement été impliqués dans la collecte de données et la validation de notre compréhension. En effet, si ce projet a émergé à la suite d'une dizaine d'année de recherche impliquant des acteurs locaux sur ce territoire, les acteurs n'ont pas été directement impliqués dans l'identification de la thématique et des questions de recherche ou dans l'analyse des données. De plus, ils ne sont pas, dans un premier temps, les principaux récipiendaires des résultats présentés dans cette thèse (Cornwall and Jewkes 1995). Cependant, si ce processus n'avait pas pour ambition de développer un plan d'action pour l'adaptation du territoire, la façon dont ont été menés les ateliers et les restitutions des travaux à chaque étape devait permettre aux participants de renforcer leurs propres compréhensions des processus décrits. L'ambition secondaire était alors de créer un questionnement, des réflexions chez et entre les participants. Une phase de valorisation de l'ensemble des résultats est prévue début 2021 afin de les rendre utiles pour les acteurs du territoire.

Afin de répondre aux questionnements scientifiques, le processus participatif a été organisé en 4 principales étapes (Figure 2) : (1) Comprendre le fonctionnement actuel du socio-écosystème au travers des interactions hommes/natures, alimentant le chapitre 3 ; (2) Retracer la trajectoire passée du socio-écosystème, alimentant le chapitre 4 ; (3) Co-construire une vision d'avenir désirable en 2040 ; (4) Co-construire des trajectoires d'adaptation aux changements globaux pour atteindre la vision. Ces deux dernières étapes ont alimenté le chapitre 6.

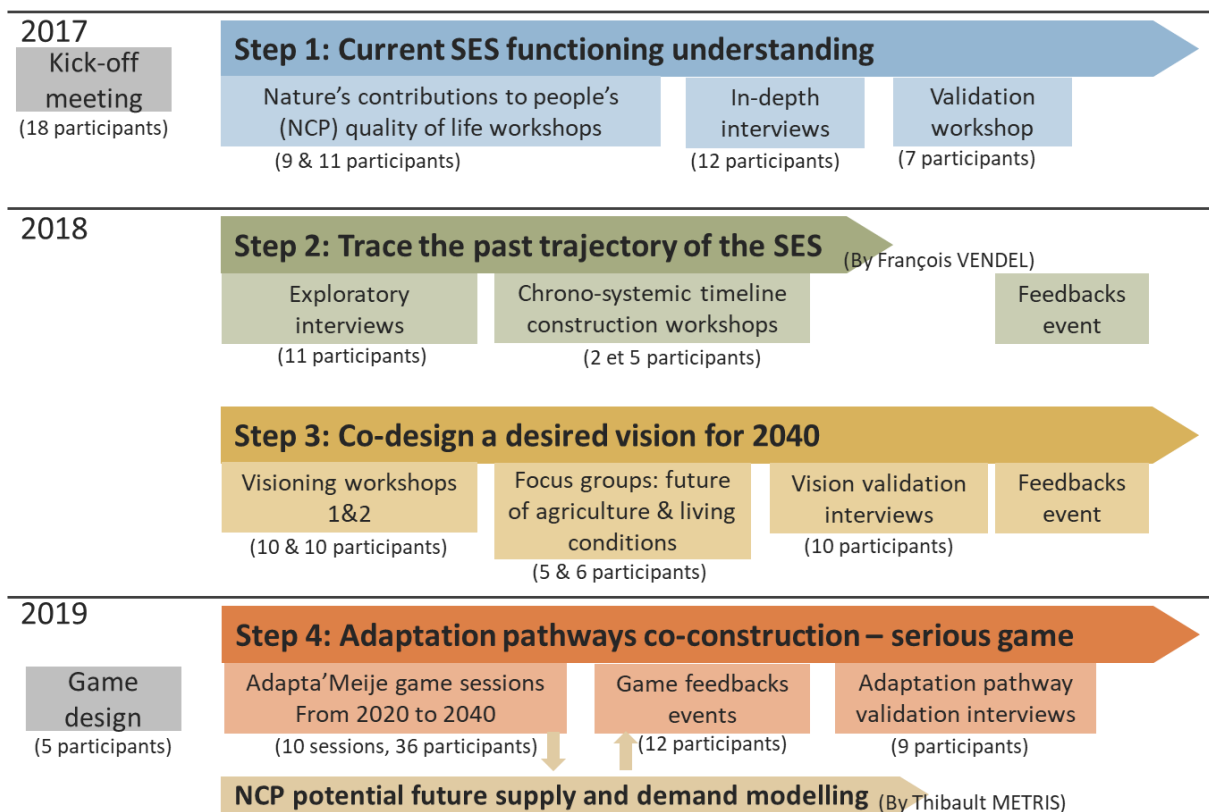


Figure 2. Résumé des étapes du processus participatif mis en place.

Si les grands axes de sollicitation des acteurs avaient été décidés en amont, la construction des étapes de ce processus s'est effectuée au fur et à mesure de l'avancement du projet. Différentes méthodes de sollicitation ont été employées suivant une logique allant de la connaissance partagée à la connaissance spécifique. Ainsi, chaque étape débutait généralement par des ateliers de groupe permettant l'implication d'une grande diversité d'acteurs, de connaissances et de points de vue. Puis était suivie si nécessaire par des focus groupes permettant de solliciter des connaissances et points de vue particuliers sur un sujet. Des enquêtes sous forme d'entretien individuel semi-directif avec des acteurs clés étaient enfin réalisées afin d'obtenir une compréhension plus approfondie du sujet. Un jeu sérieux a également été utilisé permettant la mise en situation des participants et de les éloigner des contraintes de la vie réelle.

Tout au long de ce processus j'ai choisi de ne pas présenter de concepts scientifiques en tant que tels. Par exemple, nous n'avons pas utilisé le terme « services écosystémiques » mais une terminologie plus proche de celle employée par l'IPBES : « les contributions de la nature à la qualité de vie, aux activités économiques » ou encore « interactions homme/nature » sans apporter de définition plus précise. Les autres concepts mobilisés, tel que trajectoire/stratégie d'adaptation, leviers et freins à l'action, n'ont pas nécessité de changements terminologiques car leur signification était explicite.

1. Sélection des acteurs

Les réflexions sur l'adaptation d'un territoire sont accessibles à tous et devraient inclure l'ensemble des parties prenantes (Kok et al. 2007). Nous considérons comme « acteurs du territoire » toute personne vivant ou travaillant sur ou en lien avec le territoire du Pays de la Meije. Afin de prendre en compte une grande diversité d'interactions homme/nature mais également de points de vue, nous avons ciblé l'ensemble des catégories socio-professionnelles en lien avec le territoire. Pour construire le panel d'acteurs, nous nous sommes tout d'abord basés sur les projets participatifs menés sur ce territoire dans le passé. Nous avons également effectué une cartographie d'acteurs notamment pour cibler les institutions externes intervenant sur le territoire (Figure 3). La petite taille du territoire a permis d'identifier de nombreux acteurs via l'effet boule de neige sur les recommandations d'autres acteurs. Les acteurs ont principalement été contactés par mail ou téléphone, mais aussi par rencontres directes sur le terrain (pour les agriculteurs et commerçants par exemple). De plus la tenue des ateliers était communiquée aux habitants via l'office du tourisme et les mairies. Les participations se faisaient sur la bonne volonté et le temps libre des acteurs.

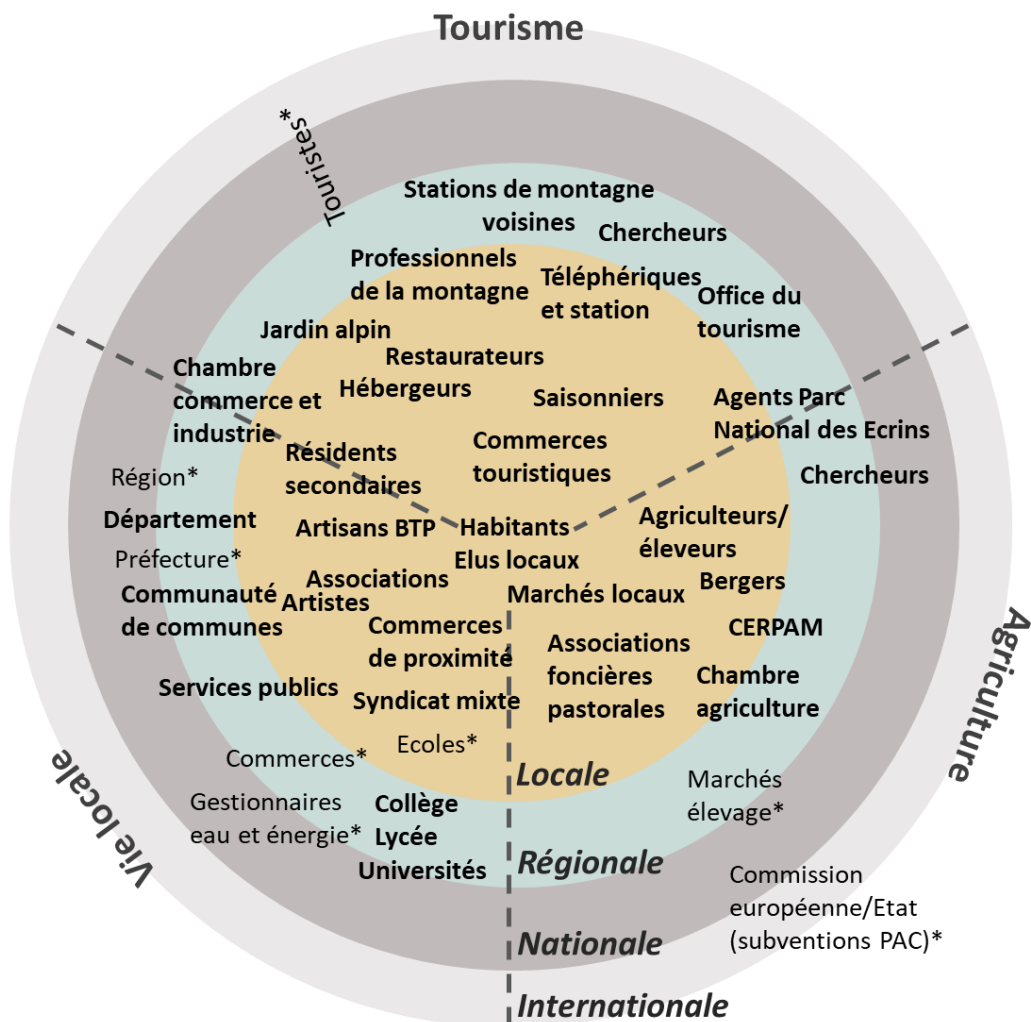


Figure 3. Type d'acteur du territoire identifiés positionnés en fonction de leur échelle d'action et du secteur d'intervention. L'astérisque représente les types d'acteurs qui n'ont pas été impliqués dans les étapes du processus participatif.

Ainsi, nous avons pu intégrer à notre panel une majorité d'acteurs issus du secteur touristique (hôteliers et hébergeurs, restaurateurs, commerçants, représentants de l'office du tourisme, de la Chambre du commerce et de l'industrie), et en particulier du tourisme de montagne (fédération alpinisme, guides et accompagnateurs, gardiens de refuges, saisonniers, personnels du téléphérique). Nous avons également associé des représentants du secteur agricole (éleveurs, maraichers, bergers, chambre d'agriculture, CERPAM) ; du service public (Personnels de mairie, éducation, santé) ; du secteur de la conservation de la nature (Personnels du Parc National des Ecrins, gestionnaire zone Natura 2000). Si certains décideurs locaux ont participé les décideurs au niveau départemental et régional n'ont pas souhaité participer tels les agents des collectivités locales (Communauté de commune du Briançonnais et département des Hautes-Alpes). Des chercheurs experts dans différents domaines scientifiques ont également participé à nos ateliers (issus des domaines suivants : sociologie, risque, climat, écologie, dynamiques agricole). De manière plus marginale ont été impliqués des acteurs issus du secteur de la culture et du patrimoine, du bâtiment et des travaux publics et enfin des étudiants. La plupart des acteurs ayant participé occupe plusieurs fonctions au sein du territoire du fait de leur pluriactivité, en plus d'être simple habitant. Certains types d'acteurs n'ont pas répondu présents, tel que le secteur de l'énergie, de la chasse ou du BTP. Nous avons rencontré de grandes difficultés à réunir un représentant de chaque catégorie socio-professionnelle identifiée à toutes les étapes du processus, principalement du fait du manque de disponibilité. Le panel d'acteurs a beaucoup évolué au cours du processus et si un petit groupe d'acteurs ayant participé à l'ensemble des étapes s'est créé, il était difficile de réunir un panel identique à chaque étape, d'autant que de nouveaux acteurs se sont ajoutés à chaque étape. L'ensemble des acteurs, leur fonction, secteur d'activité ainsi que leur participation aux différentes étapes sont présentés anonymement en Annexe C2.1., et est résumé ci-dessous (Table 1). Au total, 92 acteurs différents ont été impliqués à au moins une étape du processus (ce qui représenterait 12% de la population locale), et on dénombre 166 participations sur l'ensemble des ateliers et enquêtes (hors évènements de restitutions).

Table 1. Résumé de la participation en fonction du secteur d'activité, du genre et de l'échelle d'actions des participants.

Type of activities						
Tourism	Agriculture	Decision making and institutions	Local services	Science and engineering	Nature conservation	Student
33	11	19	19	13	5	6
Gender		Action scale			Number of participants	Number of participations
Men	Women	Local	Regional	National	92	166
54	38	61	26	4		

2. Déroulement du processus participatif

Pour connaître les intérêts et attentes des acteurs du territoire, nous avons tout d'abord organisé une réunion de lancement du projet. Cette réunion avait pour objectifs de présenter le projet et ses différentes étapes, recueillir les attentes des futurs participants mais également de discuter les modalités pratiques d'implications des acteurs (fréquence et temporalité des sollicitations).

La majorité des étapes décrites ci-après ont été pensées, organisées et animées par mes soins avec la validation, l'aide et l'implication de différents membres de l'équipe de recherche du projet MtnPaths qui m'ont soutenue tout au long de ce processus. Certaines étapes ont été effectuées par les étudiants que j'ai encadré durant leur stage, leur contribution sera précisée le cas échéant.

2.1. Comprendre le fonctionnement actuel du socio-écosystème

Cette étape avait pour objectif d'obtenir une compréhension commune du fonctionnement du socio-écosystème et des enjeux de maintien de la qualité de vie en se basant sur la conceptualisation des socio-écosystèmes proposée par l'IPBES (Díaz et al. 2015). Pour cela nous avons choisi d'explorer avec les acteurs leurs relations aux écosystèmes et les contributions de la nature à leur qualité de vie sur le territoire (i.e. les NCP). Il s'agissait également, d'identifier et caractériser les facteurs (environnementaux, sociaux et économiques) qui influencent le fonctionnement du socio-écosystème.

Il existe de nombreuses méthodes pour identifier les NCP perçues par les acteurs, comme par exemple la cartographie participative (García-Nieto et al. 2019), par un système de notation (Campagne et al. 2017; Rey-Valette et al. 2017) ou à partir d'une liste préétablie (Oteros-Rozas et al. 2012). Afin d'identifier uniquement les perceptions des acteurs, partant du principe qu'une NCP n'existe qu'à partir du moment où les bénéfices sont reconnus, j'ai choisi de laisser les participants s'exprimer librement sur leurs interactions avec les milieux naturels.

Cette étape s'est déroulée en 4 temps. J'ai organisé et animé avec l'équipe de recherche, un premier atelier avec les acteurs locaux et un second atelier avec des experts régionaux, permettant d'identifier et caractériser les dimensions de qualité de vie associées aux interactions homme/nature. Puis une session d'entretiens individuels visant à rentrer plus en détail sur les interactions homme/nature au sein des dimensions de qualité de vie identifiées. Enfin, un atelier de restitution visant à valider notre compréhension du système auprès des participants.

2.1.1. Atelier collectif avec les acteurs locaux

Objectifs :

- Identifier les interactions homme/nature perçues par les participants.
- Identifier les enjeux de qualité de vie qui dépendent de ces relations et construire une problématique commune pour le maintien de la qualité de vie sur ce territoire.
- Identifier les facteurs sociaux et naturels impliqués dans ces interactions.

Modalités et participants :

- Un atelier de 3h en fin de journée.
- 2 animatrices et 2 observateurs issus de l'équipe de recherche.
- 9 participants principalement issus du secteur touristique.

Déroulement :

- Introduction : Tour de table de présentation et intérêts portés au projet, présentation du projet et du déroulement de l'atelier par les animateurs.
- Objectif 1 : Les participants étaient invités à apporter un support (photographie, image, enregistrement sonore, objet) qui illustre un élément de nature ou du paysage qui était important pour eux (Annexe C2.2). Chaque participant devait alors expliquer pourquoi l'élément était important pour lui. Chaque élément était ensuite discuté avec le groupe. Un animateur avait pour rôle d'inscrire l'ensemble des contributions de la nature exprimées par les acteurs sur un tableau afin de les discuter et les regrouper ensuite.
- Objectif 2 : Afin de faire émerger une problématique commune pour ce territoire les participants étaient invités par petits groupes à réfléchir aux forces, faiblesses, opportunités et menaces en lien avec les contributions de la nature à la qualité de vie. Chaque groupe restituait ensuite le contenu des discussions sous forme de post-it organisés par l'animateur dans chaque catégorie. Enfin, une discussion sur la base de l'ensemble des éléments cités a permis la genèse d'une problématique commune en lien avec les enjeux de qualité de vie.
- Objectif 3 : Par manque de temps, nous n'avons pas pu interroger les acteurs sur les facteurs sociaux et naturels impliqués dans ces interactions, cependant de nombreux facteurs d'influence ont été cités lors des discussions.

Le compte-rendu de l'atelier envoyé aux participants est présenté en annexe C2.3.

Données obtenues :

- Eléments de la nature qui contribuent à la qualité de la vie perçus par les participants, traduites a posteriori en contributions de la nature aux populations (NCP) selon la classification proposée par l'IPBES (Díaz et al. 2018).
- Les dimensions de la qualité de vie dépendantes de contributions de la nature.
- Une problématique sur les enjeux de qualité de vie en lien avec la nature : *Comment préserver le caractère unique du territoire tout en développant des activités économiques diversifiées, dans un contexte de changements climatique et socio-économique ?*

2.1.2. Atelier collectif avec les acteurs régionaux

Objectifs :

- Identifier les contributions de la nature à la qualité de vie sur un territoire de montagne tel que celui du pays de la Meije
- Identifier et discuter les facteurs sociaux et naturels impliqués dans ces interactions pour maintenir la qualité de vie

Modalités et participants :

- Un atelier d'une journée (6h)
- 1 animatrice et 1 observatrice, issues de l'équipe de recherche
- 11 participants : experts scientifiques ou techniques sur les questions de gestion des risques, des ressources et espaces naturels, de l'eau, de la gouvernance, du développement économique, touristique et culturel, de l'agriculture en montagne. Participants ayant tous une connaissance et/ou une action sur le territoire et plus globalement en territoire de montagne (Alpes).

Déroulement :

- Introduction : Tour de table de présentation et intérêts portés au projet. Présentation du projet et du déroulement de l'atelier par l'animatrice
- Objectif 1 : Les participants étaient invités à identifier et présenter, à l'aide de post-it, trois contributions de la nature à la qualité de vie sur ce territoire de montagne. Puis l'ensemble des contributions ont été catégorisées et discutées avec les participants selon leur rôle pour les dimensions de qualité de vie.
- Objectif 2 : Les participants devaient ensuite identifier les facteurs naturels et sociaux qui influencent ces contributions de la nature à la qualité de vie par petits groupes. Ces facteurs ont ensuite été regroupés selon différentes catégories (gouvernance, connaissances et technologies, infrastructures, pratiques locales, organisation sociale et bioclimatiques) puis discutés par l'ensemble du groupe. Ces discussions ont principalement porté sur les facteurs constituant des blocages pour le développement du territoire.
- Hors objectifs : Enfin, les participants ont été interrogés sur les actions imaginables pour répondre à la problématique identifiée par les acteurs locaux lors du premier atelier et pour dépasser les blocages identifiés précédemment en séance.

Le compte-rendu de l'atelier transmis aux participants est présenté en annexe C2.4.

Données obtenues :

- Eléments de la nature qui contribuent à la qualité de la vie perçus par les participants, traduites a posteriori en contributions de la nature aux populations (NCP) selon la classification proposée par l'IPBES (Díaz et al. 2018).
- Validation de 3 dimensions de la qualité de vie dépendantes de contributions de la nature : Maintien de la ruralité, de l'attractivité du paysage et de la vie locale.
- Ensembles de facteurs d'influence impliqués dans les relations homme/nature sur ce territoire.
- Piste de réflexions pour le développement futur du territoire.

2.1.3. Entretiens individuels

Objectifs :

- Caractériser les dépendances des activités socio-économiques et de la vie quotidienne à la nature dans le cadre des trois dimensions de qualité de vie identifiées.
- Mieux comprendre l'influence des acteurs sur la gestion et l'accès aux contributions de la nature à la qualité de vie.
- Caractériser les autres facteurs ayant un impact sur la gestion et l'accès aux contributions de la nature.

Modalités et participants :

- Entretiens semi-directifs d'1h30 et 1 entretien groupé de 3 personnes de 2h
- 9 participants clés dont les activités étaient en lien avec une ou plusieurs dimensions de qualité de vie à l'échelle locale et régionale (tourisme, agriculture et vie locale). 3 étudiants afin de recueillir la perception de non actifs.

Déroulement :

- Introduction : Présentation du projet, objectifs de l'entretien et histoire de l'acteur sur le territoire
- Objectif 1 : Le participant était invité à se situer parmi les trois dimensions de qualité de vie puis décrire les bénéfices retirés de la nature dans le cadre de ses activités professionnelles et personnelles ainsi que d'en évaluer l'importance pour sa qualité de vie.
- Objectif 2 : Le participant devait ensuite expliciter son influence sur la gestion et l'accès aux bénéfices cités précédemment (Influence directe ou indirecte, gestionnaire et/ou bénéficiaire ; influence sur les décisions)
- Objectif 3 : Le participant était invité à identifier les autres facteurs pouvant influencer la gestion ou l'accès aux bénéfices (institutionnel, réglementaire, modes de gestion, traditions, connaissances, infrastructures, jeux de pouvoirs, aspects économiques, sociaux ou naturels) et notamment ceux qui seraient importants selon eux pour le futur.

Données obtenues :

- Approfondissement des connaissances sur les dépendances à la nature des acteurs et de leurs activités autour des 3 dimensions de qualité de vie mises en évidence et des principaux facteurs et acteurs d'influences.

2.1.4. L'atelier de validation

Objectifs :

- Confronter notre compréhension du fonctionnement des interactions homme/nature de ce SES au sein des trois dimensions de qualité de vie identifiées.
- Discuter de l'évolution future possible des NCP identifiés par les acteurs (en termes de demande)

Modalités et participants :

- Un atelier de 3h en fin de journée
- 2 animateurs/observateurs
- 7 participants, principalement des habitants issus du secteur du tourisme.

Déroulement :

- Objectif 1 : Présentation et discussion des interactions homme/nature pour chacune des trois dimensions de qualité de vie identifiées. Le fonctionnement du SES était présenté sous forme graphique en spécifiant les écosystèmes supports, les déterminants naturels (les NCP) et socio-économiques de la qualité de vie ainsi que les principaux facteurs d'influences. Chacun des éléments était ainsi validé, corrigé ou enrichi par les participants (Figure 4).
- Objectif 2 : Les participants étaient invités à discuter le devenir de l'ensemble des contributions de la nature identifiées dans le cadre du développement futur du territoire. Lesquelles seront importantes pour soutenir le développement du territoire, présentent un potentiel inexploité ou d'intérêt pour le futur, lesquelles seraient limitantes (Figure 5).

Données obtenues :

- Validation de la compréhension du fonctionnement du SES du Pays de la Meije, mise en évidence des NCP clés pour chacune des dimensions de qualité de vie mais également des facteurs socio-économiques dont dépendent également la qualité de vie, certains en lien avec les NCP d'autres non. Informations clés pour caractériser la co-production de chaque NCP.
- Premiers éléments sur les NCP pouvant jouer un rôle de support pour le développement futur du territoire. Les principaux axes de développement du territoire liés à la nature identifiés par les participants sont le bien-être, l'éducation, la culture, l'énergie et la gestion de l'eau.

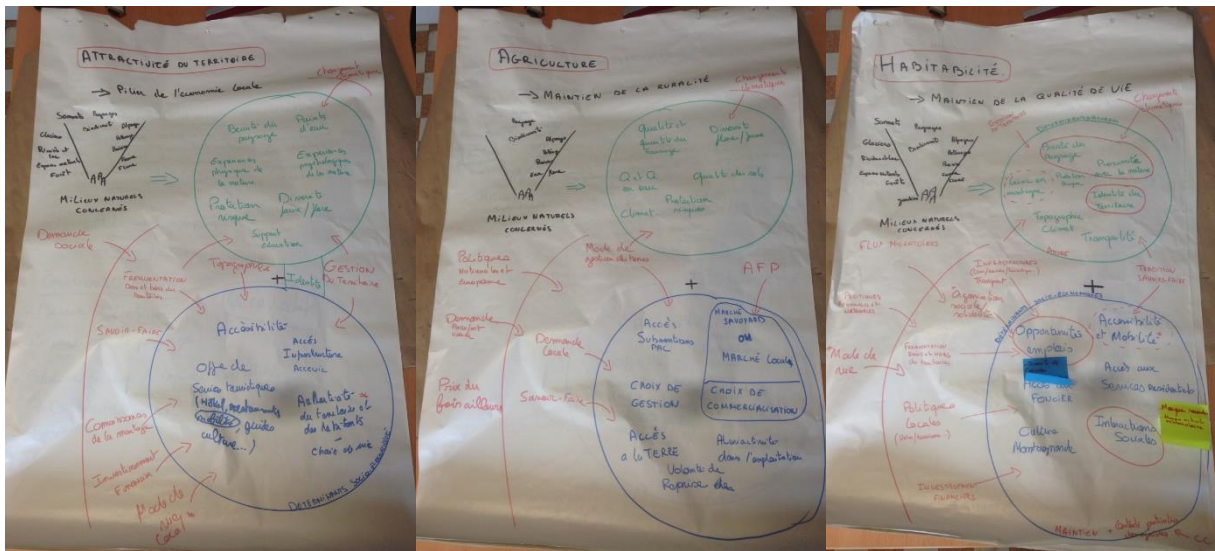


Figure 4. Illustration des supports de discussion utilisés lors de l'atelier de validation de la compréhension du fonctionnement du SES. Chaque dimension de qualité de vie était représentée par les milieux naturels concernés (noir), les déterminants naturels correspondant aux NCP identifiés (vert), les déterminants socio-économiques (bleu) et les facteurs d'influences à différentes échelles (rouge).

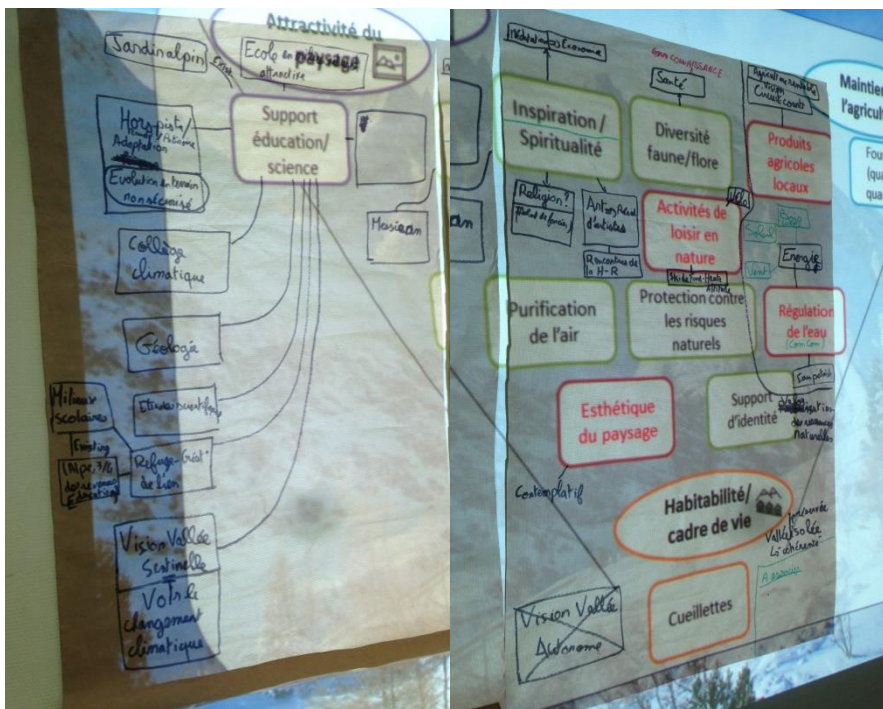


Figure 5. Illustration du résultat des discussions sur les axes de développement futur du territoire basé sur l'utilisation des NCP.

2.1.5. Observations

On note que les liens à la nature exprimés par les participants correspondent plutôt à la notion d'environnement ou de paysage dans son ensemble. Très peu d'interactions avec des écosystèmes distincts et encore moins avec des fonctions écologiques ont été citées lors de ce processus. Un travail important de déduction à partir des discours des participants afin d'identifier les NCP sous-jacentes a dû être réalisé (Chapitre 3/Bruley et al. 2021).

2.2. Retracer la trajectoire passée du socio-écosystème du Pays de la Meije depuis 1900

Ce travail avait pour objectif de retracer la trajectoire passée du socio-écosystème du pays de la Meije depuis 1900 afin de comprendre les mécanismes d'adaptation basés sur des interactions homme/nature mis en place en réponse aux changements. Pour cela nous avons mobilisé l'outil frise chrono-systémique (Bergeret et al. 2015), un outil interdisciplinaire permettant la visualisation des dynamiques de changement spatio-temporel. Cet outil méthodologique est adapté à la reconstruction de la trajectoire d'un socio-écosystème car il permet de considérer simultanément les dynamiques socio-économique et écologique d'un système ainsi que leurs interactions dans le temps et l'espace. Après avoir défini le cadre spatio-temporel d'étude, pour construire cette frise il est tout d'abord nécessaire d'identifier les principales dynamiques qui caractérisent la trajectoire du SES étudié. Puis d'identifier les « jalons », au sein de chaque dynamique, qui correspondent à des événements clés (ponctuels, répétés) ou à des tendances (changements progressifs ou d'état). Ces jalons définissent la nature des changements et peuvent être internes ou externes au système. Enfin, il s'agit d'identifier les interactions entre les jalons qui conduisent à des changements dans le système (e.g. effet de causalité, boucles de rétroaction, succession d'évènements, les collaborations et les conflits).

Pour construire cette frise nous nous sommes basés sur une étude documentaire (littérature grise et scientifique) et des archives, ainsi que sur des bases de données (statistiques et spatiales) et enfin les savoirs locaux via des entretiens exploratoires et deux ateliers collectifs. Ce travail a été effectué par François Vendel, un étudiant en master 2 de l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine, que j'ai encadré pendant 6 mois. L'ensemble du travail réalisé par François est présenté dans son mémoire de stage (https://www.jardinalpindulautaret.fr/sites/sajf/files/RECHERCHE/PUBLICATIONS/memoire_master2_geospheres_vendel_francois_2018.pdf) et dépasse largement le processus participatif qu'il a mis en place. Seulement une partie de la trajectoire passée et de ce travail ont été exploités pour cette thèse et font l'objet du chapitre 4. Seules les deux étapes impliquant des acteurs du territoire sont décrites ici.

Le choix des participants s'est ici concentré sur des témoins clés de la trajectoire passée de ce territoire, ainsi la sélection s'est portée sur des acteurs y vivant depuis au moins 20 ans. Les acteurs issus des secteurs de l'administration publique, du tourisme, de l'agriculture et de la culture et du patrimoine ont été privilégiés. Une méthode dite « boule de neige » a été effectuée avec l'aide des acteurs ayant été impliqués précédemment pour identifier ces porteurs de « mémoire » du territoire.

2.2.1. Entretiens exploratoires

Objectifs :

- Explorer les adaptations passées du socio-écosystème perçues par les acteurs.
- Identifier les principales composantes du socio-écosystème qui ont subi des changements depuis 1950 en lien avec les écosystèmes.

Modalités et participants :

- Entretiens semi-directifs et rencontres informelles menés par François Vendel.
- 13 participants issus des secteurs du tourisme, de l'agriculture, de la recherche, de l'associatif et de la gouvernance (élus).

Déroulement :

- Le participant était invité à se présenter et de préciser son histoire sur le territoire.
- Objectif 1 : Le participant devait ensuite exprimer sa perception des changements depuis son arrivée sur le territoire en lien avec son domaine d'expertise.
- Objectif 2 : Le participant était enfin invité à préciser les facteurs ayant mené aux changements perçus.

Données obtenues :

- Nombreux éléments sur les dynamiques humaines, sociales, de gouvernance, du tourisme, de l'agriculture et de la protection de l'environnement qui, associés à l'étude bibliographique et des bases de données, fourniront les grands axes de la frise chrono-systémique.
- Informations sur les facteurs de changements, externes et internes, socio-économiques ou bioclimatiques.

2.2.2. Ateliers de co-construction de la frise chrono-systémique

Objectifs :

- Construire avec les participants la frise chrono-systémique du Pays de la Meije de 1950 à nos jours.

Modalités et participants :

- 2 ateliers de 3h en journée, organisés et animés par François Vendel et moi-même.
- Le support de ces ateliers, une frise vide présentant les principales dynamiques socio-économiques et écologiques mises en évidence par les entretiens et la littérature exploratoire : politiques extérieures, gouvernance locale, dynamique sociale, dynamique agricole, dynamique touristique, dynamique des paysages, gestion des écosystèmes et climat.
- 2+6 participants parmi les acteurs ayant participé aux entretiens exploratoires (malgré une importante communication autour de l'atelier, peu d'acteurs s'y sont rendus)

Déroulement :

- Introduction : tour de table et présentation du projet et de la frise, activité brise-glace.
- Les participants étaient invités à identifier, positionner et expliciter les jalons pour chacune des dynamiques représentées sur la frise.
- Les participants devaient ensuite expliciter les interactions entre les jalons ayant mené à des changements importants sur le territoire.
- Enfin les participants étaient invités à séquencer la trajectoire obtenue selon les grandes périodes de changements identifiés.

Données obtenues :

- Deux frises avec de nombreux jalons identifiés pour chacune des dynamiques qui ont contribué à la reconstruction de la trajectoire du socio-écosystème.

2.2.3. Observations

Les connaissances et les perceptions des acteurs ont été cruciales dans la reconstruction et la compréhension de la trajectoire passée du Pays de la Meije. Si l'étude bibliographique et des archives renseignent sur les principales dynamiques sociales, politiques, économiques, écologiques d'un système, les discours d'acteurs permettent de comprendre le déroulement des événements passés ayant mené à des réponses adaptatives du système. Cependant, la confrontation entre de multiples sources de données est nécessaire afin de réduire les incertitudes liées à la perception des acteurs.

Ces travaux ont été présentés lors d'un événement de restitution auprès des acteurs locaux sous forme d'un poster présentant la version finale de la frise ainsi que la description des 3 périodes de changements identifiés lors des ateliers. La frise a également été reprise dans le cadre d'une exposition : Anthropocène Alpin - Quel avenir pour nos montagnes ? par Etienne Maury.

2.3. Co-construire une vision d'avenir pour le Pays de la Meije

La construction participative d'une ou plusieurs visions d'avenir est une étape cruciale dans la scénarisation normative et est de plus en plus utilisée dans les projets de recherche sur l'adaptation (Palomo and Montes 2011; Oteros-Rozas et al. 2013; Butler et al. 2016) et notamment dans le cadre des socio-écosystèmes de montagne (Thorn et al. 2020). En effet, elle permet de fixer les objectifs à atteindre en mettant l'accent sur les futurs souhaitables plutôt que sur les futurs probables ou possibles.

Une première étape de construction collective de visions a d'abord eu lieu sous la forme de deux ateliers de travail rassemblant une grande diversité d'acteurs donnant finalement lieu à une seule vision partagée. Deux focus groupes ont ensuite été réalisés sur des thématiques peu explorées lors des ateliers : le futur de l'agriculture et de l'habitabilité. En effet, si le futur du tourisme avait été largement abordé lors de la construction collective de la vision, nous manquions d'éléments concernant les deux autres dimensions de qualité de vie, l'évolution de l'agriculture et des conditions de vies sur le territoire. Enfin, surpris par les visions convergentes des acteurs, une série d'entretiens a été réalisée afin de confronter la vision avec de nouveaux points de vue et d'identifier les points de synergie et de conflits potentiels entre les différents objectifs de la vision.

La construction des visions demandée aux acteurs s'est basée sur différents éléments tels que les valeurs portées par le territoire, les critères de qualité de vie prioritaires et enfin les activités socio-économiques (basées ou non sur la nature) présentes sur le territoire en 2040. Les thématiques abordées par les acteurs lors de la construction des visions ont volontairement été laissées libres afin d'obtenir une vision de territoire et non sur l'usage futur des milieux naturels. C'est à partir de cette vision de territoire que nous avons pu à posteriori identifier les objectifs d'adaptation basés sur les écosystèmes.

2.3.1. Ateliers collectifs

Objectifs :

- Construire une ou des visions désirables pour le Pays de la Meije en 2040 dans le contexte du changement climatique.

Modalités et participants :

- 2 ateliers de 3h en journée
- 2 animateurs et 2 observateurs
- 20 participants (10 à chaque atelier)

Déroulement :

- Introduction : tour de table, présentation du projet, des objectifs et étapes de l'atelier.
- Afin de les mettre dans le contexte des dynamiques de changements, les participants étaient invités à exprimer à tour de rôle les principaux changements ayant eu lieu sur le territoire sur les 30 dernières années.
- Présentation du contexte bioclimatique et socio-économique en 2040, contexte laissé visible tout au long de l'atelier (éléments de contexte présentés en annexe C2.5).
- Valeurs portées par le territoire aujourd'hui et en 2040 : une liste des principales valeurs sociales a été présentée en séance plénière, chaque participant était alors invité à identifier une valeur définissant le mieux et le moins le territoire aujourd'hui et en 2040 (4 choix par participants). Les valeurs proposées ont été adaptées au territoire à partir des valeurs universelles proposées par Schwartz en 2012 : Tradition/patrimoine, ouverture/tolérance/accueil, innovation, préservation de l'environnement, progrès social, performance économique, capacité d'influence, identité locale, autonomie sur les ressources, solidarité et loisir.
- Les participants ont ensuite été séparés en deux groupes afin de construire une vision par groupe (Figure 6)
- Qualité de vie en 2040 : Chaque participant devait sélectionner deux critères de qualité de vie prioritaires en 2040 à partir d'une liste basée sur les besoins primaires des populations : accès à l'eau et à la nourriture, accès au logement, être en sécurité, liberté d'action et de choix, richesse du tissu social, accès à l'éducation, accès à l'emploi, être en bonne santé.
- Activités socio-économiques futures : les participants étaient alors invités à interagir entre eux afin d'identifier et de lister l'ensemble des activités qu'ils souhaiteraient voir sur le territoire en 2040 dans le contexte du changement climatique. Ces échanges étaient guidés par l'animateur garantissant la répartition du temps de paroles.

L'animateur avait à sa disposition un set d'activités pré-identifiées afin de stimuler la discussion et l'imagination des participants.

- Une étape supplémentaire sur les moyens de mise en œuvre des activités (mode de gestion, de production, infrastructures...) n'a été appliquée que partiellement faute de temps.
- En parallèle chaque groupe devait nommer la vision obtenue et « remplir » un panier de produits locaux et une brochure d'office du tourisme correspondant aux activités identifiées.
- Enfin chaque groupe avait pour mission de présenter la vision construite en séance plénière donnant lieu à des discussions et comparaisons.

Données obtenues :

- Les valeurs portées par le territoire perçues actuellement et désirées en 2040
- 4 visions caractérisées par les critères de qualités de vie prioritaires, les activités socio-économiques désirées, le panier de produits locaux et l'offre touristique du territoire en 2040.
- Ces quatre visions se sont avérées très similaires et assez peu innovantes en termes d'activités socio-économiques proposées, nous permettant de les combiner facilement pour aboutir à une première version de vision collective pour le Pays de la Meije en 2040.



Figure 6. Illustrations des ateliers collectifs de co-construction de la vision (photos : E. Bruley/ A. Bergeret)

2.3.2. Focus groupes sur le futur de l'agriculture et de l'habitabilité

Focus groupe sur l'agriculture

Objectifs :

- Valider et enrichir les activités agricoles identifiées dans la vision collective.
- Evaluer la cohérence entre les activités désirées et les activités agricoles actuelles, identifier où cette agriculture aura lieu dans le paysage.
- Imaginer quelle serait l'organisation future de l'agriculture sur le territoire.

Modalités et participants :

- 1 atelier de 2h en journée
- 1 animatrice et 2 observatrices
- 5 participants, éleveurs de La Grave et Villar d'Arène

Déroulement :

- Introduction : tour de table, présentation du projet et des objectifs de l'atelier
- Présentation du contexte bioclimatique de 2040 et de la vision collective issue des ateliers précédents avec un focus sur la vision en termes d'agriculture.
- Les participants étaient alors invités à discuter la vision et à l'enrichir avec des activités agricoles souhaitées ou possibles.
- Les participants devaient ensuite identifier sur une carte où pourraient se positionner ces activités et les compromis induits avec les productions actuelles.
- Enfin les participants étaient invités à discuter de l'organisation de l'activité agricole future : qui serait les agriculteurs, formes d'exploitation, modes de productions.

Données obtenues :

- « Faisabilité » des activités agricoles désirées dans la vision
- Nombreuses informations sur les compromis en fonction des choix de productions agricoles (e.g. le modèle d'élevage actuel a besoin de terres pour produire suffisamment de fourrage qui pourraient être mobilisées pour d'autres productions)
- Questions et inquiétudes soulevées sur la viabilité économique d'autres productions, la main d'œuvre et l'attrait de nouveaux agriculteurs, l'opposition aux innovations technologiques, disparition des valeurs de la pratique de la fauche et impacts sur le paysage.

Focus groupe sur l'habitabilité

Pour cet atelier nous avons choisi de solliciter uniquement des femmes, sous représentées dans le processus jusqu'ici et dont la parole est parfois inhibée par la présence d'hommes.

Définition de l'habitabilité : Conditions de vie offertes par un espace, qu'elles soient matérielles (environnement physique, naturel...) ou immatérielles (symbolique, relation au paysage...)

participant à la définition de la qualité de vie sur un territoire (Inspirée de Blanc, 2010 et Corneloup et Bourdeau, 2014).

Objectifs :

- Imaginer les conditions de vie (matérielles et immatérielles) nécessaires pour accompagner la vision
- Imaginer le profil démographique du Pays de la Meije en 2040

Modalités et participants :

- 1 atelier de 2h en fin de journée
- 1 animatrice et 1 observatrice
- 6 participantes issues du secteur du tourisme, de l'agriculture et des services de proximité.

Déroulement :

- Introduction : tour de table, présentation du projet et des objectifs de l'atelier
- Les participantes avaient tout d'abord l'opportunité de discuter la vision collective présentée puis ensuite identifier les changements de conditions de vie nécessaires à la réalisation de la vision.
- Les participantes séparées en deux groupes devaient ensuite décrire une journée type d'un touriste et d'un habitant en 2040 dans le contexte de la vision puis partager leur récit.
- Enfin, les participantes étaient invitées à discuter du profil démographique (qui fait quoi, âge, origines, profils socio-professionnels) associé à la vision.

Données obtenues :

- Impacts des différents objectifs de la vision sur l'habitabilité du territoire (en termes de santé, confort, lien social, sécurité, accessibilité, éducation, accomplissement de soi, équité).
- Informations sur les impacts perçus des changements climatiques sur l'habitabilité.
- Mise en évidence de l'importance de l'installation de nouveaux habitants pour la réalisation des objectifs de la vision

2.3.3. Entretiens individuels

Objectifs :

- Enrichir et confronter la vision avec de nouveaux points de vue.
- Identifier les points de synergies et de conflits potentiels au sein de la vision pour orienter le travail sur les trajectoires.

Modalités et participants :

- Entretien semi-directif d'1h30
- Support : résumé de la vision collective sous forme graphique
- 10 participants, acteurs clés non représentés lors des ateliers

Déroulement :

- Introduction : présentation du projet et de l'objectif de l'entretien.
- Description rapide des conditions bioclimatiques en 2040 (annexe C2.5).
- Le participant devait alors exprimer sa propre vision pour ce territoire (en termes d'activités, vie quotidienne, évolution de paysages, innovations...).
- Présentation rapide de la vision collective obtenue à partir des ateliers.
- Le participant était invité à identifier les synergies et conflits pouvant exister entre les différents objectifs de la vision.
- Enfin le participant était invité à enrichir la vision collective.

Données obtenues :

- Validation des objectifs de la vision collective.
- Quelques points de divergence sur les objectifs tels que le modèle de développement touristique.
- Ces entretiens ont finalement plus été l'occasion pour les acteurs d'exprimer leur propre vision, souvent similaire à la vision collective. Il était difficile pour eux de relever des synergies ou conflits possibles entre les objectifs de la vision. Ces entretiens ont révélé que si les objectifs de la vision étaient partagés au sein des participants, les manières de les atteindre pouvaient diverger selon les acteurs.

2.3.4. Restitution

A l'issue de cette étape et de celle de la construction de la trajectoire passée, un évènement de restitution du travail effectué avec les acteurs du territoire a été organisé sur une après-midi. Cet évènement ouvert à tous avait pour objectifs d'une part de restituer et mettre en discussion les connaissances acquises lors des ateliers et entretiens précédents aux acteurs ayant participé et d'autre part, de faire découvrir ce travail à un public plus large. Durant cet évènement la version finale de la vision obtenue ainsi que les enjeux liés aux trois axes principaux de celle-ci ont été présentés sous forme de poster (Annexe C2.6).

2.4. Co-construire des trajectoires d'adaptation pour atteindre la vision

Cette dernière étape du processus avait pour objectifs de co-construire des trajectoires d'adaptation pour atteindre la vision désirée et d'identifier les principaux leviers et freins à leur mise en œuvre. Afin de caractériser ces trajectoires nous avons mis en place un jeu sérieux permettant aux acteurs de projeter le développement du territoire en réaction aux changements globaux entre 2020 et 2040. Les jeux sont particulièrement intéressants pour faire dialoguer différents acteurs autour de problèmes complexes (Garcia and Speelman 2017), notamment dans le cadre de l'adaptation au changement climatique (Flood et al. 2018).

Une première étape de construction du jeu a eu lieu faisant appel à 5 experts du territoire pour élaborer le modèle conceptuel du jeu. Puis, les sessions de jeu ont été réalisées pour identifier les différentes trajectoires d'adaptations possibles ainsi que les principaux freins et leviers à l'adaptation perçus par les participants. Ensuite vint une étape de restitution afin de présenter les premiers résultats des sessions de jeu. Enfin, une série d'entretiens semi-directifs a été réalisée afin d'identifier les actions d'adaptation concrètes pour atteindre la vision souhaitée. Cette étape a permis d'intégrer de nouveaux acteurs, plus jeunes et intéressés par la perspective d'ateliers sous forme de jeu.

2.4.1. Construction du jeu sérieux

Le jeu Adapta'Meije a été construit sur la base de la compréhension du fonctionnement du SES du Pays de la Meije obtenue durant la première étape de ce processus, et complété par un atelier pour construire le modèle conceptuel du SES sur lequel s'est basé le jeu. Cet atelier d'une journée, organisé et animé par Nicolas Salliou (Post-doctorant à l'ETH Zurich), s'est inspiré de la méthode ARDI - Acteurs-Ressources-Dynamique-Interactions (Etienne et al. 2011). Cette méthode permettant d'intégrer les acteurs à la conception du modèle conceptuel a souvent été utilisée comme une étape préalable à la conception de jeux (Etienne 2013). En décrivant les principales interactions entre les acteurs et les ressources à l'aide de verbes (par ex. achète une résidence secondaire, ouvre un commerce), ils peuvent ensuite être traduits en actions/événements potentiels dans le jeu. L'atelier a regroupé cinq experts locaux couvrant une diversité de domaines scientifiques et de points de vue. Ces experts font partie d'un groupe central qui a participé à toutes les étapes du processus participatif. Le groupe comprenait : un éleveur de bétail à la retraite qui est également un élu municipal et propriétaire d'une entreprise de tourisme, le responsable de la communication du téléphérique de La Grave, qui est également un élu municipal, un expert scientifique impliqué dans le projet de recherche, le responsable scientifique du Parc national des Ecrins et le coordinateur du plan climat pour le Pays du Briançonnais. La vision obtenue lors de la première phase du processus de scénarisation normative a également été un support important pour la construction du jeu. La dynamique, les éléments et les règles du jeu ont été co-construits avec N. Salliou. Le graphisme final et le plateau de jeu ont été élaborés par N. Salliou et un graphiste de l'ETH Zurich (Figure 7). Le jeu a été testé à plusieurs reprises au sein des équipes scientifiques suisses et françaises mais également lors d'une conférence dédiée aux jeux sérieux. Le fonctionnement, les éléments et les règles du jeu sont présentés en détail en annexe C2.7.



Figure 7. Illustration du jeu Adapta'Meije.

2.4.2. Session de jeu Adapta'Meije

Objectifs :

- Observer les trajectoires empruntées par les joueurs en fonction de leurs actions individuelles et collectives durant la partie de jeu.
- Caractériser les différentes trajectoires empruntées par les joueurs et identifier les principaux freins et leviers à l'adaptation.

Modalités et participants :

- 10 sessions de jeu de 3h (les sessions de jeu se déroulaient en 2 étapes consécutives : la partie de jeu (1h30-2h) et le débriefing (1h-1h30)).
- 1 maître du jeu et deux observateurs,
- Observation : 1 observateur animait ensuite le débriefing. Les observateurs avaient un rôle important lors des parties de jeu, car l'information collectée devait être remobilisée immédiatement lors du débriefing. Ainsi, les observateurs devaient noter l'évolution de l'ensemble des paramètres/éléments du jeu, les actions individuelles et collectives des joueurs, les éléments de discussion entre les joueurs relatifs à l'adaptation et aux freins et leviers d'actions (en termes d'institutions, de valeurs et de connaissance) et enfin les éléments de discussion relatifs à la mobilisation des écosystème (traduits en NCP).
- 36 participants impliquant une grande diversité d'acteurs (2 à 3 participants par session).

Déroulement :

- Le maître du jeu commençait par présenter le jeu, son fonctionnement, les différents éléments à la disposition des joueurs lors d'un tour de chauffe.
- La partie de jeu dont le déroulement est présenté en annexe C2.7.
- Le débriefing : Chaque participant était tout d'abord invité à partager sa réaction à chaud sur l'expérience de jeu. Puis ils devaient exprimer leurs avis sur l'atteinte des objectifs de la vision et identifier les moments, décisions, actions charnières de leur trajectoire. Ces points d'étapes identifiés ont ensuite été discutés avec l'ensemble des participants afin d'identifier la trajectoire mise en œuvre. Les participants devaient ensuite confronter cette trajectoire à la réalité afin d'identifier les freins et leviers pour que les actions menées lors du jeu puissent se mettre en place. La discussion sur les freins et leviers a été orientée par l'animateur sur différents sujets tel que : la place des institutions, les modes de financement, les structures et modes de mise en collectif, les valeurs, les connaissances et les infrastructures nécessaires, enfin, sur la dépendance de la trajectoire à la nature et aux ressources naturelles.

Données obtenues :

- Différentes trajectoires ne menant pas toutes à la vision trajectoires, que nous avons pu identifier grâce à l'évolution des paramètres du jeu principalement caractérisés par les stratégies de développement touristique, agricole, de la vie locale et de l'accueil de nouveaux habitants mises en place.
- Des informations plus précises sur les objectifs d'adaptation, concordant avec ceux de la vision.
- Une liste des freins et leviers potentiels à l'adaptation ainsi qu'une information qualitative sur leurs influences sur les actions.

2.4.3. Restitution sur le jeu

Une restitution sur les premières analyses des sessions de jeu et des débriefings a été organisée. Cet événement ouvert au public avait pour objectif de présenter les différentes trajectoires empruntées par les joueurs en réponse aux changements climatiques et socio-économiques. Puis de présenter et discuter les stratégies/actions ayant permis aux joueurs de maintenir ou développer l'activité sur le territoire et potentiellement d'atteindre les objectifs de la vision. Enfin de présenter et discuter les nombreux freins et leviers à l'adaptation perçus par les participants. Cette restitution a rassemblé 12 acteurs dont la majorité ont participé aux sessions.

2.4.4. Entretiens individuels suite au jeu**Objectifs :**

- Identifier des actions et/ou stratégies d'adaptation permettant la mise en place de la trajectoire correspondant à la vision souhaitée.
- Mettre en évidence les leviers et freins pour la mise en place de ces actions/stratégies.

Modalités et participants :

- Entretiens semi-directifs d'1h30
- 9 entretiens avec des acteurs ayant une connaissance approfondie de la région.

Déroulement :

- Introduction : présentation des objectifs de la démarche de vision et d'Adapta'Meije.
- Présentation des archétypes de trajectoires obtenues selon les 4 stratégies d'adaptation du territoire (touristique, agricole, vie locale et accueil). Le participant était tout d'abord questionné sur ses préférences quant à la trajectoire et les stratégies à mettre en œuvre dans le futur.
- Le participant était alors invité à identifier des actions concrètes pour mettre en œuvre ces stratégies d'adaptations, quels changements seraient nécessaires dans le fonctionnement actuel du territoire.
- Enfin, il était invité à discuter des freins et leviers associés aux stratégies d'adaptation évoquées par les acteurs.

Données obtenues :

- Il a été particulièrement difficile pour les participants d'identifier des actions concrètes à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs souhaités. Ces entretiens ont finalement permis de confirmer que certaines trajectoires n'étaient pas souhaitables et d'enrichir les informations sur les leviers et les freins à l'action sur ce territoire.

3. Evaluation du projet

Deux questionnaires ont été conduits en parallèle par l'équipe Suisse afin d'évaluer l'impact du projet en termes d'évolution des réseaux de collaboration et d'apprentissage des participants.

3.1. Réseaux de collaboration

Un premier questionnaire permettant de recenser les collaborations entre acteurs sur ce territoire a été effectué à deux reprises afin d'évaluer l'évolution de celles-ci entre le début et la fin du projet. Ce questionnaire consistait pour les participants à identifier leurs collaborations avec une grande diversité d'acteurs ayant un rôle sur le territoire et de caractériser la nature de ces collaborations. Ce questionnaire a donc été proposé aux participants et plus largement à l'ensemble acteurs sollicités deux fois, la première lors de la construction de la vision en avril 2018 et la seconde après les sessions de jeu en septembre 2019. Les résultats de ces questionnaires n'ont pas été directement mobilisés dans cette thèse mais font l'objet d'une analyse visant à caractériser la capacité d'innovation des territoires de montagne au travers des réseaux de collaboration identifiés. Cette analyse fait l'objet d'un article pour lequel je suis co-auteur (annexe T.4).

Blanco, V., Luthe, T., Bruley, E., & Grêt-Regamey, A. (n.d.). Transforming collaboration networks to support systemic innovation in mountain regions. Sustainability Science (submitted)

3.2. Apprentissage au cours du processus participatif

Un second questionnaire a été proposé aux participants en septembre 2019 afin d'évaluer si le projet avait participé à l'acquisition de nouvelles connaissances et aider les acteurs à mieux identifier les défis qui peuvent se présenter vis-à-vis de l'adaptation du territoire pour le futur. Ce questionnaire n'a reçu que très peu de réponses qui seront analysées ultérieurement.

4. Synthèse du processus participatif

	Step 1: Current SES functioning understanding (May to Dec 2017)	Step 2: Past SES trajectories co-construction (Apr to June 2018)	Step 3: Desired vision for 2040 co-design (April to sept 2018)	Step 4: Adaptation pathways co-construction (May to Sept 2019)
Objectives	Identify the human/nature interactions, the social and natural drivers involved and the quality of life issues that depend on them perceived by the participants.	Reconstruction of the past trajectory of the SES from 1900 to understand the adaptation mechanisms based on human/nature interactions implemented in response to past changes. Use of chrono-systemic timeline method.	Identify and characterise the objectives to be achieved in 2040 for the future and desired development of the SES in the climate change context.	Explore possible adaptation pathways based on ecosystem mobilisation, and identify levers and barriers to their implementation.
Content of participatory process	<p>First workshop (9 loc participants):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Participants expressed the contributions of nature to their quality of life - Construction of a local problematic around the strengths, weaknesses, opportunities and threats link to nature and quality of life. <p>Second workshop (11 reg experts):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Participants identified and discussed specific nature contribution to quality of life in this region, and human and natural influencing drivers - Participants discussed the problematic identified by local actors <p>Semi-structured interviews (12 key loc & reg actors):</p> <p>Participants characterised their dependencies and influences on nature's contributions to the different dimensions of quality of life.</p> <p>Validation workshop (7 loc participants): Discuss and validate our understanding of SES functioning. Explore future use of ecosystems and NCP</p>	<p>Exploratory interviews (12 actors living here for more than 20 years):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Participants identified and described the main past changes, particularly in relation to ecosystems. <p>Two workshops (2+5 elders):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Co-construction of the timeline based on main SES dynamics identified previously. - Identification of the main events, trends, changes and the interactions between these elements 	<p>Two workshops (20 loc & reg participants in 4 groups):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groups designed their vision based on values and the desired quality of life and activities for 2040 in a context of global change. - Visions were then shared and discussed by all participants. <p>Two focus group (11 loc participants):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agriculture: Discuss feasibility of the vision for agriculture (5 farmers). - Habitability: Discuss living conditions in the vision (6 women) <p>Semi-structured interviews (10 key actors not represented in the workshops): Discuss, validate and enrich the common vision with new points of view.</p>	<p>Game design (5 reg experts)</p> <p>Ten Game sessions (36 participants - between 2 and 6 participants/game):</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2h game - players make individual and collective decisions to maintain local quality of life in response to climate and socio-economic events in 2020-2040 (full description of the game in Annexe C2.7). - 1h debriefing of first impressions, game strategies, levers and barriers to adaptation. <p>Semi-structured interviews (9 actors with in-depth knowledge of the region): Based on game sessions outputs, identify concrete adaptation actions, barriers and levers</p>

Main outcomes	Validated understanding of nature's contributions to quality of life (NCP). Drivers influencing human and nature interactions. 3 dimensions of quality of life depending on nature's benefits. Data used in Chapter 3 and informing other Chapters	One aggregated timeline (Chapter 4 annexe 1). Details of drivers of change and SES adaptive responses. Evolution of interactions between human and nature. Data used in Chapter 4 and informing Chapter 5.	Aggregated common desired vision for 2040 Lists of ecosystem-based adaptation objectives derived from the vision Values and quality of life issues associated with the vision. Data used in Chapter 5	Refining adaptation objectives based on adaptation strategies discussed during the game linked to the vision Main levers and barriers to adaptation perceived by participants
Methods of actors' involvement	<ul style="list-style-type: none"> - List of actors involved in previous projects carried out in the Pays de la Meije. - Actors' network analysis allowing to target the missing categories of actors. - Communication on the events through posters, town halls and the tourism office. - Snowball effect from the network of actors already involved. - Methods of contact by e-mail, telephone or direct meeting. 			
Types of actors involved: <ul style="list-style-type: none"> - Agricultural sector / Farmers - Ecrins National Park - Local and regional institutions - Local decision-makers 	<ul style="list-style-type: none"> - Secondary Residents - Tourism professionals - Inhabitants - Local services - Local and regional experts - Students and Elders 	Missing actors : Little involvement of regional and departmental institutions No involvement of tourists Mayors did not get involved Little involvement of members of local "families".	Number of participants: 95 Number of participations: 166 (excluding feedback events)	

REFERENCES

- Bally F, Gabillet M, Laforgue D, Lavorel S, Peyrache-Gadeau V (2020) L'étude de la « Crise du Chambon » pour penser les rapports entre territoire, institutions, populations et sciences. *Nature, Sciences et Sociétés* 28:24–34 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/nss/2020019>
- Barreteau O, Bots PWG, Daniell KA (2010) A framework for clarifying “Participation” in participatory research to prevent its rejection for the wrong reasons. *Ecology and Society* 15:1 . <https://doi.org/10.5751/ES-03186-150201>
- Bergeret A, George-Marcelpoil E, Delannoy J, Piazza-morel D (2015) L'outil-frise : une expérimentation interdisciplinaire - Comment représenter des processus de changements en territoires de montagne ? *Les Carnets du Labex ITEM <hal- 01230027>*
- Bruley E, Locatelli B, Lavorel S (2021) Nature's contributions to people: Co-producing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society* <https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112>
- Butler JRA, Bohensky EL, Suadnya W, Yanuartati Y, Handayani T, Habibi P, Puspadi K, Skewes TD, Wise RM, Suharto I, Park SE, Sutaryono Y (2016) Scenario planning to leap-frog the Sustainable Development Goals: An adaptation pathways approach. *Climate Risk Management* 12:83–99 . <https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.11.003>
- Campagne CS, Roche P, Gosselin F, Tschanz L, Tatoni T (2017) Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. *Ecological Indicators* 79:63–72 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.043>
- Cornwall A, Jewkes R (1995) What is participatory research? *Social Science & Medicine* 41:1667–1676
- Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Ash N, Larigauderie A, Adhikari JR, Arico S, Báldi A, Bartuska A, Baste IA, Bilgin A, Brondizio E, Chan KMA, Figueroa VE, Duraiappah A, Fischer M, Hill R, Koetz T, Leadley P, Lyver P, Mace GM, Martin-Lopez B, Okumura M, Pacheco D, Pascual U, Pérez ES, Reyers B, Roth E, Saito O, Scholes RJ, Sharma N, Tallis H, Thaman R, Watson R, Yahara T, Hamid ZA, Akosim C, Al-Hafedh Y, Allahverdiyev R, Amankwah E, Asah TS, Asfaw Z, Bartus G, Brooks AL, Caillaux J, Dalle G, Darnaedi D, Driver A, Erpul G, Escobar-Eyzaguirre P, Failler P, Fouda AMM, Fu B, Gundimeda H, Hashimoto S, Homer F, Lavorel S, Lichtenstein G, Mala WA, Mandivenyi W, Matczak P, Mbizvo C, Mehrdadi M, Metzger JP, Mikissa JB, Moller H, Mooney HA, Mumby P, Nagendra H, Nesshover C, Oteng-Yeboah AA, Pataki G, Roué M, Rubis J, Schultz M, Smith P, Sumaila R, Takeuchi K, Thomas S, Verma M, Yeo-Chang Y, Zlatanova D (2015) The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:1–16 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson RT, Molnár Z, Hill R, Chan KMA, Baste IA, Brauman KA, Polasky S, Church A, Lonsdale M, Larigauderie A, Leadley PW, van Oudenhoven APE, van der Plaats F, Schröter M, Lavorel S, Aumeeruddy-Thomas Y, Bukvareva E, Davies K, Demissew S, Erpul G, Failler P, Guerra CA, Hewitt CL, Keune H, Lindley S, Shirayama Y (2018) Assessing nature's contributions to people. *Science* 359:270–272 . <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Etienne M (2013) *Companion modelling: a participatory approach to support sustainable development*, Springer
- Etienne M, Du Toit D, Pollard S (2011) ARDI: A co-construction method for participatory modelling in natural resources management. *Proc iEMSs 4th Biennial Meeting - Int Congress on Environmental Modelling and Software: Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making*, iEMSs 2008 2:866–873
- Flood S, Cradock-Henry NA, Blackett P, Edwards P (2018) Adaptive and interactive climate futures: Systematic review of “serious games” for engagement and decision-making. *Environmental Research Letters* 13: . <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac1c6>
- García-Nieto AP, Huland E, Quintas-Soriano C, Iniesta-Arandia I, García-Llorente M, Palomo I, Martín-López B (2019) Evaluating social learning in participatory mapping of ecosystem services. *Ecosystems and People* 15:257–268 . <https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1667875>

- Garcia CA, Speelman E. (2017) Landscape Approaches, Wicked Problems and Role Playing Games Alaotra Resilience Landscape (AlaReLa) Madagascar View project
- Girel J, Quetier F, Bignon A, Aubert S (2010) Histoire de l'agriculture en Oisans, Hautes Romanche et pays Faranchin - Villar d'Arène, Hautes Alpes
- Gobiet A, Kotlarski S, Beniston M, Heinrich G, Rajczak J, Stoffel M (2014) 21st century climate change in the European Alps-A review. *Science of the Total Environment* 493:1138–1151 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>
- Hock R, Rasul G, Adler C, Cáceres B, Gruber S, Y. H, Jackson M, Kääb A, Kang S, Kutuzov A, Milner AM, U., Morin S, Orlove B, Steltzer H (2019) High Mountain Areas. IPCC SR Ocean and Cryosphere 94
- INSEE (2016) Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). <https://www.insee.fr/fr/accueil>
- Kok K, Biggs R, Zurek M (2007) Methods for developing multiscale participatory scenarios: Insights from Southern Africa and Europe. *Ecology and Society* 12: . <https://doi.org/10.5751/ES-01971-120108>
- Lamarque P (2012) Une approche socio-écologique des services écosystémiques. Cas d'étude des prairies subalpines du Lautaret. Université de Grenoble
- Lavorel S, Colloff MJ, Locatelli B, Gorrdard R, Prober SM, Gabillet M, Devaux C, Laforgue D, Peyrache-Gadeau V (2019) Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science and Policy* 92:87–97 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lavorel S, Grigulis K, Leitinger G, Kohler M, Schirpke U, Tappeiner U (2017) Historical trajectories in land use pattern and grassland ecosystem services in two European alpine landscapes. *Regional Environmental Change* 17:2251–2264 . <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1207-4>
- Lavorel S, Spiegelberger T, Mauz I, Bigot S, Granjou C, Dobremez L, Nettièr B, Thuiller W, Brun J-J, Cozic P (2013) Coupled long-term dynamics of climate, land use, ecosystems and ecosystem services in the Central French Alps. In: Singh SJ, Haberl H, Chertow M, Mirtl M, Schmid M (eds) Long term socio-ecological research: Studies in society-nature interactions across spatial and temporal scales, Springer-V. Dordrecht, Netherlands, pp 485–504
- Lilja N, Ashby JA (1999) Types of Participatory Research Based on Locus of Decision Making. Working Document No 6
- Martin N (2013) Les migrations d'agrément , marqueur d'une dynamique d'après-tourisme dans les territoires de montagne. Université de Grenoble
- Ménégoz M, Valla E, Jourdain N, Blanchet J, Beaumet J, Wilhelm B, Gallée H, Fettweis X, Morin S, Anquetin S (2020) Contrasting seasonal changes in total and intense precipitation in the European Alps from 1903 to 2010. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 1–37 . <https://doi.org/10.5194/hess-2019-690>
- Muscella C (2004) Les enjeux de la construction d'un territoire de Haute Montagne : Etude du canton de la Grave (Hautes Alpes). Faculté d'Anthropologie et de Sociologie, Université Lumières Lyon II
- Oteros-Rozas E, González JA, Martín-López B, López CA, Zorrilla-Miras P, Montes C (2012) Evaluating ecosystem services in transhumance cultural landscapes. An interdisciplinary and participatory framework. *Gaia* 21:185–193 . <https://doi.org/10.14512/gaia.21.3.9>
- Oteros-Rozas E, Martn-Lpez B, Lpez CA, Palomo I, Gonzlez JA (2013) Envisioning the future of transhumant pastoralism through participatory scenario planning: A case study in Spain. *Rangeland Journal* 35:251–272 . <https://doi.org/10.1071/RJ12092>
- Palomo I, Montes C (2011) Participatory Scenario Planning for Protected Areas Management under the Ecosystem Services Framework : the Doñana Social-Ecological System in Southwestern Spain. *Ecology and Society* 16:23 . <https://doi.org/23>
- Quetier F (2006) Vulnérabilité des écosystèmes semi-naturels européens aux changements d'utilisation des terres. Application aux prairies subalpines de Villar d'Arène, France. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

- Quétier F, Thébault A, Lavorel S (2007) Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological Monographs* 77:33–52 . <https://doi.org/10.1890/06-0054>
- Rey-Valette H, Mathé S, Salles JM (2017) An assessment method of ecosystem services based on stakeholders perceptions: The Rapid Ecosystem Services Participatory Appraisal (RESPA). *Ecosystem Services* 28:311–319 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.08.002>
- Schwartz SH (2012) An Overview of the Schwartz Theory of Basic Values. *Online Readings in Psychology and Culture* 2:1–20 . <https://doi.org/10.9707/2307-0919.1116>
- Thorn JPR, Klein JA, Steger C, Hopping KA, Capitani C, Tucker CM, Nolin AW, Reid RS, Seidl R, Chitale VS, Marchant R (2020) A systematic review of participatory scenario planning to envision mountain social-ecological systems futures. *Ecology and Society* 25:1–55 . <https://doi.org/10.5751/ES-11608-250306>

ANNEXES CHAPITRE 2

Annexe C2.1. Liste et description des acteurs ayant participé à une ou plusieurs étapes du processus participatif (KO= réunion de lancement, WS= atelier, SSI= entretiens semi-directifs, WSV= atelier de validation, FG= focus groupe)

N°	Function	Type	Action scale	Gender	KO meet	SES WSLo	SES WSRe	SES SSI	SES WSV	Past SSI	Past WS	Visio WS	Visio FG1	Visio FG2	Visio SSI	Game Des	Game Sess	Game SSI
1	Student	Student	Local	M													x	
2	Café and gîte owner	Tourism, local services	Local	F														x
3	Ski resort employee Secretary	Tourism Administration	Local	M/F							x							
4	Student and seasonal worker	Student	Local	F											x			
5	Gîte holder Local councillor	Tourism Decision making	Local	M						x								
6	Hotel owners Former director of the pastoral land association (AFP)	Tourism Agriculture	Local	M/F						x								
7	Computer engineer	Engineering	Outside	M													x	
8	Officer at departmental institution	Institutional	Departmental	M				x										
9	Nature conservation association	Nature conservation	Regional	M				x										
10	President of a cultural association	Culture	Local	M						x								
11	Scientific manager at Ecrins National Park	Nature conservation	Regional	M				x				x				x	x	
12	Student and seasonal worker	Student	Local	F											x			
13	Photograph	Tourism	Local	M	x	x									x		x	
14	PhD Student in geography	Science	Regional	M								x						
15	Basket maker	Artisan	Local	F													x	
16	Geography researcher, coordinator of "refuge sentinelles"	Science	Regional	M				x				x						
17	Carpenter, market gardener, Mountain guide	Artisan, Agriculture, Tourism	Local	M	x					x								x
18	Retired from building engineering	Engineering	Local	M													x	
19	Seamstress	Artisan	Local	F													x	
20	Hauts-Alpes Departmental advisory board - "water" department	Institutional	Departmental	F								x						
21	Technical advisor in Industry and Commerce Chamber (CCI)	Institutional	Departmental	F	x			x							x		x	
22	Retired electrician	Artisan	local	M								x						
23	Researcher in animal behaviour at Lautaret research station	Science	Regional	F													x	
24	Secondary residence, cultural activities	Culture	Local	F													x	
25	Staff of Ecrins National Park	Nature conservation	local	M					x									

N°	Function	Type	Action scale	Gender	KO meet	SES WSLo	SES WSRe	SES SSI	SES WSV	Past SSI	Past WS	Visio WS	Visio FG1	Visio FG2	Visio SSI	Game Des	Game Sess	Game SSI
26	Project manager at ALPARC (The Alpine Network of Protected Areas)	Conservation	Regional	M											x			
27	Manager of natural hazards PETR (Rural and Territorial Balance Hub)	Institutional	Departmental	F											x			
28	Secretary at Téléphérique Glaciers de la Meije (STAG), Journalist	Services	Departmental	F														x
29	Secondary residence, cultural activities	Culture	Local	M	x	x		x	x			x						
30	President of a hunting association	Leisure	Local	M						x								
31	Officer at agricultural chamber	Institutional	Regional	F				x										
32	Researcher in risk	Science	Regional	M				x										
33	Hotel owner	Tourism	Local	F														x
34	Garment workshop	Artisan	Local	M								x						x
35	Taxi driver	Mobility	Local	F	x	x			x						x			x
36	Cattle breeder	Agriculture	Local	M									x					
37	Sport shop owner	Tourism	Local	M								x						
38	Mayor	Decision making	Departmental	M														x
39	Beekeeper and apiary owner	Artisan	Local	M											x			
40	Goat breeder	Agriculture	Local	F										x				x
41	Ski instructor	Tourism	Local	F														x
42	Gite holder	Tourism	Local	F						x								
43	Guide, Deputy Mayor	Tourism, Decision making	Regional	M	x	x				x		x						x
44	Architect	Services	Regional	F				x							x			x
45	Guide's office secretary	Tourism	Local	F	x	x												
46	Low mountain range guide	Tourism	Local	F	x				x						x			x
47	Local councillor	Decision making	Local	M						x								
48	Seasonal worker	Tourism, Artisan	Local	M														x
49	Seasonal worker	Tourism		F														x
50	Sport shop owner	Tourism	Local	M								x						
51	Retired farmer, AFP manager, Camping owner, Local councillor	Agriculture, Tourism, Decision making	Local	M	x					x	x	x						x
52	Refuge keeper	Tourism	Local	F														x
53	Retired from culture, Deputy mayor	Culture, Decision making	Local	M							x							x
54	Grocery store owner	Services	Local	F								x						
55	Hotel owner	Tourism	Local	M	x			x				x						
56	Municipal officer	Services	Local	F							x							x
57	Teacher	Services	Local	F														x
58	Scientist ILL	Engineering	Outside	M														x
59	Sports shop owner	Tourism	Local	M		x												
60	Refuge keeper	Tourism	Local	F	x			x							x			x

N°	Function	Type	Action scale	Gender	KO meet	SES WSL0	SES WSRe	SES SSI	SES WSV	Past SSI	Past WS	Visio WS	Visio FG1	Visio FG2	Visio SSI	Game Des	Game Sess	Game SSI
61	Researcher in ecology	Science	International	F	x											x	x	
62	Commercial and communication manager at Téléphérique Glaciers de la Meije (STAG), Deputy Mayor	Tourism, Decision making	Local	M	x		x					x				x	x	
63	Director of the tourism office, Head of AFP	Tourism, Agriculture	Local	F													x	
64	Project manager at Hautes Alpes Department, Creator of Center of alpine orality	Institutional	Regional	M			x					x						x
65	Mountain guide	Tourism	Regional	M														x
66	Head manager of Coordination montagne (FFCAM)	Institutional	National	M	x			x				x						
67	Researcher (retired) Former member of the pastoral land association (AFP)	Academic Agriculture	Local	M/F						x	x							
68	Student	Student	Local	M				x										
69	2 alpes Ski resort CE	Tourism	Departmental	M			x											
70	Researcher in meteo	Science	Regional	M			x											
71	Researcher in ecolog	Science	Regional	M			x											
72	Café owner	Tourism	Local	F	x	x			x									x
73	Project manager at ETR (Rural and Territorial Balance Hub)	Institutional	Regional	M											x	x	x	
74	Hostess in the alpine garden of lautaret	Tourism	Local	F											x			
75	Municipal officer	Institutional	Local	F				x										x
76	Staff of Ecrins Nation	Nature conservation	Departmental	F				x										
77	Former Mayor Former public service employee	Public services Decision making	Local	M						x	x							
78	Inter-community syndicate of La Grave-Villar d'Arène	Institutional	Local	F	x									x				
79	Mountain guide	Tourism	Local	M	x	x			x						x			x
80	Student	Student	Local	F				x										
81	Student	Student	Local	M				x										
82	Technical officer at Lautaret Alpine Garden	Science	Regional	M	x													x
83	Cattle breeder	Agriculture	local	M								x	x					x
84	Sheep breeder	Agriculture	Local	M									x					x
85	Seasonal worker at Téléphérique Glaciers de la Meije (STAG)	Tourism	Local	M								x						
86	Hotel owner	Tourism	Local	F								x						
87	Ski instructor, Firefighter	Tourism, Services	Local	M					x									x
88	PhD student in geography	Science	Regional	M														x
89	Officer at CERPAM	Institutional	Regional	M			x											
90	Sheep breeder	Agriculture	Local	F									x					x
91	Sheep breeder	Agriculture	Local	M									x					
92	Low mountain range guide	Tourism	Local	F		x						x						
Number of participants (total participation =163)					18	9	11	12	7	12	6	20	5	6	10	5	36	9


Annexe C.2.2. Illustrations représentatives des contributions de la nature à la qualité de vie pour les participants au premier atelier de compréhension du socio-écosystème.



Annexe C2.3. Compte rendu du premier atelier de compréhension du socio-écosystème avec les acteurs locaux.

MOUNTAINPATHS — Visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Associer les acteurs du Pays de la Meije avec des chercheurs pour explorer la diversité des futurs possibles et identifier les leviers d'action pour y parvenir



Rappel des objectifs de l'atelier du 26 juin 2017

Ce premier atelier avait pour objectif de réunir les acteurs du Pays de la Meije pour :

- Mettre en évidence les **relations que les acteurs entretiennent avec le milieu naturel** du Pays de la Meije.
- Co-construire une **compréhension commune du fonctionnement actuel du territoire**. Cette étape constitue le fondement de la suite du travail de projection dans l'avenir, que nous entamerons lors des prochains ateliers.


Éléments de nature importants sur le territoire

On note dans les discours une description générale des éléments naturels, « la nature », « l'environnement », « le paysage » et l'importance d'éléments non vivants, « la Meije », « les conditions climatiques »...

Les liens à la nature évoqués peuvent être regroupés en différentes catégories :

- **Une nature dynamique** : le renouveau, les saisons, les glaciers
- **Une nature support** : des activités économiques (tourisme, agriculture), de la qualité de vie, qui fait partie du paysage,
- **Une nature contraignante** : dépendances d'un certains nombres d'activités aux conditions naturelles (conditions climatiques, topographie)
- **Une nature façonnée par l'homme** : nature patrimoniale, résultat d'une longue cohabitation homme/nature (terrasses) / **milieux naturels impactés** par les activités humaines (tourisme, urbanisation, changement climatique)
- **Une nature sauvage** : ressource abondante, avec un potentiel, facile d'accès

L'homme reste très présent dans cette nature, elle est indissociable des activités du territoire.



Contact : Enora Bruley - enora.bruley@univ-grenoble-alpes.fr 06 75 01 75 87

MOUNTAINPATHS — Visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Associer les acteurs du Pays de la Meije avec des chercheurs pour explorer la diversité des futurs possibles et identifier les leviers d'action pour y parvenir

Forces et vulnérabilités relatif à la qualité de vie sur le territoire

	« Favorisant »	« Contraignant »
« Interne »	<p>Forces :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forte attractivité du paysage (Meije, terrasse, col...) - Histoire/ patrimoine relation homme/nature forte - Dynamique installation jeunes agriculteurs - Zone de passage du flux touristique - Présence du téléphérique permettant l'accès à un tourisme de niche - Saisonnalité marquée permettant une diversification de l'activité et une diversité de paysage - Règlement d'urbanisme, préserve l'authenticité du territoire - « potentiel inexploité du paysage » 	<p>Faiblesses :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de culture du projet commun (pour l'avenir et dans le passé), - Manque de cohésion sociale - Précarité / fragilité économique - Rudes de l'environnement, contrainte urbanistique - Développement du tourisme axé sur le téléphérique (vrai?) - Dépendance des activités économiques au climat, aux saisons, - Périodes creuses hors saisons
« Externe »	<p>Opportunités :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diversification de l'offre touristique (tourisme scientifique, découverte, éducation, témoin du changement climatique...) - Créer une « image verte » du Canton (bio, tourisme doux...), - Développement d'autres types d'agriculture, - Migration de population - Investissement des institutions suite à la crise du Chambon, 	<p>Menaces :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exode rural, désertification du territoire, - Développement d'un tourisme non contrôlé, de masse, - Pression de promoteur extérieur, couplé au manque de consultation de la population, - Déprise agricole, - Dépendances aux subventions de la PAC, - Banalisation du territoire

Il s'agit d'éléments que nous avons pu ressortir des discussions de groupe durant l'atelier

Contact : Enora Bruley - enora.bruley@univ-grenoble-alpes.fr 06 75 01 75 87

MOUNTAINPATHS — Visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Associer les acteurs du Pays de la Meije avec des chercheurs pour explorer la diversité des futurs possibles et identifier les leviers d'action pour y parvenir

Enjeux du territoire

Comment préserver le caractère unique du territoire tout en développant des activités économiques diversifiées, dans un contexte de changements climatique et socio-économique ?

Avec comme enjeu sous-jacent : Comment l'économie touristique peut-elle servir de levier d'action pour le développement de la vie locale ?

- Le caractère unique du territoire fait référence à la singularité du paysage tant pour ces aspects naturels que patrimoniaux, qui contribuent à la qualité de vie sur le territoire : la forte présence de l'environnement (ex : la Meije, la nature préservée) et l'histoire d'un développement singulier de ce territoire (ex : terrasses, villages et hameaux).
- La diversification des activités économiques a été abordé concernant le tourisme (ne pas tout miser sur le téléphérique), mais également dans d'autres secteurs d'activités pour le développement d'une économie locale durable (services, agriculture...).

Cette question amène à s'interroger sur le juste équilibre à trouver dans le développement touristique. Il s'agit de sortir de la précarité économique et de soutenir le développement local, tout en évitant un tourisme de masse ayant un fort impact sur la qualité de vie et sur l'environnement.

Perspectives de travail et enjeux du projet

- Les milieux naturels et le paysage comme supports/ressources pour le développement des activités économiques et la qualité de vie.
- Dans le contexte post crise du Chambon, la prise de conscience de la fragilité du territoire constitue un avantage pour développer des projets communs.
- Comment créer un projet commun dans un territoire où la culture du collectif n'est pas prédominante?
- Comment impliquer une plus grande diversité d'acteurs du territoire?
- Analyser le fonctionnement et les enjeux saisonniers du territoire. On cherchera à étudier les dynamiques à la fois environnementales, économiques et sociales qui caractérisent chaque saison, et les transitions entre saisons.
- Liens et interactions avec les territoires voisins ou similaires, et l'échelle régionale.

Prochain rendez-vous : Atelier sur les visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Constitution d'un groupe de travail où les acteurs locaux et régionaux seront réunis pour mener une réflexion sur les futurs souhaités ou à éviter — Cet atelier aura lieu à l'automne 2017 (novembre/décembre)

Contact : Enora Bruley - enora.bruley@univ-grenoble-alpes.fr 06 75 01 75 87



Annexe C2.4. Compte rendu du second atelier de compréhension du socio-écosystème avec les acteurs et experts régionaux.

MOUNTAINPATHS — Visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Associer les acteurs du Pays de la Meije avec des chercheurs pour explorer la diversité des futurs possibles et identifier les leviers d'action pour y parvenir

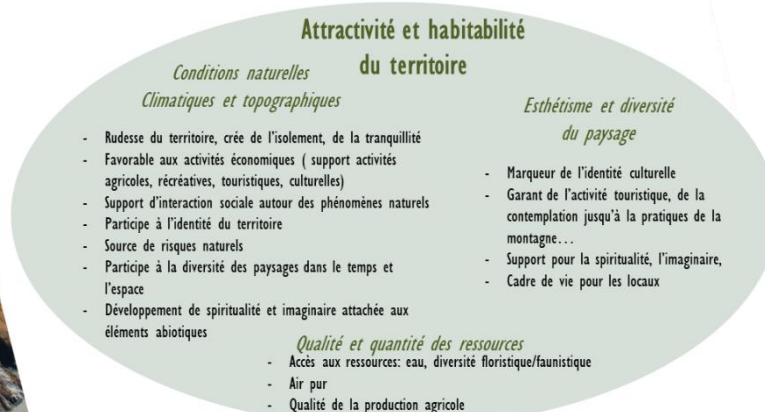


Rappel des objectifs de l'atelier du 13 septembre 2017

- Ce premier atelier avait pour objectif de réunir les acteurs régionaux ayant une expertise sur le territoire du Pays de la Meije pour :
 - Mettre en évidence les **relations entre la nature et la qualité de vie sur ce territoire de montagne**
 - Co-construire une **compréhension commune du fonctionnement actuel du socio-écosystème du Pays de la Meije**. Cette étape constitue le fondement de la suite du travail de projection dans l'avenir, que nous entamerons lors des prochains ateliers.

Contributions de la nature à la qualité de vie

On note une contribution forte de la nature, du paysage comme support de l'attractivité du territoire, que ce soit pour les locaux ou les touristes :



Les éléments naturels sont discutés en terme de bénéfices mais également en terme de contraintes pour la qualité de vie. Cette dualité témoigne de la multiplicité des rapports que les acteurs entretiennent avec la nature et le paysage sur ce territoire.

Contact : Enora Bruley - enora.bruley@univ-grenoble-alpes.fr 06 75 01 75 87

MOUNTAINPATHS — Visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Associer les acteurs du Pays de la Meije avec des chercheurs pour explorer la diversité des futurs possibles et identifier les leviers d'action pour y parvenir

Éléments de compréhension du fonctionnement du Pays de la Meije

Quels sont les facteurs qui influencent le fonctionnement actuel de ce territoire, ayant un impact sur la nature et le paysage?

Gouvernances	Connaissances et technologies	Infrastructures	Pratiques locales	Organisation sociale	Naturels
<ul style="list-style-type: none"> - Outils de planification - Politiques publiques - Politiques locales de soutien aux activités - Choix de développement (publique, privée, particulier) 	<ul style="list-style-type: none"> - Education - Innovations technologiques (agriculture, gestion des risques, communication) - Savoirs locaux - Innovation sociale - Capacité d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> - Accessibilité numérique (locaux et touristes) - Mobilité - Diversité de l'offre - Accès aux services publics et privés 	<ul style="list-style-type: none"> - Diversité de l'offre (activités économiques, touristique, emploi...) - Choix de gestion du paysage et utilisation des terres - Maîtrise du foncier 	<ul style="list-style-type: none"> - Solidarité - Changements de la société (modes de consommation, mobilité, tourisme) - Système de valeurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Climat comme facteur de changement et conditionnant les activités humaines - Ressources, disponibilité en eau, diversité floristique (qualité du fourrage)

Une dualité forte quant au fonctionnement de ce socio-écosystème

Les discussions autour des facteurs d'influence ont mis en évidence un certain nombre de paradoxes sur le territoire,

- Réglementation : nécessité de tenir compte des spécificités du territoire pour l'application des normes
- Flux touristique : notion de « capacité de charge » du territoire, combien peut-on et **veut-on** accueillir de touriste?
- Technologies : Souligne la nécessité d'avoir accès à l'innovation technologiques mais celle-ci peut créer de nouvelles dépendances.
- Changement du paysage : Blocages par rapport à l'évolution du paysage, exemple emblématique des terrasses, leurs maintiens pause question
- Climat et topographie : contraignent la vie quotidienne et les activités mais participent à l'identité du territoire et jouent un rôle de régulateur en terme de développement mais aussi de « sélection » sociale.
- [Démographie : opposition natifs et non natifs, flux migratoire]

Contact : Enora Bruley - enora.bruley@univ-grenoble-alpes.fr 06 75 01 75 87



MOUNTAINPATHS — Visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Associer les acteurs du Pays de la Meije avec des chercheurs pour explorer la diversité des futurs possibles et identifier les leviers d'action pour y parvenir

Éléments d'intérêt pour l'évolution du territoire

Quels paysages veut-on?

Avenir du couvert forestier, des terrasses, de l'urbain

Quelles formes de tourisme veut-on?

« Marcher, grimper, voyager moins con! », avenir de l'itinérance en haute altitude

Quelles formes d'agriculture veut-on?

Agriculture adaptée au changement climatique

Quels développements économiques veut-on?

Circuits courts, dépasser le tourisme classique, télétravail, co-working, polarisation des activités

Sur quelles valeurs se base le territoire?

Solidarité, éducation, collective, individuelle, diversité

Perspectives de travail et enjeux pour le projet

- Les conditions créées par cet environnement naturel particulier influencent fortement les vies individuelles et l'organisation sociale de ce territoire, la vie quotidienne et les activités économiques sont dictées par ce milieu.
- Qualifier l'impact de ces facteurs sur les écosystèmes, le paysage et les ressources naturelles.
- En retour, comment les mécanismes sociaux impactent-ils la gestion, l'usage et les représentations de ces paysages par les acteurs du territoire?
- Développer les liens avec l'extérieur du territoire. Qu'est-ce que les individus vont chercher ailleurs qu'ils ne peuvent pas obtenir sur ce territoire? Notamment en terme de dépendance aux écosystèmes?
- Prendre en compte les équilibres/tensions mis en avant au cours de cette session lors de la construction des visions et des trajectoires.

Prochain rendez-vous : Atelier sur les visions d'avenir pour le Pays de la Meije

Constitution d'un groupe de travail où les acteurs locaux et régionaux seront réunis pour mener une réflexion sur les futurs souhaités ou à éviter — Cet atelier aura lieu à l'automne 2017 (début décembre)

Contact : Enora Bruley - enora.bruley@univ-grenoble-alpes.fr 06 75 01 75 87



Annexe C2.5. Elément de contexte des effets du changement climatique présenté lors de la co-construction de vision d'avenir pour 2040.

CE QUI NOUS ATTEND ?

CLIMAT – Affirmation des conditions actuelles :

- Températures : Déjà +2°C en 70ans → entre +1°C et +3°C d'ici 2040
 - Précipitations : Forte variabilité interannuelle, évènements extrêmes plus fréquents
 - Neige : - Baisse de la durée d'enneigement - à 1800m → 1 mois de neige en moins
- Hauteur de neige : jusqu'à -30% de neige au-dessus de 2000m mais présence de neige stable -
Remontée de la limite pluie/neige → +150 à 200m pour 1°C

RISQUES NATURELS :

- Avalanches : Réduction moyenne des avalanches
- Écroulements : Augmentation de la fréquence des risques glacières et chutes de blocs en haute montagnes

DISPONIBILITÉ EN EAU

- Diminution de la disponibilité en eau
- Sécheresses plus fréquentes mais imprévisibles (canicule), augmentation du déficit hydrique

NATURE

- Espèces animales : Modification des cycles de vie (Oiseaux) et des zones de répartitions (Lièvre variable)

Réchauffement favorise certains insectes (criquets) et ravageurs (tordeuse du mélèze)

Evolution incertaine des populations d'ongulés (bouquetin, chamois) due aux variabilités climatiques

- Espèces végétales : Démarrage plus précoce (- 2sem) et allongement de la saison de végétation

Banalisation des espèces dans les zones les plus « chaudes » et rétractation des espèces spécifique dans les zones « froides ».

Remontée des espèces sur les sommets et les parois rocheuses

- Les forêts : Remontée potentielle forte des arbres (30m/10ans, installation de mélèzes sous l'effet combiné de l'extensification et du climat

DEMOGRAPHIE

- Toujours en augmentation – 73M d'habitant en France, PACA + 15%
- Vieillesse de la population

PRESSION SUR LES RESSOURCES

- Eau, neige
- Terres fertiles
- Air pur

Annexe C.2.6. Synthèse présentée lors de la restitution sur le processus de co-construction de vision d'avenir pour 2040 sous forme de posters.



MOUNTAINPATHS – Visions d'avenir pour Le Pays de la Meije 2040

Clé de lecture de la vision :

3 types d'informations sont présentées et représentent les éléments clés de la construction de la vision. Il est à noter que ce travail a été encadré par les effets du changement climatique qui impacteront les territoires de montagne dans les 30 prochaines années (explicités ci-dessous).

- **Les valeurs portées par le territoire en 2040 (encart haut gauche) :** Dans un premier temps nous avons porté les réflexions sur les grandes valeurs qui devraient être portées par ce territoire au regard de celle portées aujourd'hui (+ : les plus importantes, - : les moins importantes, + ou - : plus ou moins importantes selon les participants).
- **La qualité de vie en 2040 (encart bas droite) :** Puis nous nous sommes interrogés sur les critères importants définissant la qualité de vie au Pays de la Meije.
- **Les activités qui façonnent le territoire en 2040 (différentes boîtes) :** Enfin, le cœur de la construction de la vision se trouve dans la réflexion autour des activités économiques, sociales, culturelles, innovantes, que ce soit en lien avec le tourisme, l'agriculture, les milieux naturels, la vie quotidienne, les rapports à l'extérieur du territoire... qui seraient souhaitable de voir se développer à l'horizon 2040.

Et maintenant, comment fait-on pour atteindre cette vision?

Cette vision constitue donc un objectif désirable à atteindre dans le futur. **La prochaine phase qui débutera en mars 2019 a pour objectifs de réfléchir ensemble aux moyens de parvenir à cette vision.** Par le biais d'un jeu sérieux nous allons vous proposer de créer des trajectoires de développement du territoire jusqu'en 2040. Cette démarche nous permettra d'explorer les options et d'identifier les leviers et les freins à l'action pour l'adaptation aux changements à venir. A termes, ces trajectoires seront valorisées en un outil le plus pertinent pour poursuivre les réflexions sur le développement futur du Pays de la Meije.

Précautions de lecture :

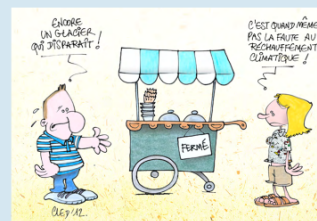
Cette vision est le fruit d'un travail collectif, mais ne représente pas l'ensemble des points de vue des acteurs du territoire. Si de nombreux discours convergent sur la philosophie globale de cette vision, certains aspects sont à nuancer et on note des divergences quant aux activités souhaitées sur le territoire en 2040. Il s'agit notamment de la question des formes du développement touristique (source de développement? infrastructures nécessaires? Quelles propositions faire aux visiteurs?). Mais aussi, de son lien à la volonté forte de diversification de l'agriculture qui pourrait ne pas être suffisante pour maintenir le paysage ouvert et la viabilité des exploitations. **L'enjeu majeur de l'avenir de ce territoire semble être de parvenir à préserver les spécificités du territoire tout en maintenant une économie viable face aux changements à venir et ce, dans un esprit de collectif fort.**

Ce que l'on veut?

- ✓ Garder une identité au travers d'un tourisme doux:
 - Offre touristique axée sur le partage et la formation
 - Développer le tourisme scientifique/ pédagogique
 - Marquer un lien avec les activités agricoles
 - Construire une offre autour des destinations en haute-montagne (cols, refuges, lacs...)
 - Culture/patrimoine
- ✓ Un tourisme 4 saisons, du tourisme résidentiel
- ✓ Un tourisme nécessitant peu d'infrastructures
- « Aménager la tête des gens plutôt que le territoire »
- ✓ Respect des milieux naturels et du paysage

Des points de discussion :

- ✓ Changement climatique : opportunités et contraintes?
Enneigement, air frais, risques, glaciers, allongement saison été
- ✓ Infrastructures : quel niveau nécessaire?
- ✓ Clientèles : répondre à la demande ou proposer une offre différente?
- ✓ Niveau de services résidentiels en adéquation avec les séjours longs?
- ✓ Un projet touristique émanant du collectif?



Et ailleurs? *Zone déconnectée?*

L'innovation, une solution?



La culture dans la montagne?

Folklore? Montée en gamme?

Intégration dans la vision globale :

- ✓ Le tourisme reste le secteur privilégié de développement économique du territoire dans le futur
- ✓ Développement en équilibre avec la qualité de vie des locaux et un paysage préservé
- ✓ Maintien du lien avec la vie locale

Ce que l'on veut?

✓ Multiplication des productions :

➤ Agricoles



➤ Energétiques



➤ Et pourquoi pas



+ Des terrasses en partie maintenues et un paysage qui reste ouvert sur l'adret

- ✓ Transformation et valorisation locales/régionales
- ✓ Circuits courts et réseaux d'échanges
- ✓ Respect de l'environnement et des ressources

Des points de discussion :

- ✓ Changement climatique : opportunités et contraintes?
- ✓ Faisabilité : pour qui? par qui? pour combien?
Où? (« bonnes terres »)
- ✓ Entretien de l'espace : Avenir de la fauche?
Répartition des « bonnes » parcelles?
- ✓ Quelles ressources naturelles pour soutenir ces productions (eau, biodiversité, sols, bois..)?



Et ailleurs? *Autres productions?*

La technologie, une solution?



L'agriculture au service du tourisme?

L'abandon?

Intégration dans la vision globale :

- ✓ Un tissu social et économique autour de la filière agricole
- ✓ Un lien fort avec le tourisme
- ✓ La pluriactivité nécessaire
- ✓ Participe fortement à l'attractivité du paysage

☺ *Envie de participer? Vous pouvez remplir le panier de produits du Pays de la Meije en 2040...*

Ce que l'on veut?

- ✓ Des villages et hameaux vivants 
 - Moins de résidences secondaires
 - Une mobilité facilitée et innovante
 - Valeurs : solidarité, échange, partage
 - Accès au foncier
- ✓ Un territoire dynamique toute l'année
 - Accès au numérique pour le télétravail 
 - Accès à des produits locaux 
 - Accès à la santé 
- ✓ Maintien de l'identité du territoire dans un espace naturel préservé

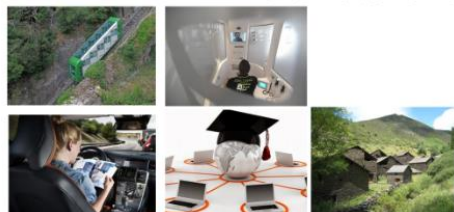
Des points de discussion :

- ✓ Changement climatique : opportunités et contraintes?
Accessibilité facilitée hiver, risques naturels, migration climatique...
- ✓ Quelles conditions de vie nécessaires pour réaliser cette vision?
- ✓ Comment attirer de nouveaux arrivants? Cascade de l'augmentation démographique → niveau de services → vie locale dynamisée?
- ✓ Matérialiser les espaces d'échanges et partage
→ Maison Calm?



Et ailleurs?

Des services dématérialisés?



Nouvelle forme de mobilité?

Exode?

Intégration dans la vision globale:

- ✓ Support des autres activités, source d'innovations sociales
- ✓ Garant de l'identité locale
- ✓ Enjeu du maintien de la qualité de vie : critères socio-économique mais aussi environnementaux
- ✓ Réflexions collectives sur le développement du territoire

☺ Envie de participer? Vous pouvez décrire une journée d'un local au Pays de la Meije en 2040...

Annexe C2.7 : Description du jeu Adapta'Meije

But et déroulement du jeu :

Les joueurs doivent prendre des décisions individuelles et collectives pour maintenir leur présence sur le territoire et atteindre une situation désirable pour 2040 dans un contexte de changements climatiques et socio-économiques. Le jeu s'organise en 5 tours (+ un tour pour expliquer les règles et le déroulement) correspondant à un pas de temps de 4 ans projetant ainsi les participants de 2020 à 2040. Ce jeu a été conçu pour 4 joueurs s'occupant de deux habitants faisant partie d'une famille (peut être doublé jusqu'à huit joueurs avec un habitant par joueurs). Chaque joueur se voit attribuer des activités économiques fournissant des services (agriculteur, hôtelier, guide de montagne, etc.) qu'il pourra faire évoluer au cours de la partie. La dynamique du jeu s'organise autour du flux de visiteurs (correspondant à des touristes et potentiels nouveaux habitants) dont les joueurs doivent satisfaire les besoins afin de maintenir leurs activités sur le territoire. Pour satisfaire les besoins des visiteurs les joueurs peuvent fournir des services en fonction des activités qu'ils exercent (par exemple, un hôtel répond au besoin fondamental de logement). La fourniture de services aux visiteurs rapporte des revenus aux joueurs. Revenus qui servent ensuite à couvrir leurs frais de subsistance, et à développer les activités du joueur ou à financer des projets collectifs (Table 1) ayant des impacts pour l'ensemble des joueurs. Le paramétrage des mécanismes de base du jeu est abstrait. Les coûts, les revenus et les flux de revenus n'ont pas été basés sur des données réelles ou rendus proportionnels à celles-ci, mais conçu pour créer un sentiment de réalisme pour les joueurs. Le fonctionnement du système est altéré par des événements bioclimatiques et socio-économiques qui impactent les activités et les visiteurs (Table 2) auxquels les joueurs doivent s'adapter. Les joueurs ont la possibilité d'agir sur plusieurs paramètres du système via leurs décisions individuelles et collectives. Ils peuvent ainsi développer ou modifier leurs activités pour coller aux besoins de visiteurs ; mettre en place des projets collectifs pour agir sur le nombre de visiteur à chaque tour, atténuer les effets des événements, améliorer l'attractivité du territoire, agir sur le paysage par l'urbanisation ou le maintien des terrasses ; faire appel aux institutions locales ou extérieures pour satisfaire les besoins des visiteurs. L'ensemble des éléments constitutifs du jeu sont présentés ci-dessous.

Chaque tour est organisé comme suit :

1. La dynamique du jeu est bousculée à chaque début de tour par deux événements, l'un socio-économique et l'autre bioclimatique ayant d'importants impacts sur le flux de visiteurs ou les activités des joueurs. Certains projets collectifs peuvent réduire les effets des événements.
2. Arrivée des visiteurs dont le nombre dépend des actions des joueurs au tour précédent. Certains sont visibles d'autres cachés pour représenter l'incertitude des saisons touristiques.
3. Les joueurs adaptent (formations, changements) leurs activités selon leurs souhaits mais surtout selon le nombre et les catégories de besoins des visiteurs.
4. Les joueurs satisfont les besoins des visiteurs avec leurs services, ils peuvent s'organiser comme ils le souhaitent. Si les besoins des visiteurs ne sont pas satisfaits ils ne reviendront pas.
5. Les joueurs récoltent leurs revenus en fonction des services fournis aux visiteurs. Si un joueur n'a pas placé ses services il n'obtient pas de revenu. S'il n'a pas le capital suffisant un prêt peut lui être accordé, si au bout de deux tours il n'est toujours pas en mesure de payer pour maintenir son activité son habitant doit quitter le territoire.
6. Les joueurs peuvent ensuite investir dans les projets collectifs bénéficiant à l'ensemble des joueurs.
7. En fin de tour, le paysage et les conditions de vie évoluent en fonction des projets collectifs mis en place. Le paysage se définit par rapport à l'urbanisation et l'entretien des terrasses agricoles. L'attractivité du paysage augmente ou diminue, le nombre de lits chauds et froids varie. Le nombre de visiteurs au prochain tour est calculé.

Fin du jeu :

Le jeu n'a pas de fin définie du type conditions de victoire. On indiquera les périodes qui passent en fonction de la projection dans le futur souhaitée.

Eléments du jeu (Figure AC1- ci-dessous):

<ul style="list-style-type: none">Le plateau de jeu représente la vallée du Pays de la Meije. Différents éléments du paysage y sont représentés graphiquement : les villages, la haute et moyenne montagne, les terrasses et alpages, la neige et les glaciers. Certains éléments/entités sur lesquels les joueurs peuvent agir au cours de la partie y sont également représentés : le téléphérique, l'office du tourisme, le jardin Alpin, les terrasses (entretenues ou dégradées), la proportion de lits chauds et froids. Sur le plateau est également présent le niveau d'attractivité du territoire qui varie selon l'action de joueurs.
<ul style="list-style-type: none">Cartes "visiteurs" correspondant aux différents types de touristes ayant des besoins spécifiques à chaque catégorie mais également aux potentiels nouveaux arrivants souhaitant s'installer sur le territoire selon certaines conditions.Les trois types de besoins sont adaptés de la pyramide des besoins de Maslow (Maslow, 1943) avec le niveau 1 : besoins de base (logement, restauration), niveau 2 : besoins récréatifs (loisirs) et niveau 3 : besoins de réalisation de soi (activités culturelles).
<ul style="list-style-type: none">Cartes « activités » correspondant aux différents types d'activités présentes sur le territoire et dans la vision. Les activités sont à temps plein ou partiel pour retranscrire la pluriactivité. Seul l'équivalent d'un temps plein est possible par habitant. Chaque activité fournit un type de service correspondant à l'un des 3 niveaux de besoins (e.g. hôtel = niveau 1, moniteur de ski = niveau 2, animateur scientifique = niveau 3).Le set d'activités exercées par les personnages des joueurs est fixé au départ et est le même pour chaque partie.Chaque carte « activité » à un coût de mise en place lorsqu'elle est choisie par un joueur et un coût de maintien qui doit être payé à tous les tours.Les joueurs ont l'occasion de changer ou de faire évoluer leurs activités plusieurs fois au cours de la partie, ils peuvent inventer de nouvelles activités selon leurs souhaits. Une activité peut évoluer par le biais de formations afin de fournir de nouveaux services, le coût de ces formations dépend du niveau de service demandé.
<ul style="list-style-type: none">Cartes "Projet collectif" (Table 2) issus de la vision collective que les joueurs doivent financer pour les mettre en place sur le territoire. Ces projets collectifs peuvent avoir un effet sur le paysage, les conditions de vie, le nombre de visiteurs et sur les impacts des événements climatiques et socio-économiques. Certains projets sont pérennes tout au long de la partie, d'autres doivent être mis en place à chaque tour. Les joueurs peuvent mettre en place de nouveaux projets collectifs.
<ul style="list-style-type: none">"Lits chauds/lits froids" correspondent aux logements des joueurs ainsi qu'au nombre de lits touristiques. L'arrivée d'un nouvel habitant change un lit froid en lit chaud.
<ul style="list-style-type: none">« Terrasses entretenues, dégradées » correspondant à l'état des terrasses dans le paysage. Elles sont gérées par les éleveurs, si des activités d'éleveurs sont présents sur le territoire alors elles sont entretenues mais peuvent subir l'effet des sécheresses et campagnols. Si les éleveurs disparaissent du territoire alors elles se dégradent et les habitants peuvent faire appel à une aide extérieure pour les entretenir.
<ul style="list-style-type: none">"Événements bioclimatiques" (Table 1) impactant certains éléments du jeu (nombre arrivants, activités). Ils ont été choisis pour inclure certains effets du changement

<p>climatique en montagne. Ils concernent : les espèces envahissantes, la variabilité climatique (température/précipitation), les risques, les changements dans la faune.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • "Evénements socio-économiques" (Table 1) impactant certains éléments du jeu (nombres arrivants, économies, activités). Ils ont été choisis comme exemple de différents facteurs de changements : institutionnels, sociétaux, économiques, démographique et technologique. Ils suivent deux scénarios, l'un prolongeant la trajectoire actuelle et l'autre prônant un développement local.
<ul style="list-style-type: none"> • Nouvel habitant parmi les visiteurs correspondant à des individus cherchant à s'établir dans le territoire. Il peut s'agir d'un professionnel en quête d'un lieu d'établissement. Le joueur qui aide le nouvel arrivant à s'installer (en achetant un logement ou en mettant un à disposition) récupère l'arrivant dans sa famille. Si c'est une œuvre collective, le joueur est joué collectivement. Il peut aussi s'agir d'un migrant d'aménité qui, si tous ses besoins sont satisfaits, s'installe dans le village. Ces besoins deviennent permanents à chaque tour.
<ul style="list-style-type: none"> • Le téléphérique : Le téléphérique permet de satisfaire jusqu'à 3 services récréatifs (niveau 2) en plus des activités des joueurs (donc 6€ max). A l'étape des projets collectifs, la moitié (arrondi au supérieur) est disponible pour financer des projets.
<ul style="list-style-type: none"> • Le jardin Alpin : Le jardin alpin permet de fournir deux services de réalisation de soi (niveau 3). Si aucun service n'est fourni par le jardin Alpin, un malus de -1 en attractivité est appliqué. Lorsque deux services sont fournis, l'attractivité est augmentée de +1.
<ul style="list-style-type: none"> • L'office du tourisme : Il peut être utilisé lors de la phase des projets collectifs soit pour faire de la communication (1€) et ajouter 1 visiteurs au tour suivant, soit une étude de marché (1€) pour connaître le type de visiteurs du tour suivant.
<ul style="list-style-type: none"> • Echelle d'attractivité : L'attractivité du territoire influence de nombre de visiteurs, elle dépend de l'état du paysage et de la fréquentation. Si trop de terrasses sont dégradées ou que le nombre de visiteurs dépasse 8 par tour le territoire baisse en attractivité. De plus un point d'attractivité est perdu par tour du fait de la concurrence des autres stations. Les projets collectifs peuvent augmenter cette attractivité.
<ul style="list-style-type: none"> • De l'argent sous formes de pièces
<ul style="list-style-type: none"> • Des pions pour symboliser les services rendus par les joueurs et les institutions locales

Table 1. Evènements bioclimatiques et socio-économiques affectant la dynamique du jeu à chaque début de tour et leurs effets sur les éléments du jeu.

Tours	Evènements bioclimatiques		Evènements socio-économiques (Scenario BAU)		Evènements socio-économiques (Scenario vert)	
	1	Boom des campagnols	Dégrade 3 terrasses	Fin de la PAC	Les agriculteurs perdent leur subvention (1€/tour)	PAC verte
2	Vague de chaleur	Plus 1 visiteur Les éleveurs doivent acheter du fourrage pour 1€	Les chinois sont fous du Lautaret	Plus 2 visiteurs 2€ disponibles pour un projet collectif de tourisme de masse	Subvention pour les projets locaux	2 € disponibles pour des projets locaux 1 maraicher cherche à s'installer
3	Fortes précipitations : excellente neige et coulée de boue	Plus 1 visiteur Une activité est aléatoirement touchée et doit se reconstruire	Flambée des prix de l'essence	Le nombre de visiteurs de chaque tour est divisé par deux Plus 1 visiteur si les projets hydroélectricité ou mobilité verte sont mis en place	Flambée des prix de l'essence	Le nombre de visiteurs de chaque tour est divisé par deux Plus 1 visiteur si les projets hydroélectricité ou mobilité verte sont mis en place
4	Glissement de terrain, route bloquée	Moins 3 visiteurs	Arrivée d'un migrant d'aménité	Plus 1 migrant d'aménité dans les visiteurs	Arrivée d'un nouvel agriculteur	Plus 1 agriculteur dans les visiteurs
5	Les loups prospèrent	Plus 1 visiteur Un éleveur perd 1€	Développement du E-sport	Les activités de loisirs doivent être améliorées ou disparaître.	Développement de la réalité virtuelle	Les activités de loisirs doivent produire un service de niveau 3 ou disparaître

Table 2. Projets collectifs proposés aux joueurs, leurs coûts de mise en place et leurs effets sur les éléments du jeu.

Projets collectifs	Coût/tour	Effet
Transmettre la culture de montagne	2 €	+1 en attractivité
Agriculteur de terrasses	2 €	Peut entretenir 4 terrasses
Etude climatique	1 €	Rend visible l'évènement biophysique un tour à l'avance.
Etude sociologique	1 €	Rend visible l'évènement social un tour à l'avance.
Magasin de produits locaux	2 €	+1 en attractivité. Les agriculteurs produisent un service de plus.
Espace de coworking	2 €	+1 en attractivité + 1 migrant d'aménité
Transport public renforcé	2 €	+1 arrivant
Navette inter-villages	2 €	+1 en attractivité
Usine hydroélectrique	1 x 5 €	2€ par tour pendant 4 tours
Extension du téléphérique	1 x 5 €	+5 Arrivants

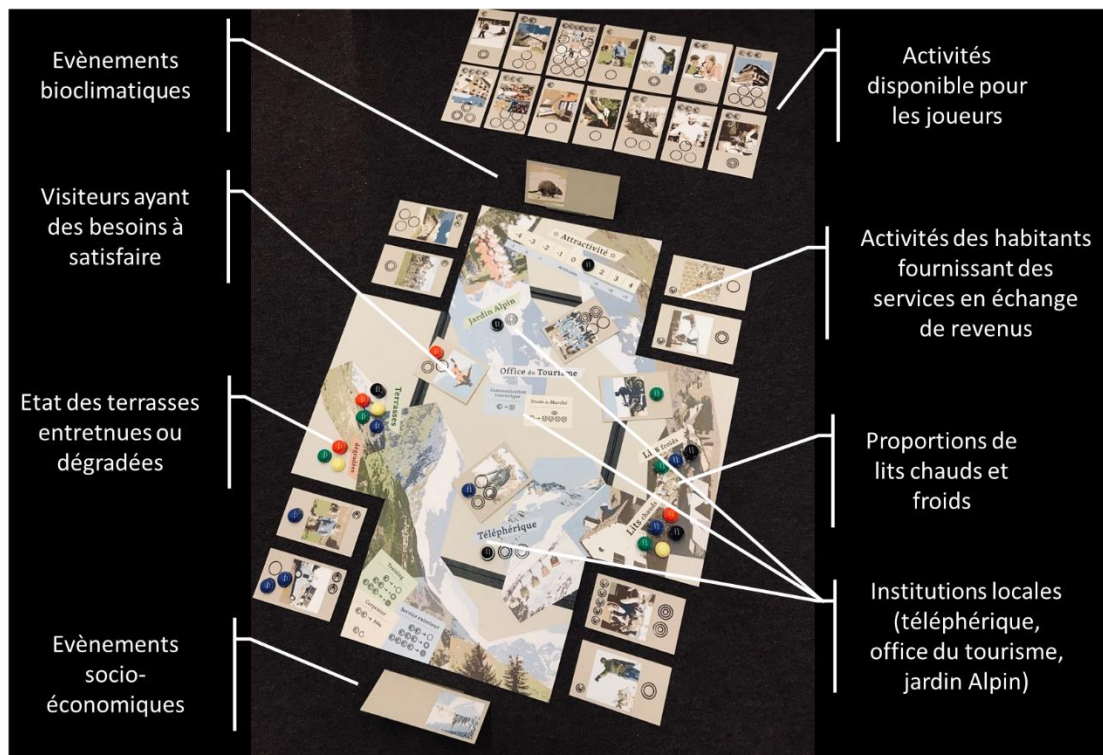


Figure AC1 : Illustration du plateau de jeu pendant une partie montrant les principaux éléments du jeu.

CHAPITRE 3

CO-PRODUCTION PAR L'HOMME ET LA NATURE DE LA QUALITE DE VIE A PARTIR D'UN PAYSAGE MULTIFONCTIONNEL



Aquarelle – « La Verte sous l'Aiguille verte, vallée de Chamonix » – Henri PROST – 1980

Avant d'explorer les dynamiques adaptatives du socio-écosystème il était tout d'abord nécessaire d'obtenir une compréhension systémique des interactions homme-nature qui le caractérise à l'heure actuelle. Le travail présenté dans ce chapitre avait donc pour objectif de tester l'approche de la co-production des NCP au sein du cadre conceptuel proposé par l'IPBES en se basant sur la perception des acteurs sur les contributions de la nature à leur qualité de vie et des facteurs (humains et naturels) qui influencent ces interactions. Il visait notamment à obtenir une compréhension plus approfondie de l'implication humaine dans la co-production de NCP. Cette analyse a permis in fine de mieux appréhender les mécanismes d'adaptation basés sur les écosystèmes impliquant de nombreuses actions de co-production de NCP.

Dans ce chapitre, nous nous sommes particulièrement interrogés sur :

- Quelles sont les principales contributions de la nature à une bonne qualité de vie dans ce socio-écosystème de montagne ?
- Comment les NCP et leurs bénéfices pour la qualité de vie sont-ils co-produits ?
- Quels capitaux anthropiques sont impliqués dans la co-production NCP pour la qualité de vie ?
- Comment l'analyse de la co-production NCP peut offrir de nouvelles possibilités d'évaluation des services écosystémiques, notamment par le biais du cadre conceptuel de l'IPBES ?

Ce chapitre est présenté sous la forme d'un article tel qu'il a été soumis pour le journal *Ecology and society*, lequel a été accepté et publié :

Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2021). *Nature's contributions to people: Co-producing quality of life from multifunctional landscapes*. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112>

Nature's contributions to people: Co-producing quality of life from multifunctional landscapes

Submitted to *Ecology and Society*: Accepted

Enora Bruley¹, Bruno Locatelli^{2,3}, Sandra Lavorel¹

¹ Laboratoire d'Ecologie Alpine, CNRS – Université Grenoble Alpes – Université Savoie Mont-Blanc, 38000 Grenoble, France

² Cirad, University of Montpellier, Montpellier 34398, France

³ Cifor, Lima 15024, Peru

ABSTRACT

Nature's contributions to human well-being within social–ecological systems have been widely studied using multiple conceptual frameworks, yet there is a growing need to better articulate how both humans and nature contribute to quality of life. We present an operationalization of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) conceptual framework with an in-depth analysis of the co-production of nature's contributions to people (NCP) in a mountain social–ecological system. Based on a participatory process questioning stakeholders on nature's contributions to their quality of life, we propose an analysis of NCP co-production mechanisms in a multifunctional landscape. We refine the consideration of NCP co-production in the IPBES framework by distinguishing three co-production types at different steps of the benefits flow from ecosystems to quality of life: (1) ecosystem management; (2) mobilization, harvesting and physical access; and (3) appropriation, social access, and appreciation. For each of these we describe the types of natural and human-derived capital involved. This approach highlights: (i) nature's key contributions to people as perceived by participants; (ii) landscape multifunctionality and interlinkages between NCP induced by their simultaneous co-production to improve quality of life; and (iii) a gradient of natural and human-derived capital between co-production types and between material, nonmaterial and regulating NCP. This approach documents (iv) how NCP co-production creates social–ecological trade-offs and synergies between multiple NCP, but also (v) collaborations and conflicts between beneficiaries at the landscape level. We conclude that the analysis of NCP co-production can provide new opportunities for ecosystem services research by tackling the involvement both humans and nature in quality of life objectives.

Key words: agriculture; co-production; ecosystem services; landscape; mountain; quality of life; social–ecological system

INTRODUCTION

Understanding complex interactions between nature and society is still a challenge as regards informing sustainable development (Mace et al. 2015). Multiple social–ecological approaches and conceptual frameworks have blossomed over the past two decades (Berkes Fikret et al. 2003; Liu et al. 2007; Ostrom 2009; Collins et al. 2011; Binder et al. 2013). They depict the interlinkages between the social and natural processes that drive the delivery of benefits from nature to people and underpin the functioning of social–ecological systems (MEA 2005; Reyers et al. 2013; Ellis et al. 2019). An example is the conceptual framework of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (Díaz et al. 2015), which divides social–ecological systems into six main components (nature, nature contributions to people or NCP, good quality of life, anthropogenic assets, direct drivers of change, and indirect drivers of change) and ten interactions. Similar to ecosystem services, NCP are defined as “all the contributions, both positive and negative, of living nature (diversity of organisms, ecosystems, and their associated ecological and evolutionary processes) to people’s quality of life (Díaz et al. 2018).

In the IPBES framework, good quality of life is the accomplishment of a “fulfilled human life” (Díaz et al. 2015) and encompasses individual aspirations of access to food, water, health, education, and livelihood security; social goals of diversity of options, environmental justice, and intra- and intergenerational equity; and cultural dimensions of identity and autonomy, spirituality and religions, and arts and cultural heritage (Pascual et al. 2017). Nature refers to the diversity of living organisms and their interactions among themselves and with their environment (Díaz et al. 2015). Nature contributes to quality of life through material, nonmaterial and regulating NCP (Díaz et al. 2018), which are affected by natural or anthropogenic direct drivers. Natural direct drivers are natural processes linked to climate or disturbances that are not directly human activities, such as extreme rainfall or pest outbreaks that will directly impact agricultural productivity. Anthropogenic direct drivers are those resulting from human decisions and actions, such as pollution, climate change and ecosystem restoration. Indirect drivers are related to changes that are external to the social–ecological system, such as economic, demographic, cultural or lifestyle changes (Martín-López et al. 2019), for example consumption patterns and markets that influence demand for NCP. Institutions and governance are also considered as indirect drivers of how decisions are made and implemented, and of how people and societies organize themselves and their interactions with nature (Díaz et al. 2015), for example public policies relating to land use and management. Finally, anthropogenic assets represent all infrastructures, financial assets, knowledge and skills, technologies involved in the co-production of NCP.

Since the Millennium Ecosystem Assessment (2005), the co-production of ecosystem services by people and nature has indeed gained stronger recognition (Mastrángelo et al. 2019). The IPBES framework brings to the fore the role of humans in the provision of NCP by recognizing the role of anthropogenic assets in good quality of life through the co-production of benefits between nature and various assets built by people (Díaz et al. 2015). Whereas ecosystem services are often treated in scientific analyses and common discourse as a “free gift of nature” (Spangenberg et al. 2014), they are actually most of the time jointly produced by social–ecological processes and require human intervention to deliver a benefit, a process referred to as co-production (Palomo et al. 2016). While ecological factors that drive service provision have been addressed extensively, the assessment of human factors has remained more marginal (Mastrángelo et al. 2019), yet is critical to understanding complex social–ecological systems. This notion of co-production has

been integrated into recent social–ecological frameworks (Reyers et al. 2013; Lele et al. 2015) and various approaches to co-production have been proposed: Spangenberg et al. (2014) conceptualized how human agency shapes ecosystem services provision along the ecosystem services flow from ecosystems to human well-being and Fischer and Eastwood (2016) proposed an analytical framework for the role of humans in the generation of ecosystem services focusing on people’s identities and capabilities. Meanwhile, analytical approaches to co-production have been developed and applied to exemplary case studies. For example, Jones et al. (2016) and Palomo et al. (2016) proposed to analyze the natural and human-derived capital involved in the ecosystem services delivery flow, thereby highlighting trade-offs among natural and human-derived capital along gradients of management intensification (Outeiro et al. 2017). Fedele et al. (2017), characterized the mechanisms mediating the contribution of ecosystem services to human well-being along the ecosystem services benefits flow: management, mobilization, allocation–appropriation, and appreciation.

To date, the notion of co-production of NCP has been under-developed in IPBES reports and in papers using its framework (e.g. IPBES 2019, Martín-López et al. 2019), and the priority question of how ecosystem services are co-produced by social–ecological systems (Bennett et al. 2015) still stands out as a knowledge gap (Mastrángelo et al. 2019). Thus, while co-production is at the core of frameworks such as that of IPBES, co-production mechanisms need to be analyzed more explicitly by considering human inputs at all steps of benefit production from ecosystems to NCP and quality of life. In this paper we address this gap by applying the IPBES framework with a focus on co-production mechanisms underpinning NCP. In a mountain social–ecological system of the French Alps, we aimed to understand the human–nature interactions that make up the local social–ecological system. We used the IPBES framework to guide a participatory process, and as an analytical framework to identify nature’s contributions to good quality of life and the drivers that shape the interactions perceived by stakeholders. In the following, we present how this led us to enhancing the representation of NCP co-production within the IPBES framework for analyzing human-derived capital involved at different steps along the flow of NCP from ecosystems to people. With this novel specification of co-production, we asked four questions. (1) What are the key contributions of nature to good quality of life in this mountain social–ecological system? (2) How are NCP and benefits for quality of life co-produced? (3) What human-derived capital is involved in NCP's co-production for quality of life? (4) How can the analysis of NCP co-production provide new opportunities for ecosystem services assessment, particularly through the IPBES conceptual framework?

METHODS

1. Case study description

In the central French Alps, Pays de la Meije, located at the head of the Romanche Valley, is a remote valley with an area of 205 km² at an altitude varying between 1135 and 3984 m. The climate is alpine with Mediterranean influences (mean minimum temperature -7.4 °C [February], mean maximum temperature 19.5 °C [July]; mean annual precipitation 956 mm with 60% as winter snowfall; growing season: mid-April to mid-October (Quétier et al. 2007)). South-facing slopes are dominated by terraced grasslands and summer pastures shaped since the late Middle Ages by traditional farming, with livestock production as a predominant activity since the early 20th century. Mowing and grazing maintain a grassy landscape with terraces as a legacy (Quétier et al. 2007). North-facing slopes are characterized by steeper slopes covered by forest below 2200m and sparse vegetation, rocks and ice at higher altitude that are mainly included in the core area of the Ecrins National Park and in a skiing area (Figure 1 and Table A1.1).

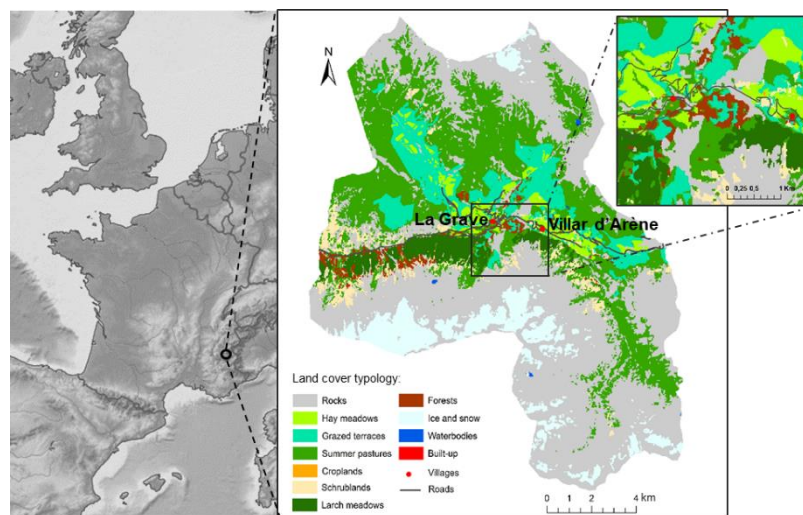


Figure 1. Map of the study area and land cover typology.

With two municipalities, La Grave (484 inhabitants) and Villar d'Arène (322 inhabitants) (INSEE, 2016), Pays de la Meije has a low-density population (less than 5 inhabitants/km²), stable and concentrated in two villages and seven hamlets with numerous secondary and touristic residences (~60% of the accommodation capacity). The local economy is based on tourism linked to mountain sports such as off-track skiing, hiking, climbing, and road- and mountain-biking, and to cultural tourism. The three main tourism attractions are the cable-car of La Grave, the Ecrins National Park and the Lautaret Alpine botanical garden. Tourism is also an essential component of the local economy as it provides off-farm jobs and income (Schermer et al. 2016). Agriculture is still important for the local economy with a traditional mountain livestock farming system based on fodder self-sufficiency and summer transhumance (Schermer et al. 2016). The region is currently experiencing new agricultural dynamics with the installation of young farmers in livestock production or market gardening. Local life is also highly dependent on surrounding regions, particularly in terms of jobs (in nearby ski resorts) and residential services (education, health, retail). Local governance is mainly organized at municipality level, but as elsewhere in France, it is increasingly devolved to councils of municipalities, here the "Communauté de Communes du Briançonnais" (13 municipalities, 20,987 inhabitants and 844 km²).

2. Data collection

To elicit actors' perceptions of their interactions with nature, we applied a three-step participatory process: first to discuss quality of life and describe human–nature interactions in general, second to refine the description of individual and collective quality of life dimensions, and third to confirm the overall understanding of the social–ecological system that had emerged from the first two steps. In order to capture stakeholders' perceptions and to avoid influencing their thinking, we did not introduce any conceptual framework or scientific terminology to the participatory activities. For example, we did not use terms such as ecosystem services or nature benefits, nor present a predefined list of NCP. However, we used the term “nature’s contribution to ...” by specifying the purpose of the contribution, using phrases such as: “nature’s contribution to quality of life, daily life or economic activities”, and the “interactions with landscapes or elements of nature”. Consistent with the principles of our participatory method, we did not analyze the detrimental effects of nature on people because they were not brought to the discussion by stakeholders.

The participatory process involved 35 stakeholders from nine groups: tourism professionals (12); other professionals (2); students (3); farmers and other agricultural stakeholders (2); representatives of local and regional institutions (4); local elected representatives (3); representatives of nature conservation organizations (4); regional experts (expertise in natural risks, agriculture, climate and tourism) (4); second-home owners (1) (see description in Table A1.2). We considered as stakeholders the individuals that live and/or work in/on the case study area. Voluntary participants were invited from a list of stakeholders involved in previous studies (Lamarque et al. 2011, Lavorel et al. 2019, Bally et al. 2020), complemented with respondents from a questionnaire-based stakeholder analysis, snowball sampling and open invitations disseminated to local municipalities and tourism offices.

We implemented a three-phase participatory process in order to capture perceptions of NCP and natural and human factors involved in their production. First, two workshops were organized, separating local stakeholders (nine people for a half-day) and regional experts (11 people, one full day) to facilitate free speech and avoid power issues. Then, 12 semi-structured interviews (from one to two hours) were conducted with additional stakeholders selected for their knowledge and experience of local issues. A final feedback workshop was organized during a half-day with seven local stakeholders (including five who had already participated). During the first two workshops, participants were encouraged to (1) identify nature’s contributions to local quality of life and to economic activities in the area, (2) reflect on the factors driving directly or indirectly human–nature interactions that lead to NCP, such as social organization, policies, knowledge and technologies, land use, or natural drivers, (3) reflect on specific local issues linked to these interactions. During the first workshop, participants suggested to frame their interactions with nature along three main quality of life dimensions (habitability, attractiveness, and rurality, as described below) rather than specific indicators of human well-being. These were confirmed and approved at the start of the second workshop. During post workshops interviews, to complement data on these three main dimensions of quality of life and on related human–nature interactions, informants were questioned about the benefits, beneficiaries, and influencing factors of their activities in relation to nature. Finally, during a last workshop, we presented our understanding of the social–ecological system and highlighted the main NCP and the natural and human factors

related to the three dimensions of quality of life. Participants were invited to correct, discuss, or complete the proposed representation.

3. Data analysis

First, workshop and interview materials were analyzed using a deductive approach and classified according to the six IPBES framework components (Figure 2) and according to the IPBES NCP classification. This first analysis led to separating the descriptions of human–nature interactions according to three dimensions of quality of life that stakeholders considered important. Stakeholders referred to nature in different terms, including land uses, ecosystems, and landscape units. We grouped them into 10 elements: five agricultural (summer pastures, hay meadows, larch meadows, grazed terraces, croplands), three natural (waterbodies, forest, scrublands) and two abiotic (built-up areas, rocks and ice) (Tabla A1.1).

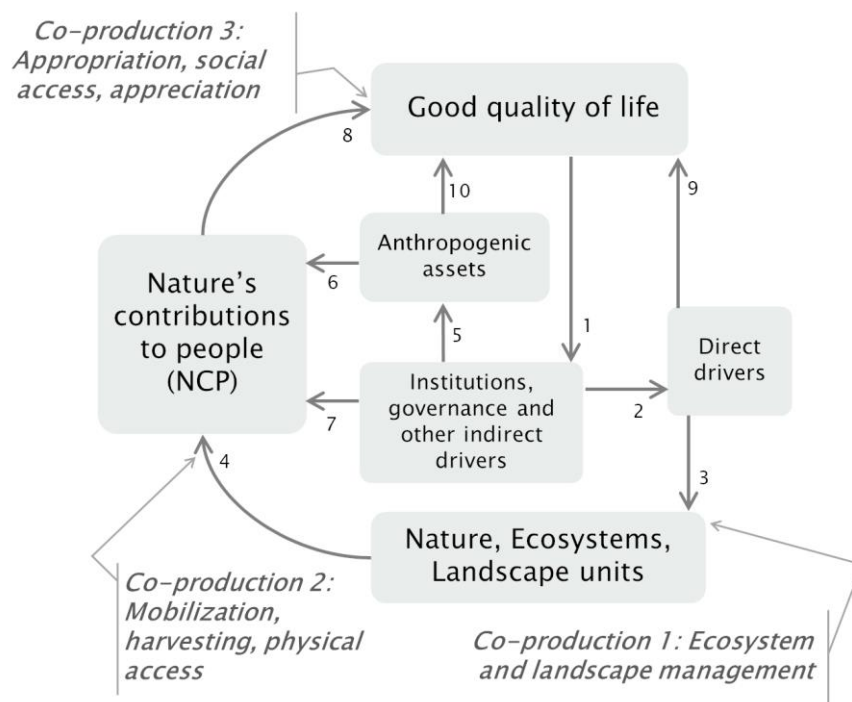


Figure 2. IPBES conceptual framework revisited from Diaz et al. (2015), including the three types of co-production. Boxes represent the social–ecological system components and numbered arrows their relationships.

Second, we built from our data a matrix of benefit flows, i.e. the contributions of each landscape unit to NCP and of each NCP to the dimensions of quality of life, by assigning a score between 0 and 3, based on the strength of each contribution revealed by the discussions among stakeholders. This matrix was used to draw a Sankey diagram using the networkD3 function of R (Gandrud et al. 2016). The diagram shows the flows from landscape units to NCP and from NCP to quality of life as presented in Figure 3.

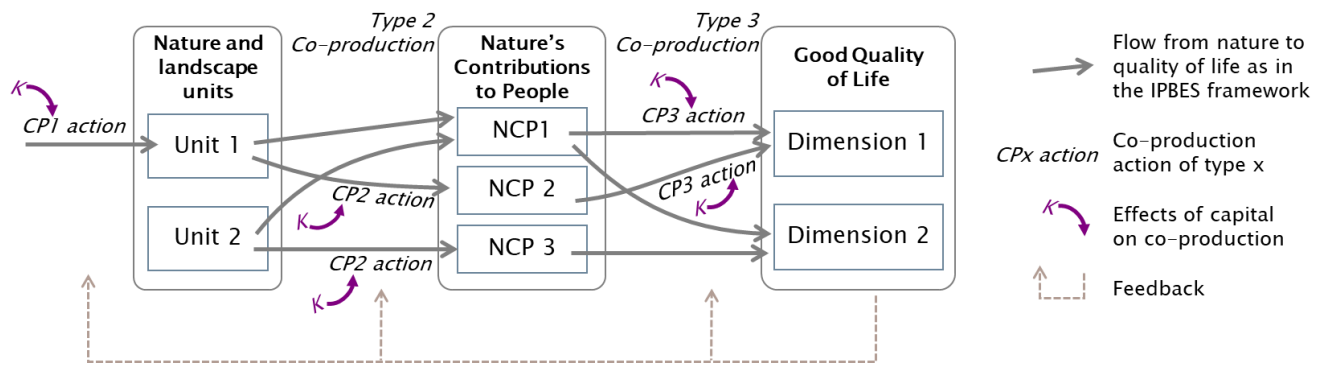


Figure 3. NCP co-production framework, showing how co-production acts on the flows of benefits from nature to quality of life through NCP (gray arrows). The flow may require (although not always) human interventions as co-production actions (CP1-3 actions), which depend on the availability of capital (K). Although not detailed in this study, there are feedback loops from quality of life to co-production actions.

To address the limitations of the IPBES framework for analyzing co-production, we complemented it with three types of co-production in the NCP flow, based on existing literature (Haines-Young and Potschin 2010; Schneider and Rist 2014; Spangenberg et al. 2014; Fedele et al. 2017; Lavorel et al. 2019). First, co-production type 1 (CP1) acts at the level of ecosystem and landscape management (arrow 3 in Figure 2) and includes intentional (or sometimes unintentional) changes in the ecosystem in order to obtain benefits such as fertilizing for fodder production or planting protection forest to reduce disaster risk. Co-production type 2 (CP2) encompasses the mobilization, harvesting, and physical access needed to obtain NCP (arrow 4 in Figure 2), such as harvesting natural products, mowing pastures, visiting a scenic place, or building infrastructure for water transportation. Co-production type 3 (CP3) is related to how NCP benefit to people's well-being through appropriation, appreciation, and social access (arrow 8 in Figure 2), such as enjoying a beautiful landscape, buying dairy products, enriching one's identity based on natural elements, or recognizing protection against risk. The IPBES framework and the NCP co-production types were applied for analyzing the data collected from stakeholders.

Lastly, to characterize the three types of co-production mechanisms we first determined the co-production actions based on the nature-related activities identified by participants (CP1_3 actions in Figure 3). Only co-production actions perceived by stakeholders were considered. Some flows take place without recognized co-production actions, either because they have not been identified by participants or because the benefits do not require human actions. We then described the four forms of human-derived capital (Palomo et al. 2016; Jones et al. 2016) involved in the co-production actions of each NCP (K in Figure 3). Therein we specified human-derived capital considered in the IPBES conceptual framework as anthropogenic assets and institutions and governance. Human capital (HC) refers to the productive capacity of individuals and is characterized by people's knowledge, skills, education, and health status as well as motivations, beliefs, and behavioral habits. Social capital (SC) consists of all the social relations available to a person associated with the formal and informal networks, trust, shared values and norms required to improve societal interactions in and between groups of individuals. Manufactured capital (MC) comprises physical assets, such as roads, vehicles, buildings, machinery, tools, seeds, etc., which support the production process of goods and services. Financial capital (FC) includes money, savings, credits, and subsidies that enable interactions between other forms of capital necessary for the production, management or improvement of NCP. We assigned capital to co-

production actions based not only on the factors identified by the participants but also on our knowledge of the social–ecological system. We then classified them into the four types of capital.

RESULTS

The Sankey diagram in Figure 4 summarizes the links between nature or landscape units, NCP and quality of life perceived by stakeholders, and is a representation of their understanding of the social–ecological system. In the following we first describe the three aggregated quality of life dimensions emerging from our analysis (right-hand side of Figure 4), followed by groups of NCP associated with each of them (center of Figure 4). We then focus on NCP contributions to quality of life, then the contributions of nature or landscape units to these NCP (left-hand side of Figure 4) and end with the description of mechanisms and human-derived capital associated to each of the three co-production types.

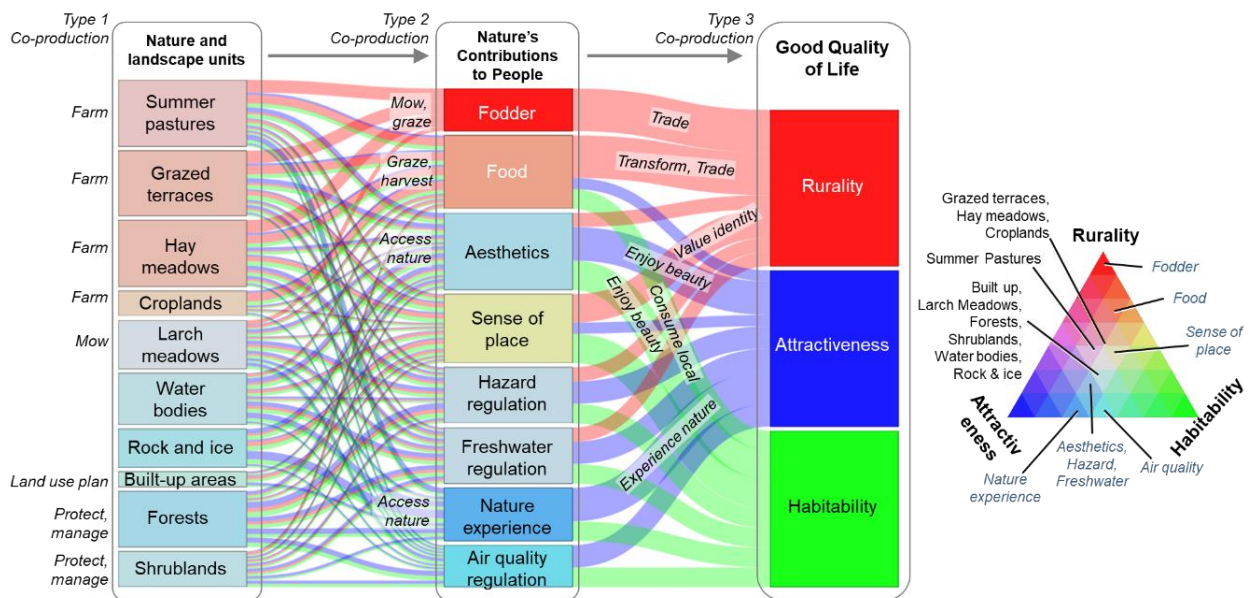


Figure 4. Sankey diagram presenting the contributions of nature and landscape units to NCP and to quality of life dimensions. Each dimension of quality of life is associated with a primary color (red for rurality, blue for attractiveness, and green for habitability). The color of each box is a mix of the primary colors, depending on how the element contributes to the three dimensions (for example, a reddish box contributes mostly to rurality). The triangle on the right helps in visualizing the color mixes for each element. Co-production actions perceived by stakeholders are shown in italics to the left of the boxes or on the links between boxes.

1. Dimensions of good quality of life

Stakeholders structured their descriptions of the mountain social–ecological system and human–nature interactions around three dimensions of quality of life, which are associated with archetypes of local livelihoods or ways of life (i.e., typical patterns by which all local livelihoods or ways of life are represented or combined). Even though these three dimensions were used as an analytical lens to separate parts of the social–ecological systems, we recognized that they are

connected (i.e. one dimension may affect another in the life of a stakeholder) and mixed (i.e. the quality of life of a local stakeholder often combines the three dimensions).

'Rurality' (red in Figure 4) was linked to the maintenance of traditional agricultural practices (mowing and grazing) and rural life in the region. According to stakeholders, rural life and dynamics that maintained open landscapes depend on farm livelihood with a critical role of off-farm jobs to maintain income during winter. Stakeholders welcomed the settlement of new farmers but were concerned that they may stop traditional mowing practices because of their higher costs compared with external fodder purchase.

I have helped new farmers settle in but the problem is that they do not want to mow the land they have been allocated... so I am worried about the future of mowing and terraces... the decrease in mowing practices will have an impact on the environment and the quality of the flora. (Male farmer)

'Habitability' (green in Figure 4) in stakeholder discourses referred to how people construct a living space by interacting with nature and society through material or immaterial process. Thus, the wild landscape, and natural and cultural heritage mostly linked to agriculture and mountain outdoor activities were cited as key elements of people's attachment to this region. Harsh climatic and topographical conditions were perceived as constraining but also as the origin of social cohesion.

In the enthusiasm for the region we find all the elements of nature that create attachment to it. (Male second-home owner.)

'Attractiveness' (blue in Figure 4) was linked to the importance of tourism for the region, requiring this area to be attractive for visitors. Landscape was presented by stakeholders as the support of this attractiveness as it is a major strength and a touristic resource of the area, with a wild aspect on north-facing slopes and managed grasslands on south-facing slopes. This dimension overlapped with the other two because of tourism's central role in the local economy, on which most jobs depend and that sets the pace for all the local life.

2. Nature's contributions to good quality of life

Stakeholders perceived multiple contributions of nature to their daily life, economic activities or good quality of life (Figure 4, middle column and Figure 5; for a full description see Table A1.3). The main NCP cited by the stakeholders were nonmaterial with aesthetic enjoyment, experiences of nature (education, information, inspiration, self-development) in relation to tourism and leisure activities (healing, relaxation, recreation, leisure, tourism, aesthetic enjoyment), along with a strong sense of place (religious, spiritual and social cohesion, sense of place, belonging linked to heritage of mountain culture, and traditional dishes). Material NCP such as food and feed productions (fodder, pasture, crops, production of food from domestic animals, production of feed for animals, production of plants, dairy products, honey, and gardening production) were also prominently cited. Stakeholders also mentioned regulating NCP, such as regulation of hazards (floods, rock falls, avalanches, landslides and erosion), water and air quality (air depollution,

water quality for drinking, water quality for recreational activities in lakes and rivers), but less frequently than other NCP and not always linking them explicitly to ecological functions.

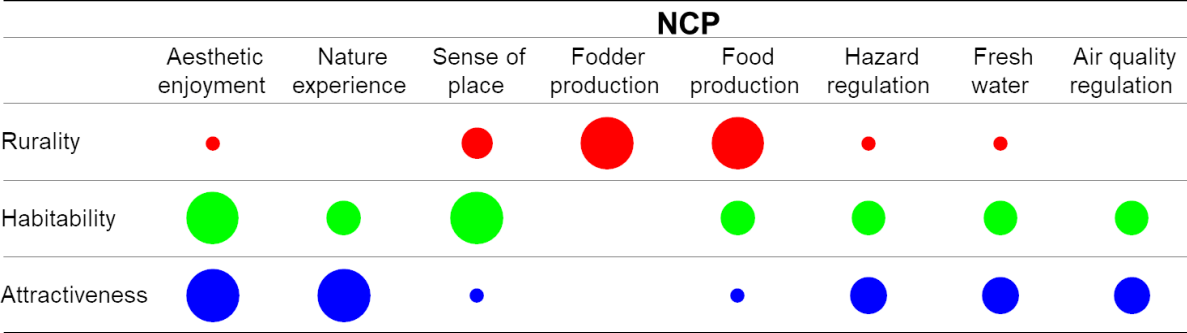


Figure 5. Contribution of NCP to the three dimensions of good quality of life according to stakeholder perceptions (blank: not cited; small circle: low contribution; medium circle: average contribution; large circle: high contribution).

According to stakeholders, individual NCP contributed differently to the three dimensions of good quality of life (Figure 4), forming bundles that sometimes include the same NCP. Rurality was understood as dependent mainly on material NCP of fodder production (quality, quantity, resilience), which supports heifer production at the core of the traditional agricultural economy, and, more anecdotally, primary production (meat, dairy and wool), which is enjoyed by both locals and visitors. Rurality was also associated with regulating NCP, such as soil erosion reduction, water regulation and nutrient cycling, which contribute directly to fodder quality and quantity and reduce production risks, for example in case of droughts.

Stakeholders emphasized the contribution of nonmaterial NCP to both habitability and attractiveness due to the anchoring of local life in nature activities. Aesthetic enjoyment and all nature experiences such as outdoor recreational and leisure activities (hiking, climbing, walking, hunting, cycling, etc.) were shared by most locals and visitors.

Here, it is a necessity to practice mountain activities, that’s all there is to do here! We use the mountains for sport... and in search of wilderness. (Male teenager)

Stakeholders also highlighted the potential of the landscape for education and learning based on natural elements such as plants and animals that are key to attracting visitors to the national park. Alpine biodiversity has been used for a long time in traditional cuisine and is also part of the botanical garden collection. Finally, mountain ecosystems enhance spirituality, art creation, and emotional experiences according to stakeholders.

It is a grandiose landscape, romantic, with incredible nature. There is a mystical character to the place. As you can see there is a rich cultural and religious heritage, such as the contemporary music festival located here. (Male second-home owner)

Besides, regulating NCP were also considered important regarding habitability and attractiveness, as water and air quality regulation contributes to nature enjoyment and is valuable to locals and visitors. As in all mountain areas, regulation of hazards and extreme events was recognized by stakeholders as critical NCP for reducing the vulnerability of people and infrastructure.

Sense of place was highly prominent in discourses and, according to stakeholders, contributed to the three dimensions of good quality of life. Indeed, they related sense of place both to the maintenance of traditional agricultural practices as a heritage factor and to the creation of the strong local identity, which is a strong motivation for long-term and new residents to live as and where they live and is appreciated by visitors.

The local identity is strongly linked to the environment, especially to the agricultural practices that maintain this open and unique landscape. (Female hotel keeper)

3. Landscape units producing NCP

Stakeholders reported that all landscape units contributed to the three dimensions of good quality of life through NCP, albeit to different extents. The contribution of landscape units to habitability was similar to their contribution to attractiveness, as locals and tourists benefit from landscapes in a similar manner (Figure 4, triangle on the right, where most landscape units are at the same distance from the two bottom vertices). Two clusters of landscape units can be distinguished according to their contributions to rurality (see five top and six bottom boxes with different colors in the left column of Figure 4): one cluster with higher contributions prevailing on south-facing slopes and at the valley bottom (grazed terraces, hay meadows, croplands and summer pastures) and the other cluster with lower contributions prevailing on north-facing slopes (larch meadows, forests, shrublands, water bodies, rocks and ice and built-up areas). Indeed, stakeholders perceived that agricultural ecosystems do not only contribute to material NCP but also to nonmaterial NCP such as aesthetics and sense of place. Nevertheless, the two clusters are close to each other and in the middle of the colored triangle (Figure 4). Thus, individual landscape elements contribute to a mix of dimensions of good quality of life, which reveals the multifunctionality of the landscape. This multifunctionality is not only the result of the diversity of landscape units (Figure 1), it also occurs within each landscape element.

Lastly, built-up areas and rocks and ice landscape units, which are not biotic elements, were considered by stakeholders to be involved in NCP co-production. For example, all landscape units, including rocks, ice, and traditional villages and hamlets were seen to contribute to aesthetic enjoyment and nature experiences, and above all to sense of place.

4. NCP co-production in the social-ecological system

The co-production mechanisms of ecosystem management (CP1), associated with maintaining rurality, encompass agricultural practices such as the management of hay meadows, pastures, mountain pastures as well as crops for production of food and feed. For example, organic fertilization with manure from winter stables or sowing and ploughing fields are important practices. Agricultural practices also contribute to the sense of place within NCP by maintaining traditional practices and landscapes. Grassland and crop primary production, mostly fodder and potatoes, are then mobilized (CP2) through mowing, grazing by transhumant herds or crop harvests. Finally, the benefits of the NCP are appropriated (CP3) through product transformation, selling, or consumption, thus contributing to the maintenance of agricultural activity and practices but also to the satisfaction of local needs and contributing to other quality of life dimensions. For

example, the main source of income is from selling heifers for production of Beaufort cheese in the adjacent Maurienne Valley or from the processing of animal products for the production of cheese, meat and wool marketed locally.

The co-production chains linked to habitability and attractiveness depend on the same mechanisms, because they involve the same NCP (shown in mixes of blue and green in Figure 4). First, the management of all landscape units is involved in this co-production chain. Indeed, by shaping the landscape, agricultural practices and preservation of natural areas by Ecrins National Park are a first step (CP1) that participates in all the NCP involved, such as aesthetics and nature experiences. Second, these NCP are mainly mobilized through access to ecosystems (CP2) with the development and maintenance of access and infrastructure such as roads, footpaths or information signs. Visitors and locals shared the same access to nature and infrastructure (roads or paths), although it was more important for attractiveness for tourism. Finally, there are similarities between habitability and attractiveness regarding the appropriation of products (CP3), for example, both locals and tourists appreciate local food and water quality. The same overlap applies to the appreciation (CP3) of benefits associated with the experience of nature as regards mountain sports and landscape aesthetics, as tourists and many inhabitants alike have chosen this region for its proximity to nature and mountain activities. However, appreciation and creation of local identity (CP3) differs significantly between habitability and attractiveness, and are shared mainly between habitability and rurality. We note that while we presented co-production processes separately for rurality on the one hand and attractiveness and habitability on the other, ecosystems managed for rurality also contribute to attractiveness and habitability, in particular by contributing to the landscape aesthetics and sense of place that are important for inhabitants and tourists.

Lastly, for regulating NCP, stakeholders' discourses referred to only one CP1 mechanism with the establishment of slope-protection forests to regulate avalanche risks. Overall regulating NCP were not mobilized or appreciated by locals; that is, participants acknowledged risks but did not make the link with ecosystem contributions.

5. Human-derived capital involved in NCP co-production

Different types of human-derived capital are involved in managing, mobilizing, and appreciating the benefits of the different NCP within the three co-production chains (Figure 6 and Table A1.4). For material NCP, the different types of agricultural management and production (CP1 and CP2) required similar types of human-derived capital. These include infrastructure (farm buildings), accessibility (roads), machinery, animals, and seeds (manufactured capital); labor, knowledge, and skills related to farming (human capital); and agricultural subsidies and personal financial inputs (financial capital). Finally, transformation and trading of products (CP3) depend on the same types of capital, mainly infrastructure (processing unit, store; manufactured capital), supply chain and markets (financial capital) but also on knowledge about transformation and marketing (human capital). These activities are also highly dependent on institutions and governance related to agriculture (social capital), particularly land tenure and allocation, but also on the support of local and regional institutions and networks linked to farming, such as the regional office for agriculture or the transhumance network (social capital). The co-production chain of material NCP to attractiveness and habitability also includes the consumption of products (CP3), which is

(manufactured capital), practitioners' experience (human capital), and individual purchasing power (financial capital). Sense of place benefits from all the above-mentioned co-production processes, particularly agricultural activities, but is strictly dependent on values and preferences (human capital) that allow residents to appreciate and create local identity.

Regarding regulating NCP, we observed limited co-production, as few types of human-derived capital were involved in their benefits. It should be noted that the establishment of protection forests (CP1) requires access infrastructure (manufactured capital) but also a public financing system (financial capital), knowledge about natural risks (human capital), and strong legislation (social capital). Water consumption is also regulated by abstraction rights (social capital) and access through piping infrastructure (manufactured capital).

DISCUSSION

1. Operationalization of the IPBES framework and co-production lens

We used the IPBES framework both in the design of the participatory process and as an analytical tool to identify the components of our site's social-ecological system. Our experience highlighted some strengths and weaknesses of the framework for understanding local NCP co-production.

The IPBES framework appeared to be sufficiently adaptable for this local implementation. During the whole process, many representations of nature, human-nature interactions and quality of life were expressed by participants and also by scientists during the analysis. This framework is sufficiently comprehensive to cover such representations and values as well as all elements mentioned by participants about social-ecological interactions. By using the concept of NCP and quality of life, we were able to capture different types of values associated with nature, such as the recognition of the intrinsic value of nature through its protection, and of its instrumental values as nature was often perceived as a resource for exploitation, but above all relational values that reflect the relationship between people and nature (Pascual et al. 2017). Indeed, the dimensions of quality of life are the result of how inhabitants perceived their relationships with nature. In addition, the NCP concept proved easy to use with stakeholders, particularly because it relates directly to quality of life and to concrete interactions with nature in people's lives rather than imposing the more rigid framing of ecosystem services (Bieling et al. 2014, Kadykalo et al. 2019).

Divergences appeared between participants and scientists in their framing of social-ecological systems. Regarding good quality of life, we structured the analysis around the three aggregated dimensions proposed by participants (habitability, attractiveness and rurality), instead of using the existing frameworks of human well-being or happiness (e.g. Maslow 1943, Ryan and Deci 2001). These three dimensions match the three bundles of NCP identified previously in the same region as three archetypes of landscape perception, respectively "Heritage", "Postcard" and "Grass" (Quétier et al. 2010) and are generally consistent with findings in other European cultural landscapes (e.g. Iniesta-Arandia et al. 2014, Plieninger et al. 2019, Zodereret al. 2019). Regarding the nature component of the IPBES framework, stakeholders had difficulty specifying

spontaneously the natural features contributing to their quality of life (such as ecosystem elements or properties) and found it easier to relate to landscape units (Bieling et al. 2014).

In line with previous analyzes of stakeholders' free descriptions of their relations to a landscape (Quétier et al. 2010; Bieling et al. 2014), we chose to focus on the NCP perceived by the participants in order to capture local knowledge, which is still insufficiently recognized in social-ecological system analyzes (Mastrángelo et al. 2019). Many previous participatory studies have instead presented a definition of ecosystem services to participants, or proposed predefined lists of ecosystem services for discussion (Lamarque et al. 2011; Palomo and Montes 2011; Haida et al. 2016; Zoderer et al. 2019). While the former unconstrained methods may fail to uncover implicit contributions and especially regulating contributions, the latter may bias responses. Participatory mapping may provide a more sophisticated method for eliciting spontaneous local NCP knowledge by fostering deliberation and learning among participants (García-Nieto et al. 2019). The short duration of our workshops, however, did not allow for this approach.

One other difficulty came from our focus (and that of IPBES) on nature's contributions to good quality of life, whereas participants mentioned many anthropogenic assets that contributed to a good quality of life without relating to nature (arrow 10 in Figure 2). For example, public services and infrastructure (schools, hospitals, roads) are essential to quality of life and play a key role in social-ecological systems but are overlooked in our analysis and in IPBES, which explicitly states that arrow 10 is among the "links that are acknowledged as important, but are not the main focus" (Díaz et al. 2015:5). These links were often discussed by stakeholders but their analysis was beyond our scope. This observation emphasizes the challenge of giving the right level of attention to non-nature contributions to quality of life in a social-ecological system analysis (Sarkki, 2017).

Nevertheless, the IPBES framework presents some limitations, for example, it was not tailored for analyzing multiple NCP and their interactions as NCP bundles. Here, the analysis of NCP through the three dimensions of quality of life allowed us to focus on bundles and to reveal the consistency between these NCP bundles in terms of co-production inputs. Finally, our study strengthened the consideration of NCP co-production in the IPBES framework. Benefiting from previous work on co-production (Spangenberg et al. 2014; Palomo et al. 2016; Jones et al. 2016; Fedele et al. 2017), we demonstrated that co-production occurs not only between nature and anthropogenic assets (arrow 6 in Figure 2). Rather we refined the framework by distinguishing three co-production types at different steps of the contribution of nature to people, thereby clarifying humans' role ("Anthropogenic Assets" and "Institution and Governance") within each of arrows 3, 4, and 8 in Figure 2.

2. Differing intensities of co-production among NCP categories and across co-production types

There is still limited knowledge on how anthropogenic factors influence multiple mountain NCP linked to human quality of life (Mengist et al. 2020). Here, by examining human inputs for co-producing NCP, we discovered that participants were more able to identify and describe NCP with a higher level of co-production and with more human-derived capital input. This increased the relative emphasis on material *versus* nonmaterial and regulating NCP as compared with earlier

list-based ecosystem services (Lamarque et al. 2011). Indeed, mechanisms of management (CP1) and mobilization (CP2), especially of agricultural NCP, were familiar and well-structured in stakeholders' discourses. Conversely, the stakeholders found greater difficulties in articulating their views on the co-production on nonmaterial NCP and even less of regulating NCP, which is predominantly of type 3 (Figure 6).

More generally, consistent with Outeiro et al. (2017) and Palomo et al. (2016), we observed a quantitative gradient of human-derived capital from NCP with intense co-production, mainly material (such as food) to NCP with limited human involvement (such as air quality or water regulation) (Figure 6). Additionally, our analyzes revealed that the types of capital differed qualitatively between co-production types and between material, nonmaterial and regulating NCP.

First, multiple types of human-derived capital are needed for some NCP, such as material NCP produced by agricultural practices (Vialatte et al. 2019), which also strongly depend on natural capital even if that was not often mentioned by participants. Farming (CP1), harvesting and mowing (CP2), and transforming and trading (CP3) require knowledge, skills, infrastructure, tools, and labor and also strongly depend on individual investments and subsidies. These practices are also highly structured by institutions and rules, whether formal or informal (Schermer et al. 2016).

Second, co-production of some NCP depends mostly on intangible capital such as social, human and financial capital. For example, nature conservation (CP1) (i.e. establishment of a national park and other conservation measures) underpins the co-production of many nonmaterial and regulating NCP. It is strongly driven by multiple forms of human-derived capital such as knowledge, skills and especially preferences and motivations, and largely depends on social and financial capital governed by formal rules and institutions (Ban et al. 2013).

Additionally, physical access to nature is a prerequisite for the co-production of nonmaterial NCP. Access depends heavily on social capital through planning instruments and land tenure or access rules, but also on infrastructure such as paths and signage. However, nonmaterial NCP also sometimes require input of other types of capital, particularly for the physical experiences of nature, including sports and leisure activities i.e. equipment, financial resources, but also knowledge of and skills around, particular practices to enjoy nature.

Conversely, some NCP are predominantly produced by natural capital, with limited human-derived capital input. For nonmaterial NCP, appropriation, social access, and appreciation (CP3) of aesthetics, psychological experiences or sense of place mobilize a single form of human-derived capital, values, and preferences (human capital), and are highly dependent on natural capital. Assessing such co-production is challenging (Daniel et al. 2012; Hernández-Morcillo et al. 2013; Bieling et al. 2014) and more complex to describe than for other NCP, because people perceive, appreciate, or value nature in diverse ways (Pascual et al. 2017, Raymond et al. 2017).

Regulating NCP entail very limited co-production at our study site. Participants did not perceive the regulation of risks, water quality or air quality as nature benefits, with the exception of a forest planted for avalanche and landslide protection. Regulating NCP are not considered as co-produced because they are linked to ecological functions that directly benefit quality of life and do not

require human inputs (Spangenberg et al. 2014, Locatelli et al. 2017). Nevertheless, while regulating NCP are not perceived as managed or co-produced, they definitely contribute to the three quality of life dimensions and are often a co-benefit or a trade-off within co-production of other NCP, thus representing intermediate services (Felipe-Lucia et al. 2015). This lack of recognition of regulating services can be alleviated with predefined NCP lists. With this method, Zoderer et al. (2019) showed that regulating ecosystem services were considered as more important than provisioning and cultural services in three types of mountain landscapes. Participatory mapping with mixed groups of local stakeholders and experts has also enabled learning and has resulted in increased recognition of regulating services (García-Nieto et al. 2019). The lack of perception of some NCP nevertheless raises the question of the limited knowledge of local actors about the NCP from which they benefit. This also highlights the need to combine different methods and sources of stakeholder, expert and scientist knowledge to better understand tangible and intangible co-production inputs, either measured or perceived (Reyers et al. 2013).

3. Role of co-production for NCP synergies and trade-offs

Our qualitative, analytical approach of examining three co-production types and the associated categories of human-derived capital for multiple NCP and multiple contributions to quality of life allowed us to show how NCP co-production creates social-ecological trade-offs and synergies between multiple NCP (Lavorel et al. 2020). While synergies and trade-offs among NCP have become a central theme in recent literature (Crouzat et al. 2015; Saidi and Spray 2018), recent studies of co-production have rather analyzed single NCP independent of each other (Jones et al. 2016).

Multifunctionality can be analyzed at two different scales, land use type and landscape (Lavorel et al. 2017). Figure 4 shows that most land uses produce multiple NCP and contribute to multiple dimensions of quality of life; and that the landscape mosaic reinforces the diversity of NCP and contributions to quality of life. By focusing on co-production we show that in addition to biophysical mechanisms at parcel and landscape scales (Lavorel et al. 2017), different types of co-production underpin synergies and trade-offs between NCP.

First, type 1 co-production plays a key role for bundles of NCP. Indeed, agricultural land management and natural area protection are critical for the entire benefit flow and quality of life dimensions. Ecosystem management is a key driver for trade-offs among ecosystem services (Bennett et al. 2009), and has been the main focus of previous analyzes of multifunctionality in this and other mountain social-ecological systems (Temperli et al. 2012; Grêt-Regamey et al. 2013; Lavorel et al. 2017). Potential changes in ecosystem management (CP1) will affect other types of co-production and their benefits (Torralba et al. 2017), for example, the possibility of appreciating (CP3) the aesthetic value or the sense of place provided by a landscape with agricultural terraces or a nature experience offered by protected natural areas. Even if agricultural management is initially motivated by maintenance of rurality, it co-produces nonmaterial NCP that are at the heart of habitability and attractiveness. Conversely, protected natural areas can generate trade-offs among all types of NCP co-production by excluding other forms of management (CP1), limiting access (CP2) and favoring certain recreational activities (CP3).

Second, physical access (type 2 co-production) that is critical for all dimensions of quality of life in mountain rural and touristic places can also create synergies by facilitating landscape access for other types of co-production. For example, creating tracks to access agricultural parcels (CP1) allows appropriation or appreciation of the rural landscape (CP3). But trade-offs can also occur depending on access rules which, by excluding some beneficiaries, may create conflicts.

Finally, type 3 co-production could be less subject to trade-offs because of the high level of intangible human capital involved such as preferences and values. It may still create trade-offs with ecosystem management (CP1) when it is inconsistent with values of local communities or visitors. For example, new demands for local products, such as vegetables, fruit or dairy products, could be in conflict with the current management of agricultural land because of the strong inertia of traditional heifer breeding, which preempts available farmland.

In our study, different co-production mechanisms led to NCP synergies rather than trade-offs, because of the strong interlinkages between the three dimensions of quality of life. This may reflect the fact that many actors share interests regarding quality of life and that many people or households are simultaneously residents (and are thus concerned by habitability), farmers (rurality), and tourism professionals (attractiveness). It may also reflect limited conflicts in the use of natural resources between the three dimensions of quality of life. This is well illustrated by Figure 4 with the example of agricultural NCP co-production benefiting the three quality of life dimensions. However, this observation is not generalizable: a study in marine fisheries concluded that human co-production of NCP at the ecosystem level (CP1) led to trade-offs among beneficiaries and that high anthropogenic inputs in co-production reduced opportunities for synergies and co-beneficiaries (Outeiro et al. 2017).

4. Implications of NCP co-production for co-producers

By identifying stakeholders involved in NCP co-production and their interactions, co-production analysis can highlight synergies or conflicts between stakeholders, whether they are direct or indirect beneficiaries. However, here we only report aggregated results across participants and do not distinguish perceptions across social groups (Barnaud et al. 2018; Zoderer et al. 2019).

First, different actors are involved in the three types of co-production, which reveals possible coordination gaps at the landscape level. For instance, the landscape is managed by farmers, municipalities and the National Park, but not by other main NCP beneficiaries and main economic actors in the region, such as visitors, inhabitants, and tourism professionals. The fact that landscape managers and beneficiaries are not the same people and that ecosystem interventions for co-production (CP1, CP2) ripple through the entire co-production chain means that NCP beneficiaries depend on landscape managers (Felipe-Lucia et al. 2015; Vallet et al. 2019).

Second, there are feedback loops from quality of life and people's perception of it to co-production actions at different levels. For example, the loss of agricultural incomes following changes in market demand may incentivize farmers to modify how they farm (CP1), what crops they harvest (CP2), and what products they transform and sell (CP3). Changes in one type of co-production also influence other types of co-production. In the same example of farmers changing their

production, adjustments in marketing (CP3), driven by changes in preferences or consumption habits, impact the entire co-production chain (CP1/CP2 & CP3) by changing the values assigned to NCP and landscape units (Dendoncker et al. 2018; Ellis et al. 2019). In addition, feedback effects also influence the multifunctionality of the landscape because of synergies among NCP or co-production (Lavorel et al. 2020). For example, as place attachment by residents, agricultural activities by farmers, and landscape contemplation by tourists rely all on the maintenance of an open agricultural landscape, the perception of the three dimensions of quality of life supports similar co-production activities. Cooperation between managers and beneficiaries, and more broadly between co-producers through landscape-level collective action thus appears critical (Barnaud et al. 2018). NCP co-production analysis can hence highlight existing collaborations for sharing different types of capital or facilitating access to them.

Third, rules and power regulate the access to most types of capital needed for co-production. NCP co-production is subject to inequalities in access to different types of capital, which can lead to either conflict or collaboration (Vallet et al. 2019). To co-produce NCP, managers and beneficiaries need to have access to natural capital but also to knowledge, financial assets, infrastructure, or public support. Co-production analyzes thus need not only to consider physical and social access as mechanisms of co-production 2 and 3 but also to consider heterogeneity in access to capital across beneficiaries among all co-production types (Berbés-Blázquez et al. 2017). Consequently, indirect factors, particularly those related to governance and social organization around the management and distribution of NCP need to be considered for analyzing co-production (Martín-López et al. 2019). We observed that in stakeholders' narratives, co-production was often strongly linked to indirect drivers (especially policies and markets), upon which they have little agency. Agency for co-production thus depends on which type of capital are under the control of co-producers (Felipe-Lucia et al. 2015).

CONCLUSION

In this study we propose an operationalization of the IPBES conceptual framework through a participatory approach combining quality of life dimensions and an analysis of NCP co-production that provides an integrated view of social-ecological functioning. Our analyzes demonstrate that the IPBES framework is a good support for describing the functioning of a social-ecological system by integrating all the drivers related to the human-nature interactions perceived by stakeholders. Moreover, we suggest that using quality of life as a catalyst for discussion around human-nature interactions can overcome difficulties associated with the concept of ecosystem services by allowing stakeholders to relate to concrete and meaningful experiential elements.

However, applications of the IPBES framework should put more emphasis on NCP co-production. On the one hand, co-production analysis underlines the crucial importance of agency by providing a better understanding of the contribution of different types of human-derived capital to the production of benefits from nature, which is still understudied. This will, constitute a step forward in assessing the contributions of socio-economic, institutional, human and natural elements in the production of NCP. On the other hand, this approach has also proven to be relevant for uncovering synergies, trade-offs, and feedbacks between multiple NCP and quality of life dimensions, and also interactions among beneficiaries, conflicts and collaboration around access to capital. While here

we have only described the mechanisms of NCP co-production, next step analyses could unpack the functioning and interactions between different types of capital.

Finally, this analysis provides information on the complexity of co-production mechanisms that underpin ecosystems management, mobilization and appropriation and that drive the functioning and dynamics of social-ecological systems. An in-depth understanding of these mechanisms will help policymakers, managers and beneficiaries identify changes in NCP co-production required to meet future challenges of sustainability and adaptation to global changes.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is a contribution from the Transformative Adaptation Research Alliance (TARA, <https://research.csiro.au/tara/>), an international network of researchers and practitioners dedicated to the development and implementation of novel approaches to transformative adaptation to global change. We thank inhabitants of Villar d'Arène and La Grave and regional experts for participation in workshops and interviews, and Marine Gabillet for initiating the participatory process. We are indebted to ServAlp members Nicolas Elleaume, Julia Grosinger and Agnès Bergeret for challenging discussions for conceptualising NCP co-production. We thank Jardin du Lautaret for hosting the research team (UMS 3370 Univ. Grenoble Alpes-CNRS). This research was funded through French Agence Nationale pour la Recherche projects MtnPaths (ANR-16-CE93-0008-01), Investissements d'Avenir CDP Trajectories (ANR-15-IDEX-02) and TRASSE (ANR- 17-CE32-0012-01), and the CGIAR Research Program on Forests, Trees and Agroforestry (CRP-FTA) with financial support from the CGIAR Fund.

DATA

The qualitative data from workshops and interviews contain personal information that cannot be anonymized. For this reason, it cannot be shared.

REFERENCES

- Bally F, Gabillet M, Laforgue D, Lavorel S, Peyrache-Gadeau V (2020) L'étude de la « Crise du Chambon » pour penser les rapports entre territoire, institutions, populations et sciences. *Nature, Sciences et Sociétés* 28:24–34 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/nss/2020019>
- Ban NC, Mills M, Tam J, Hicks CC, Klain S, Stoeckl N, Bottrill MC, Levine J, Pressey RL, Satterfield T, Chan KMA (2013) A social-ecological approach to conservation planning: Embedding social considerations. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11:194–202 . <https://doi.org/10.1890/110205>
- Barnaud C, Corbera E, Muradian R, Salliou N, Sirami C, Vialatte A, Choisis J-P, Dendoncker N, Mathevet R, Moreau C, Reyes-García V, Boada M, Deconchat M, Cibien C, Garnier S, Maneja R, Antona M (2018) Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: a conceptual framework. *Ecology and Society* 23:15 . <https://doi.org/10.5751/ES-09848-230115>
- Bennett EM, Cramer W, Begossi A, Cundill G, Díaz S, Egoh BN, Geijzendorffer IR, Krug CB, Lavorel S, Lazos E, Lebel L, Martín-López B, Meyfroidt P, Mooney HA, Nel JL, Pascual U, Payet K, Harguindeguy NP, Peterson GD, Prieur-Richard A-H, Reyers B, Roebeling P, Seppelt R, Solan M, Tschakert P, Tschardtke TI, Turner BL, Verburg PH, Viglizzo EF, White PCL, Woodward G (2015) Linking biodiversity, ecosystem services, and human well-being: three challenges for designing research for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 76–85 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.03.007>
- Bennett EM, Peterson GD, Gordon LJ (2009) Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters* 12:1394–1404 . <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>
- Berbés-Blázquez M, Bunch MJ, Mulvihill PR, Peterson GD, van Wendel de Joode B (2017) Understanding how access shapes the transformation of ecosystem services to human well-being with an example from Costa Rica. *Ecosystem Services* 28:320–327 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.010>
- Berkes Fikret, Colding Johan, Folke Carl (2003) *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience For Complexity And Change*, Cambridge. Cambridge University Press, Cambridge (UK)
- Bieling C, Plieninger T, Pirker H, Vogl CR (2014) Linkages between landscapes and human well-being: An empirical exploration with short interviews. *Ecological Economics* 105:19–30 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.013>
- Binder CR, Bots PWG, Hinkel J, Pahl-Wostl C (2013) Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society* 18:1:26 . <https://doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- Collins SL, Carpenter SR, Swinton SM, Orenstein DE, Childers DL, Gragson TL, Grimm NB, Morgan GJ, Harlan SL, Kaye JP, Knapp AK, Kofinas GP, Magnuson JJ, McDowell WH, Melack JM, Ogden LA, Philip RG, Smith MD, Whitmer AC (2011) An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9:351–357 . <https://doi.org/10.1890/100068>
- Crouzat E, Mouchet M, Turkelboom F, Byczek C, Meersmans J, Berger F, Verkerk PJ, Lavorel S (2015) Assessing bundles of ecosystem services from regional to landscape scale: Insights from the French Alps. *Journal of Applied Ecology* 52:1145–1155 . <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12502>
- Daniel TC, Muhar A, Arnberger A, Aznar O, Boyd JW, Chan KMA, Costanza R, Elmqvist T, Flint CG, Gobster PH, Gret-Regamey A, Lave R, Muhar S, Penker M, Ribe RG, Schauppenlehner T, Sikor T, Soloviy I, Spierenburg M, Taczanowska K, Tam J, von der Dunk A (2012) Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:8812–8819 . <https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109>
- Dendoncker N, Boeraeve F, Crouzat E, Dufrêne M, König A, Barnaud C (2018) How can integrated valuation of ecosystem services help understanding and steering agroecological transitions? *Ecology and Society* 23:12 . <https://doi.org/10.5751/ES-09843-230112>
- Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Ash N, Larigauderie A, Adhikari JR, Arico S, Baldi A, Bartuska A, Baste IA, Bilgin A, Brondizio E, Chan KMA, Figueroa VE, Duraiappah A, Fischer M, Hill R,

- Koetz T, Leadley P, Lyver P, Mace GM, Martin-Lopez B, Okumura M, Pacheco D, Pascual U, Pérez ES, Reyers B, Roth E, Saito O, Scholes RJ, Sharma N, Tallis H, Thaman R, Watson R, Yahara T, Hamid ZA, Akosim C, Al-Hafedh Y, Allahverdiyev R, Amankwah E, Asah TS, Asfaw Z, Bartus G, Brooks AL, Caillaux J, Dalle G, Darnaedi D, Driver A, Erpul G, Escobar-Eyzaguirre P, Failler P, Fouda AMM, Fu B, Gundimeda H, Hashimoto S, Homer F, Lavorel S, Lichtenstein G, Mala WA, Mandivenyi W, Matczak P, Mbizvo C, Mehrdadi M, Metzger JP, Mikissa JB, Moller H, Mooney HA, Mumby P, Nagendra H, Nesshover C, Oteng-Yeboah AA, Pataki G, Roué M, Rubis J, Schultz M, Smith P, Sumaila R, Takeuchi K, Thomas S, Verma M, Yeo-Chang Y, Zlatanova D (2015) The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:1–16 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson RT, Molnár Z, Hill R, Chan KMA, Baste IA, Brauman KA, Polasky S, Church A, Lonsdale M, Larigauderie A, Leadley PW, van Oudenhoven APE, van der Plaats F, Schröter M, Lavorel S, Aumeeruddy-Thomas Y, Bukvareva E, Davies K, Demissew S, Erpul G, Failler P, Guerra CA, Hewitt CL, Keune H, Lindley S, Shirayama Y (2018) Assessing nature's contributions to people. *Science* 359:270–272 . <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Ellis EC, Pascual U, Mertz O (2019) Ecosystem services and nature ' s contribution to people : negotiating diverse values and trade-offs in land systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 38:86–94 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.001>
- Fedele G, Locatelli B, Djoudi H (2017) Mechanisms mediating the contribution of ecosystem services to human well-being and resilience. *Ecosystem Services* 28:43–54 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.011>
- Felipe-Lucia MR, Martín-López B, Lavorel S, Berraquero-Díaz L, Escalera-Reyes J, Comín FA (2015) Ecosystem services flows: Why stakeholders' power relationships matter. *PLoS ONE* 10:1–21 . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132232>
- Fischer A, Eastwood A (2016) Coproduction of ecosystem services as human-nature interactions-An analytical framework. *Land Use Policy* 52:41–50 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.004>
- Gandrud, C., Allaire J, Russell K, Lewis B, Kuo K, Sese C, Ellis P, Owen J, Rogers J (2016) NetworkD3: D3 JavaScript network graphs from R. R package version 0.2 8. <https://cran.r-project.org/package=networkD3>
- García-Nieto AP, Huland E, Quintas-Soriano C, Iniesta-Arandia I, García-Llorente M, Palomo I, Martín-López B (2019) Evaluating social learning in participatory mapping of ecosystem services. *Ecosystems and People* 15:257–268 . <https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1667875>
- Grêt-Regamey A, Brunner SH, Altwegg J, Bebi P (2013) Facing uncertainty in ecosystem services-based resource management. *Journal of Environmental Management* 127:S145–S154 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.028>
- Haida C, Rüdiger J, Tappeiner U (2016) Ecosystem services in mountain regions: experts' perceptions and research intensity. *Regional Environmental Change* 16:1989–2004 . <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0759-4>
- Haines-Young R, Potschin M (2010) The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology: a new synthesis* 1:110–139
- Hernández-Morcillo M, Plieninger T, Bieling C (2013) An empirical review of cultural ecosystem service indicators. *Ecological Indicators* 29:434–444 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.013>
- Iniesta-Arandia I, García-Llorente M, Aguilera PA, Montes C, Martín-López B (2014) Socio-cultural valuation of ecosystem services uncovering the links between values, drivers of change, and human well-being.pdf. *Ecological Economics* 108:36–48 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.09.028>
- INSEE (2016) Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). <https://www.insee.fr/fr/accueil>

- IPBES (2019) Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany
- Jones L, Norton L, Austin Z, Browne AL, Donovan D, Emmett BA, Grabowski Z., Howard DC, Jones JPG, Kenter J., Manley W, Morris C, Robinson DA, Short C, Siriwardena GM, Stevens CJ, Storkey J, Waters RD, Willis GF (2016) Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. *Land Use Policy* 52:151–162 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.014>
- Kadykalo AN, López-Rodríguez MD, Ainscough J, Droste N, Ryu H, Ávila-Flores G, Le Clec'h S, Muñoz MC, Nilsson L, Rana S, Sarkar P, Sevecke KJ, Harmáčková Z V. (2019) Disentangling 'ecosystem services' and 'nature's contributions to people.' *Ecosystems and People* 15:269–287 . <https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1669713>
- Lamarque P, Tappeiner U, Turner C, Steinbacher M, Bardgett RD, Szukics U, Schermer M, Lavorel S (2011) Stakeholder perceptions of grassland ecosystem services in relation to knowledge on soil fertility and biodiversity. *Regional Environmental Change* 11:791–804 . <https://doi.org/10.1007/s10113-011-0214-0>
- Lavorel S, Colloff MJ, Locatelli B, Gorddard R, Prober SM, Gabillet M, Devaux C, Laforgue D, Peyrache-Gadeau V (2019) Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science and Policy* 92:87–97 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lavorel S, Grigulis K, Leitinger G, Kohler M, Schirpke U, Tappeiner U (2017) Historical trajectories in land use pattern and grassland ecosystem services in two European alpine landscapes. *Regional Environmental Change* 17:2251–2264 . <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1207-4>
- Lavorel S, Locatelli B, Colloff MJ, Bruley E (2020) Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 375: . <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0119>
- Lele S, Springate-baginski O, Lakerveld R, Deb D, Dash P (2015) Ecosystem Services : Origins , Contributions , Pitfalls , and Alternatives. 11:343–358 . <https://doi.org/10.4103/0972-4923.125752>
- Liu J, Dietz T, Carpenter SR, Folke C, Alberti M, Redman CL, Schneider SH, Ostrom E, Pell AN, Lubchenco J, Taylor WW, Ouyang Z, Deadman P, Kratz T, Provencher W (2007) Coupled human and natural systems. *Ambio* 36:639–649 . [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[639:CHANS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[639:CHANS]2.0.CO;2)
- Locatelli B, Vallet A, Fedele G, Rapidel B (2017) Analyzing ecosystem services to manage territories. *Living territories to transform* 106–110
- M. Ryan R, Deci EL (2001) ON HAPPINESS AND HUMAN POTENTIALS: A Review of Research on Hedonic and Eudaimonic Well-Being. *Annual Reviews Psychology* 52:141–66: . <https://doi.org/10.1021/jf60138a019>
- Mace, Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, Biggs R, Carpenter SR, Vries W De, Wit CA De, Folke C, Gerten D, Heinke J, Mace GM, Persson LM, Ramanathan V, Reyers B, Sörlin S (2015) Planetary boundaries : Guiding changing planet. 1259855: . <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Martín-López B, Leister I, Cruz PL, Palomo I, Grêt-Regamey A, Harrison PA, Lavorel S, Locatelli B, Luque S, Walz A (2019) Nature's contributions to people in mountains: A review. *PLoS ONE* 14:1–24 . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217847>
- Maslow AH (1943) A Theory of Human Motivation. *Psychological Review* 50:370–396 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/h0054346>
- Mastrángelo ME, Pérez-Harguindeguy N, Enrico L, Bennett E, Lavorel S, Cumming GS, Abeygunawardane D, Amarilla LD, Burkhard B, Egoh BN, Frishkoff L, Galetto L, Huber S, Karp DS, Ke A, Kowaljow E, Kronenburg-García A, Locatelli B, Martín-López B, Meyfroidt P, Mwampamba TH, Nel J, Nicholas KA, Nicholson C, Oteros-Rozas E, Rahlao SJ, Raudsepp-Hearne C, Ricketts T, Shrestha UB, Torres C, Winkler KJ, Zoeller K (2019) Key knowledge gaps to achieve global sustainability goals. *Nature Sustainability*

2:1115–1121 . <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0412-1>

- MEA (2005) Millennium Ecosystem Assessment - Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC, USA
- Mengist W, Soromessa T, Legese G (2020) Ecosystem services research in mountainous regions: A systematic literature review on current knowledge and research gaps. *Science of the Total Environment* 702: . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134581>
- Ostrom E (2009) A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325:419–422 . <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Outeiro L, Ojea E, Rodrigues JG, Himes-cornell A, Belgrano A, Liu Y, Cabecinha E, Pita C, Macho G, Outeiro L, Ojea E, Rodrigues JG, Himes-cornell A, Belgrano A, Liu Y, Cabecinha E, Pita C, Macho G, Villasante S (2017) The role of non-natural capital in the co- production of marine ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 13:35–50 . <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1415973>
- Palomo I, Felipe-Lucia MR, Bennett EM, Martín-López B, Pascual U (2016) Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service Co-Production. *Advances in Ecological Research* 54:245–283 . <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Palomo I, Montes C (2011) Participatory Scenario Planning for Protected Areas Management under the Ecosystem Services Framework : the Doñana Social-Ecological System in Southwestern Spain. *Ecology and Society* 16:23 . <https://doi.org/23>
- Pascual U, Balvanera P, Díaz S, Pataki G, Roth E, Stenseke M, Watson RT, Başak Dessane E, Islar M, Kelemen E, Maris V, Quaas M, Subramanian SM, Wittmer H, Adlan A, Ahn S, Al-Hafedh YS, Amankwah E, Asah ST, Berry P, Bilgin A, Breslow SJ, Bullock C, Cáceres D, Daly-Hassen H, Figueroa E, Golden CD, Gómez-Baggethun E, González-Jiménez D, Houdet J, Keune H, Kumar R, Ma K, May PH, Mead A, O’Farrell P, Pandit R, Pengue W, Pichis-Madruga R, Popa F, Preston S, Pacheco-Balanza D, Saarikoski H, Strassburg BB, van den Belt M, Verma M, Wickson F, Yagi N (2017) Valuing nature’s contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26–27:7–16 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Plieninger T, Torralba M, Hartel T, Fagerholm N (2019) Perceived ecosystem services synergies, trade-offs, and bundles in European high nature value farming landscapes. *Landscape Ecology* 34:1565–1581 . <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00775-1>
- Quétier F, Rivoal F, Marty P, de Chazal J, Thuiller W, Lavorel S (2010) Social representations of an alpine grassland landscape and socio-political discourses on rural development. *Regional Environmental Change* 10:119–130 . <https://doi.org/10.1007/s10113-009-0099-3>
- Quétier F, Thébault A, Lavorel S (2007) Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological Monographs* 77:33–52 . <https://doi.org/10.1890/06-0054>
- Raymond CM, Giusti M, Barthel S, Raymond CM, Giusti M, Barthel S, Raymond CM (2017) An embodied perspective on the co-production of cultural ecosystem services : toward embodied ecosystems. *Journal of Environmental Planning and Management* 51:778–799 . <https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1312300>
- Reyers B, Biggs R, Cumming GS, Elmqvist T, Hejnovic AP, Polasky S (2013) Getting the measure of ecosystem services: A social-ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11:268–273 . <https://doi.org/10.1890/120144>
- Rova S, Pranovi F (2017) Analysis and management of multiple ecosystem services within a social-ecological context. *Ecological Indicators* 72:436–443 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.050>
- Saidi N, Spray C (2018) Ecosystem services bundles: Challenges and opportunities for implementation and

- further research. *Environmental Research Letters* 13: . <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae5e0>
- Sarkki S (2017) Governance services : Co-producing human well-being with ecosystem services. 27:2016–2018 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.08.003>
- 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* 52:382–391 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.009>
- Schneider F, Rist S (2014) Envisioning sustainable water futures in a transdisciplinary learning process: combining normative, explorative, and participatory scenario approaches. *Sustainability Science* 9:463–481 . <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0232-6>
- Spangenberg JH, Görg C, Truong DT, Tekken V, Bustamante JV, Settele J, Spangenberg JH, Görg C, Truong DT, Tekken V (2014) Provision of ecosystem services is determined by human agency , not ecosystem functions . Four case studies. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 10:40–53 . <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.884166>
- Temperli C, Bugmann H, Elkin C (2012) Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *Ecological Applications* 22:2065–2077 . <https://doi.org/10.1890/12-0210.1>
- Torralba M, Oteros-rozas E, Moreno G, Plieninger T (2017) Rangeland Ecology & Management Exploring the Role of Management in the Coproduction of Ecosystem Services from Spanish Wooded Rangelands ☆. *Rangeland Ecology & Management* 1–11 . <https://doi.org/10.1016/j.rama.2017.09.001>
- Vallet A, Locatelli B, Levrel H, Dendoncker N, Barnaud C, Conde YQ (2019) Linking equity, power, and stakeholders' roles in relation to ecosystem services. *Ecology and Society* 24: . <https://doi.org/10.5751/ES-10904-240214>
- Vialatte A, Barnaud C, Blanco J, Ouin A, Emilie JC, David A, Sylvie S, Esquerre D (2019) A conceptual framework for the governance of multiple ecosystem services in agricultural landscapes. *Landscape Ecology* 34:1653–1673 . <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00829-4>
- Zoderer BM, Tasser E, Carver S, Tappeiner U (2019) Stakeholder perspectives on ecosystem service supply and ecosystem service demand bundles. *Ecosystem Services* 37:100938 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100938>

APPENDICES

Table A1.1: Surface area (in ha and %) of the different landscape units on the Pays de la Meije (land cover GIS analysis)

Landscape units	Surface (ha)	Land cover (%)
Rocks	9192	46%
Summer Pastures	5355	27%
Grazed Terraces	1721	9%
Ice and snow	1602	8%
Larch Meadows	670	<3%
Shrublands	651	<3%
Hay Meadows	536	<3%
Forests	321	<2%
Waterbodies	15	<1%
Croplands	4	<1%
Built up	2	<1%

Table A1.2: Stakeholders description and participation

N ^o	Categories	Gender	Age	Scale of action	Local workshop	Regional Workshop	Interviews	Validation workshop
1	Regional experts (Agriculture)	M	30-40	Regional		X		
2	Representatives of local and regional institutions	M	40-50	Departmental			X	
3	Representatives of nature conservation organizations	M	60-70	Regional			X	
4	Representatives of nature conservation organizations	M	40-50	Departmental		X		
5	Tourism professionals	M	60-70	Local	X			
6	Regional experts (Tourism)	M	50-60	Regional		X		
7	Representatives of regional institutions	F	50-60	Departmental		X		
8	Representatives of nature conservation organizations	M	40-50	local				X
9	Second home's owner	M	40-50	Local	X			X
10	Farmers and other agricultural stakeholders	F	40-50	Regional			X	
11	Regional experts (Risks)	M	30-40	Regional		X		
12	Staff of residential services	F	60-70	Local	X			X
13	Local elected representatives	M	60-70	Regional			X	
14	Tourism professionals	F	60-70	Local	X			
15	Staff of residential services	F	30-40	Local	X			
16	Local elected representatives & Tourism professionals	M	60-70	Local		X		
17	Tourism professionals	F	40-50	Local				X
18	Tourism professionals	M&F	40-50	Local			X	
19	Tourism professionals	M	40-50	Local	X			
20	Tourism professionals	F	40-50	Local			X	

21	Local elected representatives & Tourism professionals	M	40-50	Local		X			
22	Representatives of regional institutions	M	50-60	Regional		X			
23	Tourism professionals	M	30-40	Local				X	
24	Student/Inhabitant	M	10-20	Local				X	
25	Tourism professionals	M	40-50	Departmental		X			
26	Regional experts (Climate)	M	30-40	Regional		X			
27	Tourism professionals	F	40-50	Local	X			X	
28	Representatives of local and regional institutions	F	30-40	Local				X	
29	Representatives of nature conservation organizations	F	50-60	Departmental				X	
30	Tourism professionals	M	40-50	Local	X			X	
31	Student/Inhabitant	F	10-20	Local				X	
32	Student/Inhabitant	M	10-20	Local				X	
33	Tourism professionals	M	20-30	Local				X	
34	Farmers and other agricultural stakeholders	M	40-50	Regional		X			
35	Tourism professionals	F	30-40	Local	X				
Total number of participants						9	11	12	7

Table A1.3: Description of all nature contribution to people perceived by stakeholders

NCP category perceived by stakeholders	Landscape attractiveness	Habitability	Rurality maintenance
3. Regulation of air quality	Pure air/ depollution	Pure air/ depollution	not cited
6. Regulation of freshwater quantity	Recreational activities on lake, rivers and psychological link to water	Hydropower psychological link to water and recreational activities (lake and river)	Drinking (animals)
7. Regulation of freshwater quality	Leisure/recreational activities	Drinking	not cited
8. Formation/ protection of soil	not cited	not cited	caused by/ manage
9. Regulation of hazard and extreme events	Floods, rock fall, avalanches, landslides	Floods, rock fall, avalanches, landslides	
12. Food and feed	Dairy products, honey, local production	Dairy products, honey, local production	Production of food from domestic animals Production of feed for animals Production of plants, dairy products, honey... gardening production
14. Medicinal resources	not cited	Wild plants and trees	not cited
15. Learning and inspiration	Education, information, inspiration, self-development	Education, information, inspiration, self-development	
16. Physical and psychological experiences	Healing, relaxation, recreation, leisure, tourism, aesthetic enjoyment	Healing, relaxation, recreation, leisure, aesthetic enjoyment	not cited
17. Supporting identities	Religious, spiritual Sense of place (linked to heritage, mountain culture) Local products (dish)	Religious, spiritual and social cohesion Sense of place, belonging (linked to heritage, mountain culture) Local products (dish)	Social cohesion Sense of place, belonging (linked to heritage, mountain culture) Local products (dish)

Table A1.4: Human-derived capital involved in nature's contribution to people (MC: Manufactured capital; FC: Financial capital; HC: Human capital; SC: Social capital)

NCP	QOL	Nature	Arrow 3: Direct drivers → Nature Co-production type 1 (ecosystem and landscape management)	Arrow 4: Nature → NCP Co-production type 2 (mobilization, harvesting, physical access)	Arrow 8: NCP → Quality of life Co-production type 3 (appropriation, social access, appreciation)
Fodder production (Feed)	R	Agricultural lands	<p>What: Farming practices Anthropogenic assets MC: Farm infrastructures, tools and machines, fertilizer, tracks FC: Subsidies from CAP influencing practices (ICNH, MAE) HC: Full or part time labour, knowledge on terraced farming, motivation to maintain traditional practices</p> <p>Institution & governance SC: Local network and organisation, support from institution (Chamber of Agriculture, PNE, AFP), land tenures and allocation Indirect SC: Policies influencing practices (CAP)</p>	<p>What: Mowing and grazing Anthropogenic assets MC: Tools and machines, animals, tracks FC: Subsidies from CAP influencing practices (ICNH, MAE), supply chain for livestock/transhumance HC: Full or part time labour, knowledge on terraced farming and grazing, motivation to maintain traditional practices</p> <p>Institution & governance SC: Local organisation, Policies influencing practices (CAP), Local support (Chamber of Agriculture, National Park, AFP)</p>	<p>What: Trading livestock (selling) Anthropogenic assets MC: Selling infrastructures (vehicles) FC: Supply chain and market (network) HC: Knowledge on market and sales</p> <p>Institution & governance SC: Local and regional market organisation and networks</p>
	H		None	None	None
	A		None	None	None
Food production	R	Agricultural lands	<p>Cropping practices Anthropogenic assets MC: Farm infrastructures, tools and machines, fertilizer, seeds FC: Subsidies from CAP influencing practices (ICNH, MAE)</p> <p>Institution & governance SC: Local support (Chamber of Agriculture, PNE, AFP), land properties and allocation Indirect SC: Policies influencing practices (CAP)</p>	<p>Grazing, transhumance, vegetable harvesting Anthropogenic assets MC: livestock FC: Subsidies from CAP influencing practices (ICNH, MAE), HC: Knowledge about grazing, herding. Workforce</p> <p>Institution & governance SC: Local organisation, Policies influencing practices (CAP), Local support (Chamber of Agriculture, PNE, AFP), supply chain for livestock and transhumance, Local market</p>	<p>Trading agricultural products (transforming and selling) Anthropogenic assets MC: Selling and transformation infrastructures FC: Supply chain and market (network) HC: Knowledge on product transformation, packaging, communication and sales</p> <p>Institution & governance SC: Local markets organisation and networks</p>
	H		None	None	<p>What: Consume products (by local people and visitors) Anthropogenic assets: MC: Infrastructure</p>

	A		None	None	(market) FC: Equity in payment options HC: Knowledge, values and preferences for local products Institution and governance: SC: Supply chain for products, information, consumption patterns
Aesthetic enjoyment	R	Landscape	What: Maintenance of terraced landscape (see Fodder production for terraced landscape)	None	None
	H		What: Nature conservation Anthropogenic assets MC: None FC: Subsidies, Park funding, N2000 funding HC: Knowledge and skills on nature conservation, Motivation to preserve natural areas Institution & governance SC: Conservation policies (N2000, National Park, Natural reserve), Park rules and strategy. What: Landscape planning Anthropogenic assets MC: Tools and machines FC: Public and private investments HC: Motivation to maintain preserved landscape, local values Institution & Governance SC: Planning policies and strategies (PLU, SRCE, PPRN, SCOT), land properties	What: Access to landscape Anthropogenic assets MC: Roads and tracks to natural landscape, signage FC: None HC: Information Institution & governance SC: Access right, land properties	What: Enjoying natural landscape for scenic beauty Anthropogenic assets MC: None FC: None HC: Values and preferences Institution & governance SC: None
	A		None		
	R		None		
Nature experiences (physical and psychological+ Learning& inspiration)	R	Landscape	None	None	None
	H		What: Preserving nature and landscape planning (see below in aesthetic enjoyment) SC: Partly manage for tourism activities	What: Access to landscape Anthropogenic assets MC: Roads and tracks to natural landscape, signage FC: None HC: Information Institution & governance SC: Access right, land properties, hunting rules	What: Enjoying experience in nature Anthropogenic assets MC: Equipment FC: None HC: Values and preferences, knowledge on recreational practices and natural elements Institution & governance SC: None
	A				

Sense of place (supporting identity)	R	Landscape	What: Maintenance of terraced landscape (see Fodder production)	None	What: Create and enjoy local identity Anthropogenic assets MC: None FC: None HC: Values and preferences, legacy
	H		What: Landscape planning (see below)	None	Institution & governance SC: None
	A		None	None	None
Regulation of hazards and extreme events	R	Forest	What: Risk management with protection forest (RTM) Anthropogenic assets MC: Roads and tracks to dedicated areas, tools and machines, seeds and plants FC: Public subsidies HC: Knowledge and skills of forester, labor	None	None
	H			None	None
	A		Institution & governance SC: Forest and risk national institution, access right, land properties	None	None
Regulation of freshwater	R		Not intentional	What: Drinking for animals Anthropogenic assets MC: Pipe and tools FC: Equity of farmer HC: Knowledge and skills	None
	H		None	None	None
	A		None	None	None
Regulation of air quality	R	Landscape	None	None	None
	H		None	None	None
	A		None	None	None
Soil maintenance	R		Not intentional	None	None
	H		None	None	None
	A		None	None	None

CHAPITRE 4

ANALYSE DES ADAPTATIONS PASSEES DU SOCIO-
ECOSYSTEME BASEE SUR LA RECONFIGURATION DE LA
CO-PRODUCTION DES CONTRIBUTIONS DE LA NATURE A
LA QUALITE DE VIE.



Gravure – « La Meije, jour de Mariage » – Joanny DREVET – été 1952

Nous avons choisi d'explorer dans ce chapitre les mécanismes de réponses adaptatives du socio-écosystème aux changements ayant eu lieu dans le passé. Pour cela, nous avons basé notre analyse sur la trajectoire passée du socio-écosystème (de 1900 à nos jours) reconstruite à partir des connaissances des acteurs du territoire et de diverses sources d'informations bibliographiques, d'archives et de données historiques. Cette analyse se focalise sur les reconfigurations de la co-production de NCP impliquées dans les réponses adaptatives aux facteurs de changement. Ce travail nous permet in fine d'approfondir nos connaissances sur les mécanismes sociaux permettant la mobilisation des écosystèmes pour l'adaptation.

Dans ce chapitre nous nous sommes spécifiquement intéressés aux questions suivantes :

- Quels sont les facteurs de changement qui ont affecté le socio-écosystème et ont conduit à des réponses adaptatives ?
- Comment les facteurs ont-ils influencé la co-production NCP ?
- Sur quels NCP les réponses adaptatives se sont-elles appuyées ?
- Comment les capitaux impliqués dans la co-production NCP ont-ils été reconfigurés pour l'adaptation ?

Cette analyse est issue de réflexions collectives au sein de l'équipe ServAlp du Laboratoire d'Ecologie Alpine et repose sur le travail mené avec François Vendel (M2 GEOSPHERES - Institut d'Urbanisme et Géographie Alpine) lors d'un stage de 6 mois que j'ai encadré visant à reconstruire la trajectoire passée du socio-écosystème du Pays de la Meije et d'analyser l'évolution de la mobilisation des services écosystémiques le long de cette trajectoire. Le mémoire de stage de François Vendel intitulé : *Trajectoire passée d'un socio-écosystème de montagne. Application aux services écosystémiques du Pays de la Meije (05)*, est disponible à l'adresse suivante : https://www.jardinalpindulautaret.fr/sites/saif/files/RECHERCHE/PUBLICATIONS/memoire_master2_geospheres_vendel_francois_2018.pdf. Dans ce rapport est notamment détaillée la frise chrono-systémique initiale construite avec les acteurs du territoire sur la base des recherches bibliographiques, d'archives et de bases de données historiques (Annexe 4.1).

Ce chapitre est présenté sous la forme d'un article tel que soumis pour le journal *Regional Environmental Change*, lequel a été accepté et publié.

Bruley, E., Locatelli, B., Vendel, F., Bergeret, A., Elleaume, N., Grosinger, J., & Lavorel, S. (2021). Past reconfigurations of a social-ecological system adapting to global changes in the French Alps. <i>Regional Environmental Change</i> . https://doi.org/10.1007/s10113-021-01760-8

Past reconfigurations of a social-ecological system adapting to global changes in the French Alps

Submitted to *Regional Environmental Change*: in review

Authors: Enora Bruley^{1*}, Bruno Locatelli^{2,3}, François Vendel¹, Agnès Bergeret¹, Nicolas Elleaume¹, Julia Grosinger^{1,4} & Sandra Lavorel¹.

¹ Laboratoire d'Ecologie Alpine, CNRS – Université Grenoble Alpes – Université Savoie Mont-Blanc, 38000 Grenoble, France

² Cirad, University of Montpellier, Montpellier 34398, France

³ Cifor, Lima 15024, Peru

⁴ Université Grenoble Alpes, CNRS, Sciences Po Grenoble, PACTE, 38000 Grenoble, France

Keywords: Co-production, adaptation, transformation, ecosystem services, past trajectories, social-ecological system

ABSTRACT

Social-ecological systems (SES) adapt to multiple changes to maintain or transform their structure and functions for ensuring people's quality of life. Ecosystem management can support people's adaptation by sustaining material and non-material benefits. A better understanding of mechanisms underpinning SES adaptation, especially the contribution of human-nature interactions changes, is crucial to facilitate adaptation to future challenges. We explored the past trajectory of a mountain SES (Pays de la Meije, French Alps) since 1900 by analysing drivers, impacts, and responses. We hypothesised that adaptation has occurred through changes in the co-production of nature's contributions to people (NCP). Based on literature, archives and local knowledge of inhabitants, we identified four historical periods of combined changes in agriculture and tourism with associated changes in NCP. Using a chronosystemic timeline, we explored which and how drivers of changes have influenced NCP co-production, how NCP have been mobilized in adaptive responses, and how human and natural capitals involved in NCP co-production have been reconfigured for adaptation. We have unravelled that drivers of change have been mainly exogenous and out of the control of local actors, like public policies, markets and consumption patterns. These drivers can directly impact the capitals involved in NCP co-production creating threats but also opportunities for local communities' livelihood. Depending on the intensity of capital reconfiguration and the type of NCP involved, adaptative responses range from resistance to adjustment and transformation of the governance system and socio-economic sectors. Finally, we discuss how our findings can inform current dynamics and future adaptation.

INTRODUCTION

Under global changes, social-ecological systems (SES) must adapt to maintain livelihoods and the natural resources they depend on (IPBES 2018). Adaptation is defined by the interactions changes between social and natural systems over time and space (Nelson et al. 2014; Chhetri et al. 2019; Fedele et al. 2019). The adaptive capacity of a SES is strongly influenced by its past trajectory, as it shapes its current state (Dearing et al. 2015; Egan and Price 2017) and will constrain its future dynamics through legacy effects (Nelson et al. 2014; Plieninger et al. 2015; Antoni et al. 2019). Studying historical SES trajectories provides valuable information on how drivers of change have affected SES and led to adaptive responses (Costanza et al. 2012; Adamson et al. 2018) but also inform about future adaptive capacity (Bussey et al. 2012; Grier et al. 2017) and adaptation options (Fazey et al. 2015).

One critical dimension of changing human-nature interactions for adaptation regards Nature's Contributions to People (NCP), defined as the contributions of living nature to people's good quality of life, which can be material, non-material and regulating contributions (Diaz et al. 2015). To adapt to changes, societies can modify their interactions with nature to ensure the provision of important benefits to human quality of life by changing land uses, redefining natural resource governance, or using new natural resources. These actions can aim to sustain the provision of existing NCP despite changes (*i.e.*, NCP resilience) or to develop new NCP in changing contexts (*i.e.*, transformation) (Lavorel et al. 2019).

Most NCP studies have focused on a time snapshot, but there has been an increased interest in historical trajectories of NCP (Renard et al. 2015; Rau et al. 2018). Studies have linked increasing supply and demand of NCP over history with changing land use (Stürck et al. 2015; Egarter Vigl et al. 2016; Lavorel et al. 2017). Other studies highlight how historical analyses can help to understand NCP synergies and trades-off (Tomscha and Gergel 2016); showing that NCP bundles depend on local biophysical and socio-economic context (Renard et al. 2015; Egarter Vigl et al. 2017); or assessing changing landscape capacity to supply NCP (Bürgi et al. 2015; Locatelli et al. 2017). Whilst most studies consider socio-economic and institutional drivers (Dittrich et al. 2017), land-use, landscape or SES dynamics (*e.g.*, Munteanu et al. 2014, Ianni et al. 2015, Jepsen et al. 2015, Meyfroidt et al. 2018), few consider how these drivers of change of NCP have supported adaptation, or how NCP were involved in adaptive responses (Colloff et al. 2020).

Historical studies of NCP trajectories and their drivers rarely address a critical dimension of adaptation, which is agency, *i.e.* the capacity of people to make choices and act consciously, both individually and collectively (Davidson 2010; Fedele et al. 2017). For historical changes in NCP to be understood with an adaptation lens that can inform future adaptation, we need to document not only how NCP have changed but also the mechanisms that explain these changes, including human agency. Indeed, NCP are jointly produced by social and ecological processes, requiring human intervention to deliver a social benefit, which has been defined as NCP co-production (Diaz et al. 2015; Palomo et al. 2016). Three steps of co-production can be distinguished along the benefits chain of NCP (Lavorel et al. 2020; Bruley et al. 2021): (CP1) ecosystem management (*i.e.*, modifying ecosystem structure and function in order to obtain benefits, such as planting cereals or trees); (CP2) mobilization, harvest and physical access (*e.g.* collecting plants or visiting a scenic place) and (CP3) appropriation and appreciation of benefits (*e.g.* transforming and selling dairy products, enjoying local products, or feeling attached to a place). Different natural, human, social, manufactured and financial capitals are required in each of these steps (Palomo et al. 2016). This

novel perspective complements socio-technical studies of transitions (*e.g.* Geels and Schot 2007) by explicitly considering the role of natural capital and its management.

We posit that the characterisation of adaptive responses over time through the reconfiguration of NCP co-production will advance the understanding of adaptation mechanisms. Reconfiguration is the process by which people modify their actions to alter ecosystems, NCP and ultimately quality of life. This analysis requires to understand how human-derived and natural capital are impacted by internal and external drivers of change and the resulting vulnerabilities or opportunities. It also requires understanding how people's adaptive responses reconfigure capitals and the co-production of NCP to maintain livelihood. This perspective on adaptation improves our understanding of coupled social-ecological historical interactions and human agency involved in ecosystem-based adaptation to inform future responses and create opportunities for agency (Nelson et al. 2014; Fazey et al. 2015; Grier et al. 2017).

Mountain regions provide fruitful contextual settings to study adaptive capacity (Egan and Price 2017; Klein et al. 2019). Indeed, while they provide key NCP (Martín-López et al. 2019) and are biodiversity hotspots (Körner et al. 2005), they are also vulnerable to both environmental and socio-economic changes, like land use change, infrastructure, tourism development and climate change, with an important role of external drivers (Grêt-Regamey et al. 2012). Because of their remoteness, harsh topographical and climatic conditions, they have undergone continuous adaptation (Klein et al. 2019) and are experiencing rapid changes in response to current and anticipated global change (Palomo 2017).

This study aimed to understand past SES adaptation mechanisms as sets of causal relationships between drivers of change and social-ecological responses by reconfigurations through human agency for a mountain social-ecological system. We identified periods of historical adaptation and hypothesised that adaptation occurred through changes in NCP co-production. Using the NCP co-production approach to better understand past adaptation trajectories we asked: (1) Which drivers of changes have affected the SES and led to adaptive responses? (2) How have drivers influenced NCP co-production? (3) On which NCP have adaptive responses relied? (4) How have capitals involved in NCP co-production been reconfigured for adaptation? Our results allowed us to characterize different types of adaptive responses and further discuss how such knowledge of adaptation mechanisms along historical trajectories of NCP can inform research on current dynamics and future adaptation.

STUDY SITE

Pays de la Meije, at the head of the Romanche valley in the central French Alps, covers 205 km² and ranges from 1135 to 3984 m. Located at the edge of two administrative regions the two municipalities, La Grave (484 inhabitants) and Villar d'Arène (322 inhabitants), have a low population density (less than 5 people/km²), across two villages and seven hamlets with numerous secondary and touristic residences (~60% of the accommodation capacity). The region reached its largest population (2500 inhabitants) at the beginning of the 19th century followed by a strong rural exodus from 1850 to 1970. Tourism has become an essential sector since 1970 and is now at the core of the local economy, with large contributions to off-farm jobs and incomes (Schermer et al. 2016). It is based on mountain sports and on cultural tourism enhanced by the Ecrins National Park, created in 1973. A traditional mountain livestock farming system based on fodder self-sufficiency and summer transhumance, is the second pillar of the local economy and identity (Quétier et al. 2010). Local life strongly depends on surrounding regions for jobs (in nearby ski resorts) and services (education, health, retail). The climate is alpine with Mediterranean influences. Forest exploitation in the Middle Ages produced an open landscape on the south-facing slopes, shaped by terrace cultivation. Subsistence agriculture changed to livestock farming during the early 20th century and now maintains a cultural landscape of terraced grasslands and summer pastures (Quétier et al. 2007). North-facing, steeper slopes are forested below 2200 m following cessation of timber production during the 19th century. Sparse vegetation, rocks and ice at higher altitude are located in the core area of the Ecrins National Park and in an off-track skiing basin.

METHODS

Our study included three stages: (i) Preliminary analysis with secondary literature, databases and exploratory interviews, (ii) Timeline construction from interviews and workshops, (iii) Timeline interpretation.

The first stage included two steps in order to obtain an overview of the SES dynamics with the main social and ecological trends and events since 1900. First, the analysis of the existing literature which retraces the history of the valley (grey and scientific) but also a variety of databases on demographic and social data (INSEE 2016); agriculture (Agreste); climate (temperature and precipitations - Météo-France); risks (ONF-BD-RTM), and municipalities archives (for details on data used see appendix 1). Second, the interviews of thirteen inhabitants was done in June 2018 (farmers, tourism professionals, elected officials, association representatives, and multisector people) who had lived at the site for at least 20 years and knew its history well (Details in appendix 2). These semi-directed interviews elicited descriptions of the SES and its sub-systems, the past social, political, economic, ecological changes and their impacts. These information and data fed the timeline construction, by the identification of relevant themes.

In the second stage, we applied a timeline analysis, which is a deductive qualitative method for the systemic and temporal analysis of the past trajectory of a SES (Bergeret et al. 2015; Spiegelberger et al. 2018). The chronosystemic timeline construction follows four steps. First, we defined the problem addressed with the associated spatial and temporal scales, which here is the past adaptation of the SES of Pays de la Meije from 1900 to 2015. Second, we identified main

themes where change has occurred over this period. Based on our preliminary analysis, we selected eight themes: external policies, local governance, social dynamics, agriculture, tourism, landscape dynamics, ecosystem management and climate. Third, we set milestones which are moments or periods associated with key events (punctual, repeated) and trends (with gradual changes or possibly state changes). Fourth, we described interactions among milestones that lead to change in the SES (*e.g.*, causality, feedback loops, succession, collaboration, inertia and conflicts). The last two steps were performed during two participatory workshops including respectively two and six local stakeholders (see appendix 2). Based on their experience, knowledge and perceptions, participants identified and discussed the milestones for each theme and analysed their interactions. Finally, participants also identified and dated the main historical periods of change revealed by the timeline. From these, we were able to select four periods that display different responses of the SES to changes linked to agriculture, tourism or the entire SES. The elements of the timeline identified by the participants were, as far as possible, compared with information obtained from the literature, public information and databases available and were integrated into the narrative. The chronosystemic timeline obtained was presented to local stakeholders during a feedback event, allowing us to validate our construction, enrich and correct it where necessary.

In the third stage, for the four periods of change, we investigated the processes that led to adaptation by identifying: (1) the drivers of change that induced changes in the SES; (2) the impacts of the drivers on capitals, NCP or quality of life and the resulting vulnerability or opportunities and (3) the adaptive responses of the SES in terms of reconfiguration of NCP co-production (Figure 1a). Once these elements and their causal relationships were identified, we investigated their implication for the three steps of NCP co-production within the IPBES framework (Diaz et al. 2015) focusing on the change between “Nature”, “Nature’s contribution to people” and “Good quality of life” (Bruley et al. 2021) (Figure 1b). Thus, NCP impacted by and involved in these adaptations were deduced qualitatively from the evolution of human activities based on IPBES classification (Díaz et al. 2018); only NCP related to agriculture were analysed based on previous work at the site (Lavorel et al. 2017). We also identified the reconfigurations of human, social, financial, manufactured and natural capitals involved in the three steps of NCP co-production.

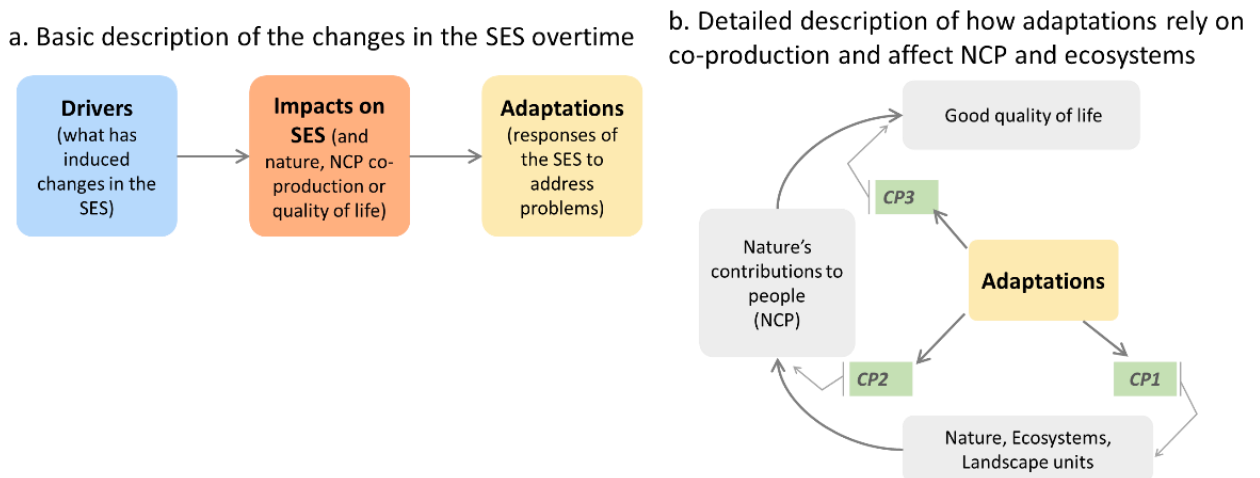


Figure 1. Analytical framework to describe changes in the SES and their links to NCP co-production (CP). (a) Drivers-Impacts- Adaptive responses cascade; (b) Description of how adaptation occurs and affect NCP co-production steps (CP1: Ecosystem management, CP2: Mobilization, harvesting and physical access and CP3: Appropriation, appreciation and social access to benefits). Based on Bruley et al. 2021.

RESULTS

The analysis of past social-ecological dynamics through the lens of NCP co-production revealed four periods since 1900 with distinct adaptive responses to external drivers. These periods of change are related to agriculture (periods 1, 2, 4) and tourism (3), with temporal overlaps between the last two periods: (1) 1900-1960: Gradual transformation from subsistence agriculture to a dairy production system, (2) 1965-1975: shift in livestock production toward heifer and lamb breeding, (3) 1976-2000: Societal transformation following tourism development, (4) 1990-2015: Agricultural system resistance to change (Figure 2). For each period, we analyse changes of NCP and their co-production (Table 1). To describe each period, we present indicators of the SES trajectory related to population, agriculture, tourism, natural disasters or climate emerging from a combination of our multiple sources of information (Figure 3).

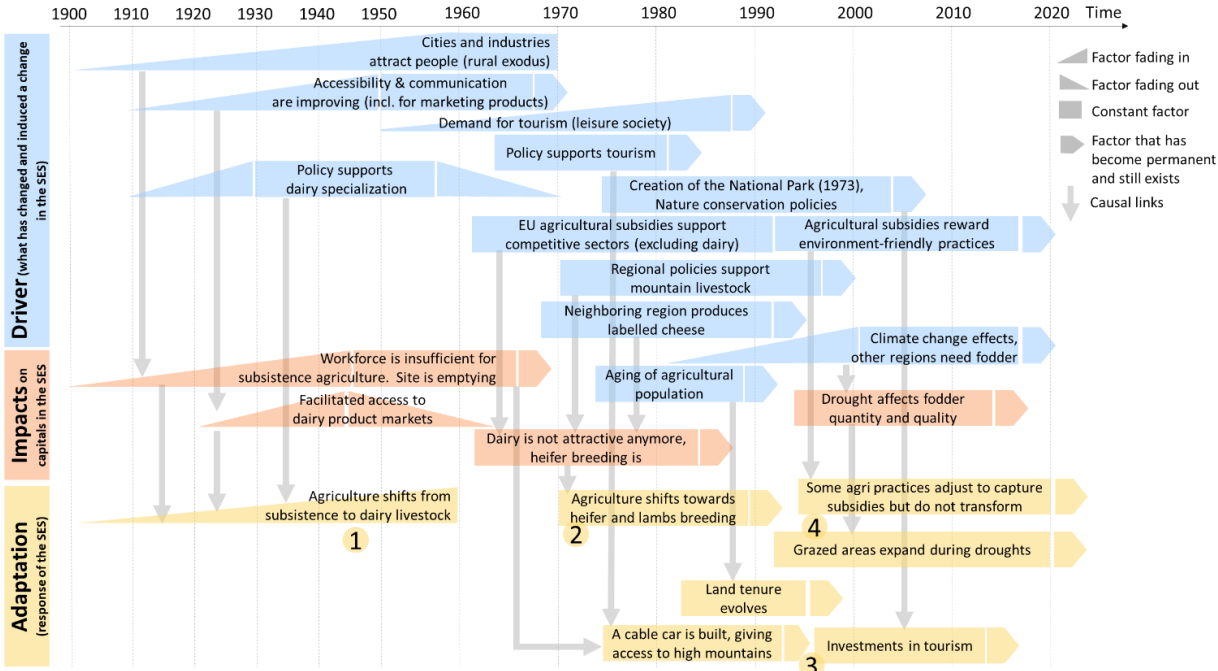


Figure 2. Trajectories of drivers, impacts and adaptive responses of the social-ecological system of le Pays de la Meije, from 1900 to 2020. Grey arrows represent how drivers lead to adaptation. The four adaptation periods detailed in this paper are represented by numbers (1,2,3&4).

Phase # (in the figure 2.a)	Main adaptation	Years	Effects on NCP	Changes in CP1 (ecosystem management)	Changes in CP2 (NCP mobilization)	Changes in CP3 (NCP appropriation)	Effects on ecosystems
1	Dairy agriculture: Agriculture shifts from subsistence to dairy livestock	1900 - 1960 (progressive change)	Decrease of material NCP: ↘ food for self- consumption ↗ fodder for livestock ↕ identity link to agricultural practices	↘ cropping and terraces maintenance ↗ meadow fertilization	↘ harvesting crop production ↗ mowing and grazing on terraces	↘ local food consumption and transformation ↗ milk transformation and trading, loss of cultural identities	↘ crops ↗ meadow and pasture, ↗ soil fertility, soil maintenance and biodiversity
2	Breeding: Agriculture shifts towards heifer and lambs breeding	1965 – 1993	No changes	No or limited changes	No or limited changes (mostly linked to increased mechanization)	End of milk transformation (remain marginal) ↗ trading with Beaufort heifer market and Alpes lambs' market	No changes
3	Tourism development: A new cable car in 1976 opens access to high mountain	1976 – 2000	Increase of non- material NCP: recreational, leisure, physical and spiritual experience, ↕ sense of place/identity	↗ urbanization and infrastructure, ↗ Nature protection (no strong management)	↗ physical access to natural landscape (cable car, roads, paths, signage...)	↗↗ appropriation, appreciation and ↕ place attachment from rural to leisure	↗ urbanization and infrastructure, ↘ Protection of natural areas
4	Resistance to change: Some agricultural practices adjust for capturing subsidies but do not transform	1990 – 2015	No changes in agricultural NCP	↗ financial capital, Better land allocation, ↘ fertilization (Practices facilitated by mechanization, re-parceling, subsidies, local organization and management)	↘ mowed surface (↗ on drought years)/ ↗ grazed surfaces (↗↗ on drought years) ↗ livestock number (cattle and sheep by transhumance) (Practices facilitated by mechanization, re-parceling, subsidies, local organization and management)	No changes	↘ biodiversity in grazed grasslands

Table 1. Changes in NCP co-production steps, ecosystems and NCP during the four periods of adaptation of the SES. (↗: increasing or gain; ↘: decreasing or loss; ↕: switch or transformation).

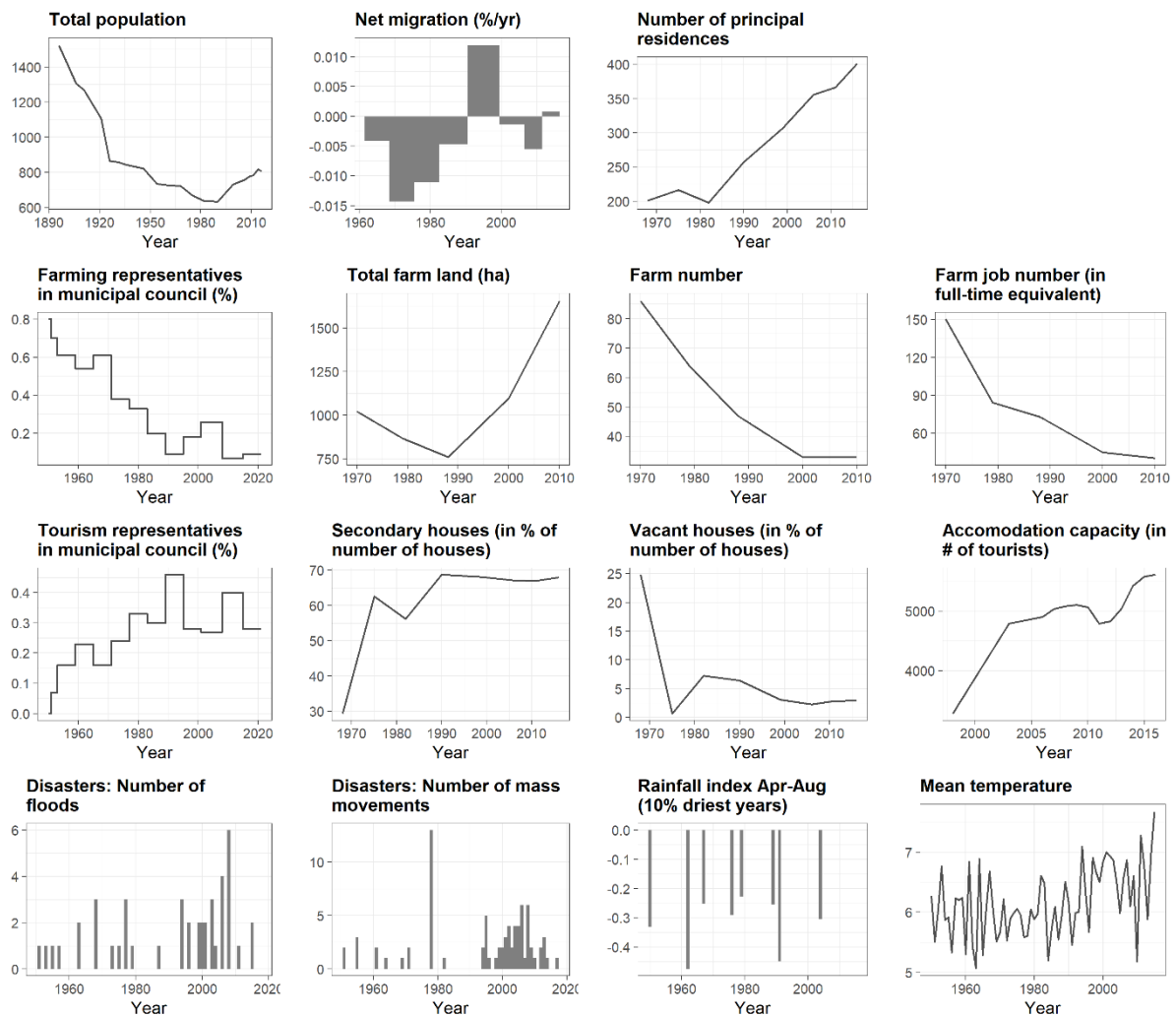


Figure 3. Historical changes of indicators related to population (top row - INSEE), agriculture (second row - Agreste), tourism (third row- INSEE), and disaster or climate (bottom row – Météo-France; ONF-BD-RTM) in the study area. For drought, we used a rainfall index representing the mean value over the months of April to August of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (Vicente Serrano et al. 2010) and we highlighted remarkable drought years by displaying only the 10% years with the lowest values.

1. Gradual transformation of the agricultural system (1900-1960)

In the 19th century, because of the steep topography and harsh winters in this high-altitude SES, people faced severe access restrictions and organized their activities to achieve food self-sufficiency through a system of family mixed farming and livestock rearing (cow and sheep for meat, dairy products and wool). These practices were essentially based on natural capital and widely available human workforce, skills, knowledge and collective organization (Rousset 1977). These assets were central to the farming system, especially for building terraces that enabled crop production. The rural exodus caused by the new attractiveness of cities and industries led to a gradual population decline (INSEE) (Figure 3 – top row) and in particular the departure of youth (Girel et al. 2010). This trend persisted until the 1980s and made labour-intensive agriculture impossible to maintain; only summer transhumance of sheep and cattle persisted. As agricultural supply chains were getting more organized and market demand was growing at the national level (Marshall plan 1947), mountain agriculture turned partly into dairy production because of the

high potential of alpine meadows for fodder production. As a result, a market established in the Briançonnais region, with a cooperative and milk collection in the villages for dairy production (Girel et al. 2010). From 1900, supported by the development of milk transformation infrastructure, farming families gradually transformed their activity towards dairy farming and stopped cropping. Formerly ploughed terraces were transformed, the most accessible and least steep ones into hay meadows and the others into pasture (Girel et al. 2010). The lack of workforce was compensated by technical innovation that emerged in the 1950s (motorized mower). This process was facilitated by the improved accessibility, with the Lautaret pass opening to vehicle traffic during winter (1955). This especially supported food supply, which was less and less locally produced.

During this period, the main driver was the emigration and the associated loss of workforce, which affected food NCP co-production at all steps. By taking advantage of the opportunity offered by dairy specialization, farmers profoundly transformed the agricultural NCP co-production system. Agroecosystem management (CP1) shifted from ploughed terraces to fertilized grasslands. The mobilization of production (CP2) was simplified from harvesting multiple products (cereals, vegetables, fodder, pasture...) to mowing and grazing, supported by mechanization from the 1950s. Finally, the multiple forms of appropriation and transformation of benefits (CP3) were progressively abandoned, replaced by larger infrastructure (dairy cooperative) to support milk transformation and trade. There was a profound change in the capitals mobilized for the co-production of these NCP with less labour, less animals and more machinery. This transformation was accompanied by a loss of traditional knowledge and skills associated with subsistence agriculture, but also by a shift in families and their lifestyle to a modern system, in which farming is a business. This adaptation also significantly impacted natural capital, through a transition from a cultivated to a grassland landscape, and a resulting increase in hay meadow biodiversity, fertility and soil stability (Lavorel et al. 2017).

2. Agriculture shift toward heifer and lamb breeding (1965-1990)

With the establishment of the Common Agricultural Policy (CAP) in 1962, the search for food self-sufficiency at national and European levels gradually led to the prioritization of the most productive or efficient activities and the decline of others. Because milk production in Pays de la Meije had no comparative advantage (Girel et al. 2010), this activity declined, the cooperative closed, and milk collection ended shortly before 1970 (Martin-Noel 1962). The future of agriculture was once again jeopardized, leading to farmland area and farm number decline until the 1990s (Figure 3 – second row). Following a different trajectory, some neighbouring valleys (in Savoie and Haute-Savoie for cattle and South French Alps for lambs) maintained agriculture by value-adding to products through geographic indication labels, such as the European Protected Designation of Origin like the creation of the Beaufort cheese label in 1968 in nearby valleys (Beaufort, Tarentaise and Maurienne). Farmers in these areas did not see value in raising non-productive heifers (juvenile and non-lactating cows) on high-quality grazing land. Meije farmers seized this opportunity to establish a trading link with breeding and selling heifers for these valleys. Livestock farming adapted to the new context by shifting herds toward heifer but also lambs breeding during the 1970s. This new production system was strengthened by growing mechanisation (tractors) and supported by subsidies from the CAP, in particular the compensatory allowances for permanent natural handicaps (ICHN) for disadvantaged regions

from 1975 (Schermer et al. 2016). The agricultural economy was also supported by the concurrent development of tourism, which offered an opportunity for multi-activity.

During this period, the collapse of the milk supply chain in the region forced local farmers to reorient the appropriation of benefits (CP3) from the sale of milk to the sale of heifers and lambs. As the management of meadows and pastures (CP1) and mowing and grazing practices (CP2) remained nearly the same, this adaptation had little impact on ecosystems and NCP other than animal productions.

3. Societal transformation following tourism development (1976-2000)

Benefiting from the first national development plan for mountain resorts (Snow Plan), the creation a small ski resort and a tourism office in the 1960s was a first attempt to develop tourism with the objective of reinvigorating the local economy heavily affected by rural exodus and a shrinking agriculture (Muscella 2004). However, as customers were attracted by larger skiing resorts, several tourism businesses closed in the 1970s (Girel et al. 2010). To address this challenge and respond to the growing demand for mountain outdoor activities, the municipality of La Grave intended to build a cable car to access the Meije high mountain massif, already well known for alpinism (Muscella 2004). This project took more than 10 years to be achieved, facing much resistance from public authorities, investors and the local population. Another key driver of change in this period was the creation of the Ecrins National Park, which conflicted with local tourism development objectives and associated ecological impacts of the cable car. Following tough negotiations, the Park decree was ratified by municipalities (1973), followed by the release of the authorization and funding for the cable car by regional authorities (1976-77) (Siniscalchi 2008). Once the cable car was in place, the local society transformed gradually from an agricultural to a leisure- and tourism-oriented economy mainly based on nature, as evidenced by the increase in accommodation during the 1990s (Figure 3 – third row). The transformation process peaked in the 1990s with the popularity of off-piste skiing at La Grave (Muscella 2004). The cable car infrastructure brought financial benefits for local businesses (*e.g.* accommodation, shops, tourism professionals). The composition of municipal councils, which are competent authorities in many land use decisions, mainly composed of farmers until the 1970s, diversified to include more tourism professionals (Figure 3 Figure – second row). The entire local community and many newcomers attracted by nature proximity for outdoor sports turned their activities towards mountain tourism (Martin 2014). Summer and winter mountain sports gradually developed and shifted from elite (alpinism and off-piste skiing) to more popular activities. The cable car and the National Park thus contributed to making an array of nature activities (*e.g.*, hiking, climbing, skiing, wildlife watching) widely accessible.

The accessibility provided by the cable-car infrastructure, as well as the national park, facilitated the co-production of many non-material NCP. For example, nature experiences, leisure activities in the mountain landscape and a new supporting identity driven by a change in the values for nature as a playground. Simultaneously, structural adjustments of power relations occurred in local institutions with the decreasing representation of the agricultural sector in favour of tourism (Figure 3Figure). There was significant capital involved in CP2 and CP3, but very limited capital in CP1: physical access (CP2) became essential to support development through the construction of transport infrastructure, particularly the cable car. The professionalization and construction of

tourist facilities, but also the creation of the imaginary around mountains increased social access, appreciation and appropriation of the benefits of nature (CP3). However, very limited changes in ecosystem management (CP1) apart from a low level of land take and soil sealing were necessary to allow this nature-based tourism development. Tourism was based on landscape beauty, which is partly the result of landscape management through agricultural activities (CP1). It can also be noted that a large part of the area was protected within the core area of the Park, which restricted the consequences of this transformation on landscapes and natural environments (CP1).

4. Agricultural system resistance to change (1990-2015)

Since 1990, multiple external drivers have pressured the farming system, which has been able to cope with small adjustments, without engaging in major transformation. Firstly, several changes in the CAP (in 1984, 1992, 2003 and 2015) to support rural development and the environment modified the requirements for obtaining subsidies (Schermer et al. 2016). The livestock breeding practices implemented in Pays de la Meije did not face restrictions to access subsidies, as they were already extensive enough to meet environmental requirements. Moreover, since 2003, with the help of the regional agricultural institutions and the Ecrins National Park, local farmers have been able to receive additional subsidies (agri-environment-climate measures) without modifying their practices, which has supported rural livelihoods and regional identity. Local land governance became more collective (creation of pastoral land associations) and land distribution changed (with fewer larger farms because of ageing population and the low rate of farm takeovers). The decrease in the number of farmers also caused a reduction in mown area and fertilization, in favour of grazed area (Lavorel et al. 2017). Since the 1980s, fodder availability as well as livestock breeding have been affected by recurrent droughts and increasing temperatures (Figure 3 – bottom row), which have led to increased mowing in less accessible grasslands or purchases of outside fodder (Lamarque et al. 2013). At the same time, the demand for transhumant grazing in high altitude grasslands has increased from pastoralists in the Southern Alps and Provence. Finally, tourism development has continued to support farming families through multi-activity.

During this period, there was a reconfiguration of capitals without change in the co-production of fodder. Financial capital from subsidies supporting CP1 and CP2 has evolved, power relations at municipal level did not change significantly, tourism representation remained strong, and the governance of land management (CP1) was reorganized by the establishment of bottom-up collective strategies. Because of droughts, the least accessible areas were remobilized for mowing and grazing (CP2), and the demand for transhumance (CP2) increased. Therefore, financial capital and rural identity, as along with the preservation of biodiversity as a condition for subsidies, became the main support for the co-production of fodder. These reconfigurations of capital have not led to changes in the landscape, but to declining fertility in hay meadows and declining biodiversity in grasslands converted from mowing to grazing (Quétier et al. 2007; Grigulis et al. 2013). While non-material NCP (such as recreation, tourism, leisure and aesthetic enjoyment) have greatly increased since the 1970s because of tourism, material NCP have remained stable and linked to forage production.

DISCUSSION

We studied the past trajectory of a social-ecological system to understand adaptive response mechanisms by analysing how human-nature interactions have changed over time through reconfiguration of NCP co-production. This systemic approach described adaptations through actors' agency in co-production. In the following we discuss the drivers of change, their impacts on NCP co-production associated mechanisms of adaptive responses and the nature of adaptive responses.

1. Drivers of change and impacts on nature contributions to people co-production

We found that multiple external drivers affected directly or indirectly the Pays de la Meije SES through multi-scale interactions. In Europe, changes in regional, national and EU policies, markets or consumption patterns have strongly influenced agriculture and tourism (Levers et al. 2015; Plieninger et al. 2016). Changes also often stemmed from interactions with trajectories of others systems (region, national) at various spatial and temporal scales (Fazey et al. 2015). For example, as observed in many mountain regions, demographic fluctuations reflect regional trajectories, with rural exodus resulting from loss of local farm employment, new job opportunities in close industrializing cities of the region, and the national urbanization (Hinojosa et al. 2016). We observed that drivers may impact all the co-production steps through capital reconfigurations, by affecting NCP supply with ecosystem management or mobilization (CP1/CP2), and/or NCP demand through appreciation and appropriation (CP3). For example, changes in societal demand for food combined to the development of new markets and agricultural policies affected all co-production steps, thus affecting both supply and demand of agricultural NCP. Social and environmental policies as well as changing leisure preferences and habits have led to the emergence of new tourism-related NCP demand and supply. These drivers have long been identified as having indirect effects on ecosystems (Nelson et al. 2006). However, here we highlight these drivers impact through the co-production of NCP. Numerous capitals were thus reconfigured, such as access conditions to financial capital, modification of power and local agency affecting collective and individual decisions, new perception and relation to nature, or shift in preferences and values of societies. These results reflect the prevalent role of external drivers, especially socio-economic and policies, in SES adaptation dynamics (Prokopová et al. 2018).

Commonly with many marginal systems, three drivers played a predominant role in Pays de la Meije's past socio-ecological trajectory. First, accessibility was a prerequisite for the local development, for supporting local livelihoods and tourism development (Geneletti and Dawa 2009; Schirpke et al. 2019). Second, external policies triggered local agency as Common Agricultural Policy subsidies, national regional development and tourism policies, national urban planning rules and nature protection imposed by national conservation policy (Briner et al. 2013; Gretter et al. 2018; Antoni et al. 2019). Finally, outgoing (farm) and incoming (tourism) migratory flows have determined population size and composition across time. These drivers are shared characteristics of mountain SES, and associated paradoxes of "Policies by outsider" and "in and out migration" (Klein et al. 2019), along with aging population (Ianni et al. 2015). While many mountain regions have experienced similar trajectories (Locatelli et al. 2017), other trajectories have been observed, particularly in terms of agricultural and tourism development (Spiegelberger

et al. 2018). For example, as few regions have been able to maintain agricultural activity, land abandonment is widespread in the Alps causing significant landscape transformation (Hinojosa et al. 2019; Schirpke et al. 2019). Rural activity has often given way to intensive tourism which is still ongoing today (Morán-Ordóñez et al. 2013). Moreover, some regions have been able to develop other types of activities such as industry, or to take advantage of close proximity to large urban areas. While in their past trajectories each SES experiences variations in the NCP mobilized, archetypes of NCP bundles can be found depending on the local context and their adaptive responses (Renard et al. 2015).

We note that in this SES adaptation has occurred in response to socioeconomic changes that threatened livelihoods, mainly in relation to economic and employment security. This contrasts with many other places where changes in natural capital have been the force towards SES transformation (Colloff et al. 2020). However, climatic and environmental drivers were rarely perceived by participants as main drivers impacting their livelihoods, although they can play an important role on natural capital reconfiguration. When climatic drivers were perceived by stakeholders (particularly droughts), we observed a difference between perceptions and climatic data. Some droughts did not appear in precipitation records but were perceived as such by farmers for years of lower fodder yields due to specific events like cold springs or rainy harvests. This finding is consistent with previous studies suggesting that farmers' perceptions are influenced by economic and psychological rather than purely biophysical impacts (Foguesatto et al. 2020). Despite actors perceiving recent signals of environmental changes, their discourses did not report past reconfiguration of NCP co-production due to change in natural capital. While climatic and environmental stressors are central to adaptation research, they are often not reported by actors as primary drivers of adaptation or of livelihood vulnerabilities (Mcdowell and Hess 2012; Räsänen et al. 2016). This may reflect their diffuse nature, along with intrinsic adaptation to harsh environments of SES subject to floods, drought, natural hazards or high climate variations like in mountains regions (Boissière et al. 2013; Klein et al. 2019).

2. Mechanisms of adaptive responses

Changes in the availability or accessibility of capital created vulnerabilities or opportunities triggering local communities' decisions. We observed two types of adaptive responses to these changes. First, during periods 1 and 2, farmers were forced to adapt their practices in order to avoid the collapse of the agricultural system and livelihoods creating a trade-off between the loss of traditional knowledge and skills, and the gain in economic and social conditions. In contrast, during period 3, local communities seized the opportunity to improve their livelihoods by developing tourism. This observation relates to a distinction often made to explain decisions (*e.g.*, entrepreneurship and migration decisions), between push motivation (the need to avoid an undesirable situation) and pull motivation (the willingness to reach a desirable situation) (Zimmermann 1996; Dawson and Henley 2012). Moreover, types of responses will strongly depend on the local context. Indeed, under the influence of the same large-scale drivers, other SES will take different trajectories due to local specificities and depending on the role of the affected NCP in local livelihoods (Jaligot et al. 2019). Collective or individual agency triggering adaptive responses is then facilitated or limited depending on threats or opportunities generated by changes among capitals involved in NCP co-production.

We observed multiple responses to drivers involving reconfiguration of NCP co-production and cascading effects on other co-production steps leading sometimes to systemic change. Drivers can directly affect one or several capitals involved in NCP co-production. All co-production steps may be impacted through cascading effects, as when loss of human capital (workforce) due to rural exodus reconfigured the entire food production system (period 1) and crop production ceased (CP1). Cascading effects can also be avoided when only one step of co-production is impacted, such as when change in dairy products markets (period 2) impacted value creation (CP3) and threatened the whole co-production of dairy farming (CP1/CP2/CP3). Systemic change was avoided during this period when local farmers seized the opportunity of a new market for heifer breeding (CP3) without changing the management or mobilization of fodder production (CP1&CP2). This was also observed in period 3 when increased demand from tourists for mountains activities (CP3) led locals and newcomers to co-produce new recreation NCP by increasing access, infrastructure and technical skills (CP2&CP3) without requiring dedicated ecosystem management (CP1). Lastly, part of the capital may reconfigure without impacting co-production actions as described in the maintenance of the farming system from 1990 (period 4). Mechanisms of adaptive responses can then be characterized by the degree of reconfiguration of the capitals they induce. These mechanisms, and thus adaptive capacity, therefore depend on the access to different capitals that is facilitated or hindered by the drivers of change (Freduah et al. 2019).

3. Nature of adaptive responses

This study has identified adaptive responses of different natures, ranging from incremental to transformational based on degree of reconfiguration of NCP and their co-production steps, and the amount of capital required for adaptation. We highlighted the role of agency in these adaptive responses and how path-dependency and resistance to change have emerged. Our analyses showed that the SES has undergone two major transformations since 1900 (periods 1 and 3), considering that responses are transformative when a SES fundamentally shifts its social and/or ecological properties and functions (Feola 2015; Colloff et al. 2017; Fedele et al. 2019). We observed that transformative responses required reconfigurations of multiple NCP co-productions, which were accompanied by important changes in human derived capitals but not always in natural capitals (i.e. change in ecosystem types, structures and functions).

The reconfiguration of NCP co-production leading to transformation can take two forms. First, existing NCP can be intensified, as shown by the transformative responses in period 1, when people shifted from subsistence agriculture to a market-oriented activity for few families (i.e. livestock rearing), creating significant societal change and shift in values (Carrer et al. 2020). Moreover, transformation of farming practices, here to fodder and dairy production, required the reconfiguration of all co-production steps using new capitals, such as skills, knowledge, tools and governance (Krausmann 2004) causing change in mountains landscape (Egarter Vigl et al. 2016). Second, new NCP whose social or economic value has increased can appear, as shown by the transformative responses in period 3, when arrival of new populations in the Alps (workers and tourists) attracted by nature and leisure activities caused a societal transformation; also called “amenity migrants” (Perlik 2006; Martin 2014). This transformation resulted from the massive mobilization of new human-derived capital to co-produce new recreational NCP, for example rules, skills, knowledge and funds needed for tourism businesses or building of trails and

infrastructure (Kariel and Kariel 1982). Thus, the development of a tourism-oriented population as well as the transformation of the local economy was generated by reconfigurations in values by putting leisure at the centre of local society, knowledge systems and in power relations with the growing importance of the tourism sector in decision making (Corneloup et al. 2004). The amount of human capital required for NCP co-production appears as a characteristic of transformation (Chhetri et al. 2019). Indeed, both transformations were accompanied by change in the values, rules and knowledge systems shaping the decisional context. This shift in decisional context, influencing community's agency and adaptive capacity, was necessary for a paradigm change leading to social transformation (Gorddard et al. 2016; Colloff et al. 2017).

Transformative adaptation often requires changes in ecological processes and relies on latent, sustained or novel NCP (Lavorel et al. 2020). The reported societal transformation in period 3 required only few changes in the ecological system. First, due to the low intensity of ecosystem management and the ecosystem protection thanks to limited infrastructure development and landscape conservation resulting from national rules and local willingness to preserve the landscape. Second, due to the type of NCP, indeed, non-material NCP often required less direct ecosystem management and more appropriation and appreciation actions (Bruley et al. 2021). Moreover, other NCP co-productions, e.g. food and fodder production management, contribute greatly to the development of new non-material NCP, like scenic beauty, by shaping the landscape. Also, synergies among different NCP co-production steps were required in transformative responses to allow new NCP co-production, such as the combination of natural landscape conservation (CP1), creation of access to nature (CP2) and practice of tourism professionals (CP3) for many non-material NCP developed.

We also observed incremental responses characterized by adjustment of the current system functioning while maintaining its fundamental characteristics (Chhetri et al. 2019; Fedele et al. 2019) when adjustments in NCP co-production allowed tourism and agricultural activities to persist (period 2 & 4). First, adjustments occurred in the capital involved in NCP co-production without changing the nature of co-production. For example, we observed adjustments of farmers collective governance, land allocation and farming practices in response to twenty years of changing institutional, financial and climatic conditions to maintain local livelihoods (period 4) (Schermer et al. 2016). Secondly, some incremental responses modified only one NCP co-production step to ensure that other co-production steps could be maintained. During period 2, farmers adjusted the transformation and valorisation of livestock products (CP3) while maintaining the other practices of livestock farming and fodder production (CP1 and CP2). While this is not a systemic transformation for the SES, this transition from dairy to heifer production resulted in a significant change in the identity of farmers. Indeed, this adaptation led to the dependence of their activity on external actors, but also to a loss of added value and local valorisation through the relocation of part of the activity (CP3). Thus, a significant change in the identity of a sub-system linked to a co-production step was not enough to trigger the transformation of the system. In these two examples, farmers maintained "business as usual" and avoided the costs and risks of developing new NCP co-production.

The entire trajectory of the Pays de la Meije SES reveals how path dependency and resistance of the system have increased over time, partly because of the dependence of agriculture and tourism on external drivers. After their transformation, farmers became dependent on heifer and lamb external markets, on European subsidies (more than 60% of farm incomes), and on tourism (providing off-farm jobs). The local tourism sector became dependent on the consumption

patterns or preferences of tourists, on accessibility, and on climatic conditions (snow for winter sports). Agricultural subsidies and winter sports constitute powerful economic attractors that encourage communities to maintain their activities and resist change (Bussey et al. 2012). Local communities have developed resistance to change and the SES is in a phase of accumulation of capitals. Using the metaphor of the adaptive cycle defined by Gunderson et al. (2002), we can consider that the SES is in a conservation phase, characterized by stabilization and accumulation (period 3 & 4). In the adaptive cycle, a conservation phase follows phases of reorganization and growth (which could be our periods 1 & 2) but leads to a progressive loss of flexibility and is followed by a phase of collapse or release (Antoni et al. 2019). We believe that period 4 and its increased climate change vulnerability illustrates such a conservation phase in spite of small adjustments, for example in farmers practices (Lamarque et al. 2014; Nettier et al. 2017) and in the subsidy system (Darnhofer et al. 2017). Actors will need to imagine new attractors in order to overcome dependencies that weaken the systems resilience over the long term.

The main capitals underpinning these dependencies are social and human capital related to institutions (*e.g.* external policies), formal and informal rules, power relations (*e.g.* farmers vs tourism professionals), values (*e.g.* leisure society) and preferences (*e.g.* consumption patterns). Social capital has been shown to play a key role in adaptive capacity, particularly in interactions with natural capital (Adger 2010; Barnett et al. 2015). As an example, the Pays de la Meije SES experienced a major crisis in 2015, when its main road access kept closed during 9 months after a large landslide. Although livelihoods were threatened by this road closure and had to adjust temporally, there was not enough coordination among actors to seize the opportunities of this crisis, engage in transformative responses, and reduce structural vulnerabilities (Bally et al. 2020). Resistance mechanisms constitute a barrier to future adaptation if communities cannot adjust to ongoing changes, including facing climate change (Chhetri et al. 2019) and fall into social-ecological traps (Boonstra and De Boer 2014). There is indeed a risk of entering an unwanted future trajectory, linked to the high level of specialisation, the rigidity of the agricultural and tourism systems, the lack of local actor's influence, and marginality of this SES facing increasing signals of biodiversity loss and climate change that could alter supporting ecosystems (Cumming 2018).

CONCLUSION

The last decade of sustainability research has strongly focused on adaptation of social-ecological systems, promoting a better understanding of mechanisms underpinning social-ecological adaptation, and especially how changing human-nature interactions contribute to adaptation. The empirical study of past trajectories has been suggested for informing adaptive capacity of social-ecological systems. In this study, we hypothesised that analysing trajectories of co-production of Nature's Contributions to People (NCP) could increase understanding of SES adaptation mechanisms by examining how human-derived and natural capitals were reconfigured in past ecosystem-based adaptations. We explored the past trajectory of a mountain social-ecological system by analysing the links of NCP co-production to drivers, impacts and adaptive responses.

We showed that co-production can be affected directly and indirectly by drivers of change, creating threats and opportunities leading the SES to adaptation depending on their impact on capitals and their importance for co-production of multiple NCP. Thus, one or more steps of co-

production may be affected, often accompanied by a cascading effect on the rest of the benefit chain. We also highlighted the predominant role of social and human capital in NCP co-production that trigger adaptive responses of communities. Adaptive responses could be underpinned by varying levels of reconfiguration of the co-production steps, or even the emergence of new NCP. Different types of adaptation could then be characterised ranging from resistance to adjustment and transformation. We observed that transformative adaptation requires significant reconfiguration or novel NCP co-production steps and major change in human-derived capital but not necessarily in natural capital. Conversely, adjustment and incremental change among NCP co-production could create system resistance to stabilize livelihoods and limit their resilience over the long term. Our results suggest that the transformation of a single step of co-production and thus of a part of a system is more likely to generate resistance rather than transformation, underlining the value of systemic change.

This study highlights the need for scientists to engage with local stakeholders and decision makers to co-produce knowledge based on past trajectories to inform future pathways. Indeed, the study of past SES trajectories and adaptation mechanisms could help local actors identify their strengths (mechanisms and capitals that supported adaptation in the past) and weaknesses (vulnerability and dependence on certain capitals, often external) for facing global changes. For example, nature appeared as an important capital supporting adaptive responses and on which actors can act. In addition, identifying dependencies on capitals on which actors cannot act could be an important step in increasing adaptive capacity. This was the case here with subsidies for agriculture, which are indispensable, but whose dependence could be reduced by developing direct sales or moving to higher value-added production. Also, the local economic dependence on tourism could be reduced by diversifying winter activities to ensure income despite the impacts of climate change on snow cover or by developing activities in other sectors.

Historical studies could be applied in other socio-ecological contexts in order to further explore adaptation mechanisms. Additional place-based research is needed to better understand how future adaptation plans can be informed by the analysis of past trajectories of human and nature interactions. Our results also suggest that a more in depth understanding of agency in adaptive responses would be required, informing heterogeneity and inequalities in adaptive capacity across actors, their power relations and access to capitals for NCP co-production.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper is a contribution from the Transformative Adaptation Research Alliance (TARA, <https://research.csiro.au/tara/>), an international network of researchers and practitioners dedicated to the development and implementation of novel approaches to transformative adaptation to global change. We warmly thank inhabitants of Villar d'Arène and La Grave for participation in workshops and interviews. We warmly thank the young researchers' group from CDP Trajectories for their investigations on the historical data and the trajectory of the Pays de la Meije. We also thank Jardin du Lautaret for hosting the research team (UMS 3370 Univ. Grenoble Alpes-CNRS). This work was carried out within the eLSTER site Zone Atelier Alpes. This research was funded through French Agence Nationale pour la Recherche projects MtnPaths (ANR-16-CE93-0008-01), Investissements d'Avenir CDP Trajectories (ANR-15-IDEX-02) and TRASSE (ANR-17-CE32-0012-01), and the CGIAR Research Program on Forests, Trees and Agroforestry (CRP-FTA) with financial support from the CGIAR Fund.

REFERENCES

- Adamson GCD, Hannaford MJ, Rohland EJ (2018) Re-thinking the present: The role of a historical focus in climate change adaptation research. *Global Environmental Change* 48:195–205 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.003>
- Adger WN (2010) Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change. In: Voss M. (eds) *Der Klimawandel*. VS Verlag für Sozialwissenschaften. pp 327–345
- Agreste La statistique agricole : Recensements agricoles. www.agreste.agriculture.gouv.fr
- Antoni C, Huber-Sannwald E, Reyes Hernández H, van't Hooft A, Schoon M (2019) Socio-ecological dynamics of a tropical agricultural region: Historical analysis of system change and opportunities. *Land Use Policy* 81:346–359 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.028>
- Bally F, Gabillet M, Laforgue D, Lavorel S, Peyrache-Gadeau V (2020) L'étude de la « Crise du Chambon » pour penser les rapports entre territoire, institutions, populations et sciences. *Nature, Sciences et Sociétés* 28:24–34 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/nss/2020019>
- Barnett J, Evans LS, Gross C, Kiem AS, Kingsford RT, Palutikof JP, Pickering CM, Smithers SG (2015) From barriers to limits to climate change adaptation: Path dependency and the speed of change. *Ecology and Society* 20: . <https://doi.org/10.5751/ES-07698-200305>
- Bergeret A, George-Marcelpoil E, Delannoy J, Piazza-morel D (2015) L'outil-frise : une expérimentation interdisciplinaire - Comment représenter des processus de changements en territoires de montagne ? Les Carnets du Labex ITEM <hal- 01230027>
- Boissière M, Locatelli B, Sheil D, Padmanaba, Michael Sadjudin E (2013) Local Perceptions of Climate Variability and Change in Tropical Forests of Papua , Indonesia. *Ecology and Society* 18: . <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5751/ES-05822-180413>
- Boonstra WJ, De Boer FW (2014) The historical dynamics of social-ecological traps. *Ambio* 43:260–274 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13280-013-0419-1>
- Briner S, Elkin C, Huber R (2013) Evaluating the relative impact of climate and economic changes on forest and agricultural ecosystem services in mountain regions. *Journal of Environmental Management* 129:414–422 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.07.018>
- Bürgi M, Silbernagel J, Wu J, Kienast F (2015) Linking ecosystem services with landscape history. *Landscape Ecology* 30:11–20 . <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0102-3>
- Bussey M, Carter RW (Bill., Keys N, Carter J, Mangoyana R, Matthews J, Nash D, Oliver J, Richards R, Roiko A, Sano M, Thomsen DC, Weber E, Smith TF (2012) Framing adaptive capacity through a history-futures lens: Lessons from the South East Queensland Climate Adaptation Research Initiative. *Futures* 44:385–397 . <https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.12.002>
- Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2021). Nature's contributions to people: Co-producing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112>
- Carrer F, Walsh K, Mocchi F (2020) Ecology, Economy, and Upland Landscapes: Socio-Ecological Dynamics in the Alps during the Transition to Modernity. *Human Ecology* 48:69–84 . <https://doi.org/10.1007/s10745-020-00130-y>
- Chhetri N, Stuhlmacher M, Ishtiaque A (2019) Nested pathways to adaptation. *Environmental Research Communications* 1:015001 . <https://doi.org/10.1088/2515-7620/aaf9f9>
- Colloff MJ, Martín-López B, Lavorel S, Locatelli B, Gorrdard R, Longaretti PY, Walters G, van Kerkhoff L, Wyborn C, Coreau A, Wise RM, Dunlop M, Degeorges P, Grantham H, Overton IC, Williams RD, Doherty MD, Capon T, Sanderson T, Murphy HT (2017) An integrative research framework for enabling transformative adaptation. *Environmental Science and Policy* 68:87–96 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.007>

- Colloff MJ, Wise RM, Palomo I, Lavorel S, Pascual U (2020) Nature's contribution to adaptation: insights from examples of the transformation of social-ecological systems. *Ecosystems and People* 16:137–150 . <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1754919>
- Corneloup J, Bourdeau P, Mao P (2004) Le marquage culturel des territoires touristiques de nature. *Revue de géographie alpine* 92:11–20 . <https://doi.org/10.3406/rga.2004.2317>
- Costanza R, Kubiszewski I, Heckbert S, Hibbard KA, Costanza R, Kubiszewski I, Heckbert S, Hibbard KA, Leeuw S Van Der, Jackson ST, Sinclair P, Sörlin S, Steffen WL, Folke C, Dearing JA (2012) Scholar Developing an Integrated History and future of People on Earth (IHOPE). 4:106–114 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.01.010>.This
- Cumming GS (2018) A Review of Social Dilemmas and Social-Ecological Traps in Conservation and Natural Resource Management. 11:1–15 . <https://doi.org/10.1111/conl.12376>
- Darnhofer I, Schermer M, Steinbacher M, Gabillet M, Daugstad K (2017) Land Use Policy Preserving permanent mountain grasslands in Western Europe: Why are promising approaches not implemented more widely? *Land Use Policy* 68:306–315 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.005>
- Davidson DJ (2010) The applicability of the concept of resilience to social systems: Some sources of optimism and nagging doubts. *Society and Natural Resources* 23:1135–1149 . <https://doi.org/10.1080/08941921003652940>
- Dawson C, Henley A (2012) “Push” versus “pull” entrepreneurship: An ambiguous distinction? *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research* 18:697–719 . <https://doi.org/10.1108/13552551211268139>
- Dearing JA, Acma B, Bub S, Chambers FM, Chen X, Cooper J, Crook D, Dong XH, Dotterweich M, Edwards ME, Foster TH, Mclean CE, Nunes LH, Raman S (2015) Social-ecological systems in the Anthropocene : The need for integrating social and biophysical records at regional scales. <https://doi.org/10.1177/2053019615579128>
- Diaz S, Demissew S, Carabias J, Di S, Joly C, Lonsdale M, Ash N, Larigauderie A, Adhikari JR, Arico S, Bartuska A, Baste IA, Bilgin A, Brondizio E, Chan KMA, Figueroa VE, Duraiappah A, Fischer M, Hill R, Koetz T, Leadley P, Lyver P, Mace GM, Martin-lopez B, Okumura M, Pacheco D, Reyers B, Pascual U, Pe ES, Roth E, Saito O, Scholes RJ, Sharma N, Tallis H, Thaman R, Watson R, Yahara T, Hamid ZA, Akosim C, Al-hafedh Y, Amankwah E, Asah ST, Asfaw Z, Bartus G, Brooks LA, Caillaux J, Dalle G, Darnaedi D, Driver A, Erpul G, Escobar-eyzaguirre P, Failler P, Moustafa A, Fouda M, Fu B, Gundimeda H, Hashimoto S, Homer F, Lavorel S, Lichtenstein G, Mala WA, Mandivenyi W, Matczak P, Mbizvo C, Mehrdadi M, Metzger JP, Mikissa JB, Moller H, Mooney HA, Mumby P, Nagendra H, Neshover C, Oteng-yeboah AA, Rubis J, Schultz M, Smith P, Sumaila R, Takeuchi K, Thomas S (2015) The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. 1–16 . <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson RT, Molnár Z, Hill R, Chan KMA, Baste IA, Brauman KA, Polasky S, Church A, Lonsdale M, Larigauderie A, Leadley PW, van Oudenhoven APE, van der Plaats F, Schröter M, Lavorel S, Aumeeruddy-Thomas Y, Bukvareva E, Davies K, Demissew S, Erpul G, Failler P, Guerra CA, Hewitt CL, Keune H, Lindley S, Shirayama Y (2018) Assessing nature's contributions to people. *Science* 359:270–272 . <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Dittrich A, Seppelt R, Václavík T, Cord AF (2017) Integrating ecosystem service bundles and socio-environmental conditions – A national scale analysis from Germany. *Ecosystem Services* 28:273–282 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.08.007>
- Egan PA, Price MF (2017) Mountain Ecosystem Services and Climate Change. A global overview of potential threats and strategies for adaptation, UNESCO. Paris
- Egarter Vigl L, Schirpke U, Tasser E, Tappeiner U (2016) Linking long-term landscape dynamics to the multiple interactions among ecosystem services in the European Alps. *Landscape Ecology* 31:1903–1918 . <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0389-3>

- Egarter Vigl L, Tasser E, Schirpke U, Tappeiner U (2017) Using land use/land cover trajectories to uncover ecosystem service patterns across the Alps. *Regional Environmental Change* 17:2237–2250 . <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1132-6>
- Fazey I, Wise RM, Lyon C, Câmpeanu C, Moug P, Davies TE (2015) Past and future adaptation pathways. *Climate and Development* 8:26–44 . <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.989192>
- Fedele G, Donatti CI, Harvey CA, Hannah L, Hole DG (2019) Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science and Policy* 101:116–125 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.001>
- Fedele G, Locatelli B, Djoudi H (2017) Mechanisms mediating the contribution of ecosystem services to human well-being and resilience. *Ecosystem Services* 28:43–54 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.011>
- Feola G (2015) Societal transformation in response to global environmental change: A review of emerging concepts. *Ambio* 44:376–390 . <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0582-z>
- Foguesatto CR, Artuzo FD, Talamini E, Machado JAD (2020) Understanding the divergences between farmer’s perception and meteorological records regarding climate change: a review. *Environment, Development and Sustainability* 22:1–16 . <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0193-0>
- Freduah G, Fidelman P, Smith TF (2019) A framework for assessing adaptive capacity to multiple climatic and non-climatic stressors in small-scale fisheries. *Environmental Science and Policy* 101:87–93 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.016>
- Geels FW, Schot J (2007) Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy* 36:399–417 . <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Geneletti D, Dawa D (2009) Environmental impact assessment of mountain tourism in developing regions: A study in Ladakh, Indian Himalaya. *Environmental Impact Assessment Review* 29:229–242 . <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.01.003>
- Girel J, Quetier F, Bignon A, Aubert S (2010) Histoire de l’agriculture en Oisans, Hautes Romanche et pays Faranchin - Villar d’Arène, Hautes Alpes
- Gorrdard R, Colloff MJ, Wise RM, Ware D, Dunlop M (2016) Values, rules and knowledge: Adaptation as change in the decision context. *Environmental Science and Policy* 57:60–69 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.12.004>
- Grêt-Regamey A, Brunner SH, Kienast F (2012) Mountain Ecosystem Services: Who Cares? *Mountain Research and Development* 32:S23–S34 . <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00115.S1>
- Gretter A, Ciolli M, Scolozzi R (2018) Governing mountain landscapes collectively: local responses to emerging challenges within a systems thinking perspective. *Landscape Research* 43:1117–1130 . <https://doi.org/10.1080/01426397.2018.1503239>
- Grier C, Alessa L, Kliskey A (2017) Looking to the past to shape the future: addressing social-ecological change and adaptive trade-offs. *Regional Environmental Change* 17:1205–1215 . <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1096-y>
- Grigulis K, Lavorel S, Krainer U, Legay N, Baxendale C, Dumont M, Kastl E, Arnoldi C, Bardgett RD, Poly F, Pommier T, Schloter M, Tappeiner U, Bahn M, Clément JC (2013) Relative contributions of plant traits and soil microbial properties to mountain grassland ecosystem services. *Journal of Ecology* 101:47–57 . <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12014>
- Gunderson LH, Holling CS, (Eds.) (2002) *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Island Pre. Washington, DC
- Hinojosa L, Napoléone C, Moulery M, Lambin EF (2016) The “mountain effect” in the abandonment of grasslands: Insights from the French Southern Alps. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221:115–124 . <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.032>

- Hinojosa L, Tasser E, Rüdiger J, Leitinger G, Schermer M, Lambin EF, Tappeiner U (2019) Geographical heterogeneity in mountain grasslands dynamics in the Austrian-Italian Tyrol region. *Applied Geography* 106:50–59 . <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.03.006>
- Ianni E, Geneletti D, Ciolli M (2015) Revitalizing Traditional Ecological Knowledge: A Study in an Alpine Rural Community. *Environmental Management* 56:144–156 . <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0479-z>
- INSEE (2016) Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). <https://www.insee.fr/fr/accueil>
- IPBES (2018) The regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Africa of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. ISBN No: 978-3-947851-05-8
- Jaligot R, Chenal J, Bosch M, Hasler S (2019) Historical dynamics of ecosystem services and land management policies in Switzerland. *Ecological Indicators* 101:81–90 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.007>
- Jepsen MR, Kuemmerle T, Müller D, Erb K, Verburg PH, Haberl H, Vesterager JP, Andrič M, Antrop M, Austrheim G, Björn I, Bondeau A, Bürgi M, Bryson J, Caspar G, Cassar LF, Conrad E, Chromý P, Daugirdas V, Van Eetvelde V, Elena-Rosselló R, Gimmi U, Izakovicova Z, Jančák V, Jansson U, Kladnik D, Kozak J, Konkoly-Gyuró E, Krausmann F, Mander Ü, McDonagh J, Pärn J, Niedertscheider M, Nikodemus O, Ostapowicz K, Pérez-Soba M, Pinto-Correia T, Ribokas G, Rounsevell M, Schistou D, Schmit C, Terkenli TS, Tretvik AM, Trzepacz P, Vadineanu A, Walz A, Zhllima E, Reenberg A (2015) Transitions in European land-management regimes between 1800 and 2010. *Land Use Policy* 49:53–64 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.003>
- Kariel H., Kariel P. (1982) *Socio-Cultural Impacts of Tourism: An Example from the Austrian Alps*. Swedish Society for Anthropology and Geography Wiley 64:1–16
- Klein JA, Tucker CM, Nolin AW, Hopping KA, Reid RS, Steger C, Grêt-Regamey A, Lavorel S, Müller B, Yeh ET, Boone RB, Bourgeron P, Butsic V, Castellanos E, Chen X, Dong SK, Greenwood G, Keiler M, Marchant R, Seidl R, Spies T, Thorn J, Yager K (2019) Catalyzing Transformations to Sustainability in the World's Mountains. *Earth's Future* 547–557 . <https://doi.org/10.1029/2018EF001024>
- Körner C, Ohsawa M, Spehn E (2005) Mountain systems. In: Island press WD (ed) *Millennium ecosystem assessment. Current state and trends: findings of the condition and trends working group*. pp 681–716
- Krausmann F (2004) Milk, manure, and muscle power. Livestock and the transformation of preindustrial agriculture in Central Europe. *Human Ecology* 32:735–772 . <https://doi.org/10.1007/s10745-004-6834-y>
- Lamarque P, Artaux A, Barnaud C, Dobremez L, Nettier B, Lavorel S (2013) Taking into account farmers' decision making to map fine-scale land management adaptation to climate and socio-economic scenarios. *Landscape and Urban Planning* 119:147–157 . <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.07.012>
- Lamarque P, Meyfroidt P, Nettier B, Lavorel S (2014) How ecosystem services knowledge and values influence farmers' decision-making. *PLoS ONE* 9: . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107572>
- Lavorel S, Colloff MJ, Locatelli B, Gorddard R, Prober SM, Gabillet M, Devaux C, Laforgue D, Peyrache-Gadeau V (2019) Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science and Policy* 92:87–97 . <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lavorel S, Grigulis K, Leitinger G, Kohler M, Schirpke U, Tappeiner U (2017) Historical trajectories in land use pattern and grassland ecosystem services in two European alpine landscapes. *Regional Environmental Change* 17:2251–2264 . <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1207-4>
- Lavorel S, Locatelli B, Colloff MJ, Bruley E (2020) Co-producing ecosystem services for adapting to climate

- change. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 375: .
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0119>
- Levers C, Erb K, Haberl H, Mu D, Rudbeck M, Marc J, Patrick JM, Mu D (2015) Archetypical patterns and trajectories of land systems in Europe. *Regional Environmental Change* 18:715–732 .
<https://doi.org/10.1007/s10113-015-0907-x>
- Locatelli B, Lavorel S, Sloan S, Tappeiner U, Geneletti D (2017) Characteristic trajectories of ecosystem services in mountains. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15:150–159 .
<https://doi.org/10.1002/fee.1470>
- Martín-López B, Leister I, Cruz PL, Palomo I, Grêt-Regamey A, Harrison PA, Lavorel S, Locatelli B, Luque S, Walz A (2019) Nature's contributions to people in mountains: A review. *PLoS ONE* 14:1–24 .
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217847>
- Martin-Noel J (1962) Une grande Coopérative laitière alpine : « Dauphilait ». *Revue de géographie alpine* 50:659–664 . <https://doi.org/https://doi.org/10.3406/rga.1962.1008>
- Martin N (2014) Les migrations d ' agrément , marqueur d ' une dynamique d ' après tourisme dans les territoires de montagne
- Mcdowell JZ, Hess JJ (2012) Accessing adaptation : Multiple stressors on livelihoods in the Bolivian highlands under a changing climate. *Global Environmental Change* 22:342–352 .
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.11.002>
- Météo-France Météo-France stations of Monétier-Les-Bains (1950-2018).
<https://donneespubliques.meteofrance.fr/>
- Meyfroidt P, Chowdhury RR, Bremond A De, Ellis EC, Erb K, Filatova T, Garrett RD, Grove JM, Heinimann A, Kuemmerle T, Kull CA, Lambin EF, Landon Y, Polain Y, Waroux D, Messerli P, Müller D, Nielsen JØ, Peterson GD, García VR, Schlüter M, Li BLT, Verburg PH (2018) Middle-range theories of land system change. *Global Environmental Change* 53:52–67 . <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.006>
- Morán-Ordóñez A, Bugter R, Suárez-Seoane S, de Luis E, Calvo L (2013) Temporal Changes in Socio-Ecological Systems and Their Impact on Ecosystem Services at Different Governance Scales: A Case Study of Heathlands. *Ecosystems* 16:765–782 . <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9649-0>
- Munteanu C, Kuemmerle T, Boltiziar M, Butsic V, Gimmi U, Lúboš Halada, Kaim D, Király G, Konkoly-Gyuró É, Kozak J, Lieskovský J, Mojses M, Müller D, Ostafin K, Ostapowicz K, Shandra O, Štych P, Walker S, Radeloff VC (2014) Forest and agricultural land change in the Carpathian region-A meta-analysis of long-term patterns and drivers of change. *Land Use Policy* 38:685–697 .
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.01.012>
- Muscella C (2004) Les enjeux de la construction d'un territoire de Haute Montagne : Etude du canton de la Grave (Hautes Alpes). *Faculté d'Anthropologie et de Sociologie, Université Lumières Lyon II*
- Nelson DR, de Souza Filho F d. A, Finan TJ, Ferreira S (2014) Trajectories of adaptation: A retrospectus for future dynamics. *Social-Ecological Systems in Transition* 121–136 . https://doi.org/10.1007/978-4-431-54910-9_7
- Nelson GC, Bennett E, Berhe AA, Cassman K, DeFries R, Dietz T, Dobermann A, Dobson A, Janetos A, Levy M, Marco D, Nakicenovic N, O'Neill B, Norgaard R, Petschel-Held G, Ojima D, Pingali P, Watson R, Zurek M (2006) Anthropogenic drivers of ecosystem change: An overview. *Ecology and Society* 11: .
<https://doi.org/10.5751/ES-01826-110229>
- Nettier B, Dobremez L, Lavorel S, Brunschwig G (2017) Resilience as a framework for analyzing the adaptation of mountain summer. *Ecology* a 22: . <https://doi.org/https://doi.org/10.5751/ES-09625-220425>
- ONF-BD-RTM Office National des Forêts –Base de Donnée - Restauration des Terrains de Montagne Evènements. <https://rtm-onf.ign.fr/>. Accessed 20 Aug 2005

- Palomo I (2017) Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature Review. *Mountain Research and Development* 37:179–187 . <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00110.1>
- Palomo I, Felipe-Lucia MR, Bennett EM, Martín-López B, Pascual U (2016) Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service Co-Production. *Advances in Ecological Research* 54:245–283 . <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Perlik M (2006) The Specifics of Amenity Migration in the European Alps. In: Moss L (ed) *The Amenity Migrants: Seeking and Sustaining Mountains and Their Cultures*, CABI Publi. Cambridge, pp 215–231
- Plieninger T, Draux H, Fagerholm N, Bieling C, Bürgi M, Kizos T, Kuemmerle T, Primdahl J, Verburg PH (2016) The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy* 57:204–214 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.040>
- Plieninger T, Kizos T, Bieling C, Dû-Blayo L Le, Budniok MA, Bürgi M, Crumley CL, Girod G, Howard P, Kolen J, Kuemmerle T, Milcinski G, Palang H, Trommler K, Verburg PH (2015) Exploring ecosystem-change and society through a landscape lens: Recent progress in european landscape research. *Ecology and Society* 20: . <https://doi.org/10.5751/ES-07443-200205>
- Prokopová M, Cudlín O, Včeláková R, Lengyel S, Salvati L, Cudlín P (2018) Latent drivers of landscape transformation in eastern Europe: Past, present and future. *Sustainability (Switzerland)* 10:1–17 . <https://doi.org/10.3390/su10082918>
- Quétier F, Rivoal F, Marty P, de Chazal J, Thuiller W, Lavorel S (2010) Social representations of an alpine grassland landscape and socio-political discourses on rural development. *Regional Environmental Change* 10:119–130 . <https://doi.org/10.1007/s10113-009-0099-3>
- Quétier F, Thébault A, Lavorel S (2007) Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological Monographs* 77:33–52 . <https://doi.org/10.1890/06-0054>
- Räsänen A, Sirkku J, Nygren A, Käkönen M, Kallio M, Monge AM, Kanninen M (2016) Climate change , multiple stressors and human vulnerability : a systematic review. *Regional Environmental Change* 16:2291–2302 . <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0974-7>
- Rau AL, von Wehrden H, Abson DJ (2018) Temporal Dynamics of Ecosystem Services. *Ecological Economics* 151:122–130 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.009>
- Renard D, Rhemtull JM, Bennett EM (2015) Historical dynamics in ecosystem service bundles. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112:13411–13416 . <https://doi.org/10.1073/pnas.1502565112>
- Rousset PL (1992) *Au pays de la Meije 3ème édition*, Curandera
- 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* 52:382–391 . <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.009>
- Schirpke U, Altzinger A, Leitinger G, Tasser E (2019) Change from agricultural to touristic use: Effects on the aesthetic value of landscapes over the last 150 years. *Landscape and Urban Planning* 187:23–35 . <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.03.004>
- Siniscalchi V (2008) *Économie Et Pouvoir Au Sein Du Parc National Des Écrins*. *Techniques & culture* 40–59 . <https://doi.org/10.4000/tc.3941>
- Spiegelberger T, Bergeret A, Crouzat É, Tschanz L, Piazza-Morel D, Brun J-J, Baud D, Lavorel S (2018) Interdisciplinary Construction of a Socio-ecological Vulnerability Trajectory Based on the Quatre Montagnes (Isère, France) Area from 1950 to 2016. *Revue de géographie alpine* 0–16 . <https://doi.org/10.4000/rga.5046>
- Stürck J, Schulp CJE, Verburg PH (2015) Spatio-temporal dynamics of regulating ecosystem services in

Europe- The role of past and future land use change. *Applied Geography* 63:121–135 .
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.009>

Tomscha SA, Gergel SE (2016) Ecosystem service trade-offs and synergies misunderstood without landscape history. *Ecology and Society* 21: . <https://doi.org/10.5751/ES-08345-210143>

Vicente Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI (2010) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate* 23:1696–1718 . <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Zimmermann KF (1996) European Migration: Push and Pull. *International Regional Science Review* 128:95–128 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/016001769601900211>

APPENDICES

Appendix 1. Data and references mobilized to construct chronosystemic timeline and results narratives.

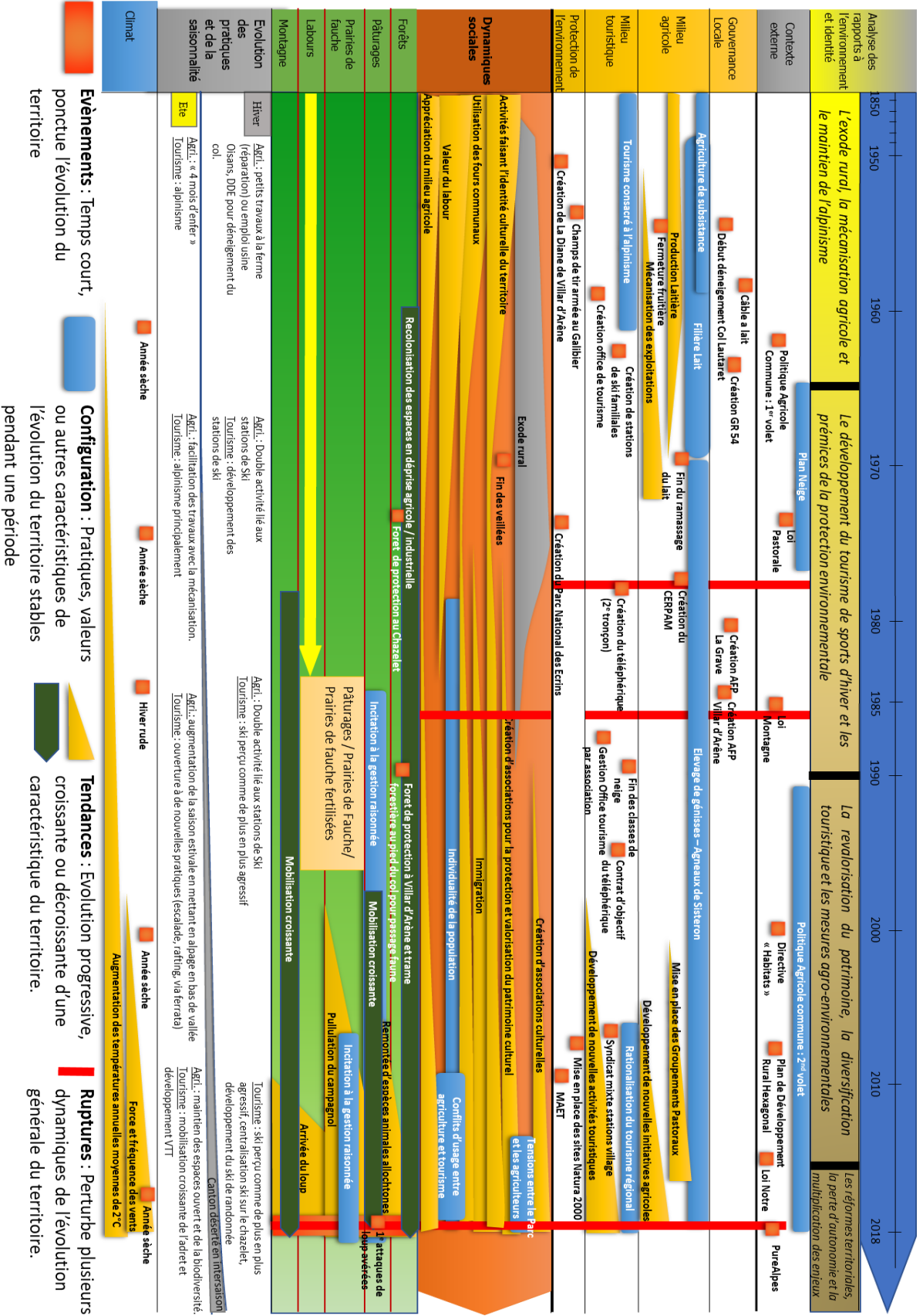
TYPE OF DATA	DATA SOURCES
Grey and scientific literature	<p>Agriculture history: Girel J, Quetier F, Bignon A, Aubert S, 2010 - Histoire de l'agriculture en Oisans, Hautes Romanche et pays Faranchin - Villar d'Arène, Hautes Alpes C. Gardelle, 1965 - La transhumance ovine entre les régions méditerranéennes et les Alpes en 1964 . In: Revue de géographie alpine, tome 53, n°3, pp. 449-477 L. Lazaro, 2015 - Estives en partage : une approche relationnelle des externalités du pastoralisme collectif pyrénéen. Manuscrit de thèse, Université de Toulouse Une grande Coopérative laitière alpine : « Dauphilait ». In: Revue de géographie alpine, tome 50, n°4, 1962. pp. 659-664. J. Ancteau, 2003 - L'évolution paysagère des dépôts détritiques de la vallée de la Haute Romanche. Rôles respectifs des pratiques agro-sylvo-pastorales et du réchauffement climatique, Mémoire de DEA – IGA F. Quétier , F. Rivoal, P. Marty, et al, 2010 - Social representations of an alpine grassland landscape and socio-political discourses on rural development. Reg Environ Chang 10:119–130. https://doi.org/10.1007/s10113-009-0099-3 S. Lavorel , K. Grigulis, G. Leitinger, et al., 2017 - Historical trajectories in land use pattern and grassland ecosystem services in two European alpine landscapes. Reg Environ Chang 17:2251–2264. https://doi.org/10.1007/s10113-017-1207-4 B, Locatelli, S. Lavorel, S. Sloan, et al., 2017 - Characteristic trajectories of ecosystem services in mountains. Front Ecol Environ 15:150–159. https://doi.org/10.1002/fee.1470 P. Lamarque, 2012 - Une approche socio-écologique des services écosystémiques. Cas d' étude des prairies subalpines du Lautaret. 248. Manuscrit de thèse, Université Grenoble Alpes.</p> <p>Tourism history: C. Muscella, 2004 - Les enjeux de la construction d'un territoire de Haute Montagne : Etude du canton de La Grave (Hautes-Alpes). Manuscrit de thèse, Université Lyon II Aubert S., Bignon A.. 2013. 150 ans de tourisme au col du Lautaret. Le rôle de la Compagnie de chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée et du touring Club de France dans les Alpes. Les cahiers illustrés du Lautaret. N°4 George-Marcelpoil E., Hugues F., 2012. Vallée de la Tarentaise : de l'invention du Plan Neige à la constitution 'un milieu innovateur dans le domaine du tourisme d'hiver. In : Histoire des Alpes, Vol. 17. ed: Association Internationale pour l'Histoire des Alpes.</p> <p>Broad history of the region: R. Canac, et B. Boyer, 1997 - Vivre ici en Oisans. Éd. Glénat S. Blaise, 1983 - Les mutations d'une société montagnarde à travers l'Histoire : l'exemple de la Haute Romanche. Mémoire de DEA – IGA C. Broggio, 1997- Montagne et développement territorial: de l'auto-développement au développement durable. L'Information géographique, 61-4 pp. 160-174</p> <p>Nature conservation history: A. Selmi, 2006 - Administrer la nature : Parc national de la vanoise. Paris, Eds. de la MSH / Eds. Quae, 487 p. J Peltier, 2008 - Plaines alluviales Alpines de Haute Romanche et du Vénéon. Analyse diachronique des paysages et tentative de proposition de gestion. Mémoire fin d'étude</p> <p>Cultural and heritage history: A. Mercan, I. Girard & S. Aubert. 2014. Ces bonnes choses que l'on mange et savoure en Haut-Oisans Ethnographie de l'alimentation en Haute-Romanche (La Grave et Villar d'Arène) Avec recettes incluses. Les cahiers illustrés du Lautaret. n°6 M. Maget, 1989 - Le Pain anniversaire à Villar-d'Arène en Oisans, Éd. des Archives contemporaines, 237 p ;</p> <p>National and local policies: M. Berriet-Sollicc, C. Déprés, et A. Trouvé, 2005 - « La territorialisation de la politique agricole en France ». Vers un renouvellement de l'intervention publique en agriculture ; P. Muller, 2000 - « La politique agricole française: l'État et les organisations professionnelles ». Économie rurale 255, no 1: 33 39. https://doi.org/10.3406/ecoru.2000.5153. Le technocrate et le paysan les lois d'orientation agricole de 1960-1962 et la modernisation de l'agriculture française 1945-1984-1945-1984. Paris: L'Harmattan, 2015. http://www.harmatheque.com/ebook/9782343050409.</p>
Databases	<p>Agriculture: Total farm land area (ha)/ Farm number/ Farm job number from 1970, 1979, 1988, 200 & 2010 from Recensement Agricole of La Grave and Villar d'Arène: Agreste - la statistique agricole : Recensements agricoles. www.agreste.agriculture.gouv.fr Link to database: https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-saiku/?plugin=true&query=query/open/G_2003#query/open/G_2003</p> <p>Climate: Temperature and precipitation from 1950 of Monetier Les Bains metrological station - Météo-France stations of Monétier-Les-Bains (1950-2018). https://donneespubliques.meteofrance.fr/</p> <p>Risks: Count of avalanche, rockfall, torrential flood, landslide, flood, erosion events between 1950 and 2017. Disaster database: ONF-BD-RTM Office National des Forêts –Base de Donnée - Restauration des Terrains de Montagne Evénements. https://rtm-onf.ign.fr/</p> <p>Demographic and social: Population index (from 1890 to 2017), migratory index, Residence, accommodation capacity (from 1970 to 2010) for La Grave and Villar d'Arène municipalities: INSEE Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). https://www.insee.fr/fr/accueil</p>
Municipal Archives	<p>Municipal council composition since 1950 Livestock registration since 1977 Other non-exploitable information</p>

Appendix 2. Participants description and participation to interviews and workshops

N°	Function	Sector	Gender	Time spent in the region	Participation to interviews	Participation to workshops
1	Mountain guide Local councillor	Tourism Decision making	M	40 years	X	X
2	Farmer Ex-Local councillor	Agriculture Decision making	M	15 years	X	
3	Farmer (retired) Local councillor	Agriculture Decision making	M	Since birth	X	
4	Mountain guide Truck farmer Carpenter	Tourism Agriculture Artisan	M	15 years	X	
5	Gite holder Hotel owners	Tourism	F	10 years	X	
6	Former director of the pastoral land association (AFP)	Tourism Agriculture	M/F	Since birth	X	
7+8	Gite holder Local councillor	Tourism Decision making	M	40 years	X	
9	President of a cultural association	Culture	M	20 years	X	
10	President of a hunting association	Leisure	M	Lives outside the area	X	
11+12	Former public service employee Local councillor	Public services Decision making	M/F	Since birth	X	X (+F)
13	Researcher (retired) Former member of the pastoral land association (AFP)	Academic Agriculture	M	60 years	X	X
14	Former Mayor Former public service employee	Public services Decision making	M	Since birth	X	X
15+16	Ski resort employee Secretary	Tourism Administration	M/F	Since birth		X
17	Municipal employee	Public services	F	30 years		X

ANNEXES

Annexe 4.1.



CHAPITRE 5

ANALYSE DE LA CO-PRODUCTION DES CONTRIBUTIONS DE LA NATURE A L'ADAPTATION FUTURE SOUHAITEE AU CHANGEMENT GLOBAL



Pastel – « De la moraine au glacier » - Etienne BRULEY - 1993

Dans ce chapitre, nous analysons comment les écosystèmes peuvent être mobilisés pour atteindre une vision souhaitée par les acteurs locaux. En se basant sur une scénarisation normative participative, nous avons analysé la vision souhaitée pour 2040 et les réflexions menées par les acteurs sur les stratégies et les leviers permettant d'atteindre cette vision. Nous nous sommes notamment intéressés aux actions de co-production des contributions de la nature à l'adaptation (NCA) nécessaires pour atteindre les objectifs d'adaptation. Nous avons ensuite évalué comment les communautés locales peuvent tirer parti de ces actions de co-production pour s'engager dans une trajectoire d'adaptation souhaitée. Il s'agit d'une étape préliminaire dans le processus de développement et de mise en œuvre de co-construction de trajectoires d'adaptation.

Nous nous sommes spécifiquement interrogés sur les questions suivantes dans ce chapitre :

- Quelles visions les parties prenantes ont-elles de leur avenir ?
- Quel est le rôle des écosystèmes dans ces visions souhaitées ?
- Quels changements dans les écosystèmes et les actions des acteurs sont nécessaires pour atteindre ces visions ?
- Comment la communauté locale peut-elle tirer parti de ces actions pour orienter le socio-écosystème sur une trajectoire d'adaptation souhaitée ?
- Comment l'adaptation basée sur les écosystèmes peut-elle contribuer à la réorganisation de la communauté et de la gouvernance locale en vue de la mise en œuvre de trajectoires ou stratégies d'adaptation ?

Analyses de la dynamique du jeu

Si les parties de jeu ont principalement servi de support de discussions avec les participants pour identifier les objectifs d'adaptation et les leviers et freins à l'adaptation, nous avons également pu analyser qualitativement les dynamiques d'adaptation empruntées par les joueurs. Ainsi, en se basant sur l'évolution des différents éléments du jeu et les actions des joueurs nous avons pu analyser de nouvelles dynamiques agricoles, touristiques, de vie locale et d'accueil des nouveaux arrivants. Différentes stratégies ont été développées pour chacune de ses dynamiques menant ainsi à différents scénarios en fin de partie.

Nous avons ainsi observé trois scénarios différents dont aucun ne correspondait pleinement à la vision initiale identifiée (Figure 1) :

Le premier scénario dit de « subsistance » qui se caractérise par un faible développement touristique voire un recul des changements ou un déclin de l'élevage au profit des produits locaux, et un développement de la vie locale principalement pour augmenter l'attractivité auprès des touristes et non des locaux. Les joueurs ayant abouti à ce scénario l'ont vécu comme un échec et l'état final du territoire n'était pas en accord avec leurs visions.

Le second scénario, dit « tourisme de masse », se caractérise par un important développement touristique qui implique de nouvelles infrastructures (développement du téléphérique) et un flux important de visiteurs, par un maintien des activités d'élevage et le développement de produits locaux et enfin par un développement de la vie locale en réaction au développement touristique permettant l'investissement dans des projets locaux. Ce scénario était perçu comme plutôt plaisant pour une partie des joueurs car donnait l'impression de pouvoir développer le territoire mais il a également fait l'objet d'un rejet de la part d'autres joueurs jugeant la transformation trop importante du territoire.

Enfin, le dernier scénario, appelé « équilibre », se rapproche de la vision formulée au préalable par les participants. Il se caractérise par une recherche de l'équilibre entre l'offre et la demande touristique, sans développement à outrance, un maintien des pratiques traditionnelles de l'élevage mais pas de nouvelles productions comme souhaité dans la vision et enfin un développement proactif de la vie locale pour les habitants. Seules deux parties ont atteint cet état final et les joueurs en étaient satisfaits.

Lors du processus de construction de la vision nous n'avions pas interrogé les participants sur les visions non souhaitées, les sessions de jeu ont permis à la fois de confirmer cette vision auprès de nouveaux acteurs mais également d'avoir certains avis divergents notamment sur le développement touristique souhaité pour ce territoire.

Stratégies		1	3	6	4	8	2	5	7	9	10	V
Dynamiques touristiques	Fort développement (Téléphérique) Maximisation du nombre de visiteurs							x	x	x	x	
	Equilibre offre et demande (répondre à la demande des visiteurs et maximisation de l'attractivité)					x	x					x
	Peu de développement ou échec dans le développement (trop d'offre et pas assez de demande)	x	x	x	x							
Dynamiques agricoles	Changement/ déclin de l'élevage (de la fauche aux produits locaux diversifier)	x	x	x							x	
	Développement de l'agriculture (Maintien de l'élevage et de la fauche + développement de nouvelles productions)				x			x	x	x		x
	Maintien des pratiques traditionnelles (élevage et fauche sans diversification)					x	x					
Développements de la vie locale	Développement actif de la vie locale					x	x					x
	Développement de la vie locale pour l'attractivité des visiteurs	x	x	x	x							
	Développement de la vie locale en réaction au développement touristique							x	x	x	x	
Accueil des nouveaux arrivants	Volonté et succès dans l'installation de nouveaux arrivants	x						x	x	x		x
	Volonté mais échec dans l'installation de nouveaux arrivants		x	x			x					
	Pas d'intérêt particulier pour l'installation de nouveaux arrivants				x	x					x	

Subsistance Equilibre Tourisme Vision

Figure 1. Stratégies mises en œuvre et scénarios atteints par les joueurs au cours des parties de jeu Adapta'Meije en termes de dynamiques touristiques, agricoles, de vie locale et d'accueil de nouveaux arrivants.

Par ailleurs, l'évolution des éléments du jeu en lien avec la mobilisation des écosystèmes ont également été intégrés à l'analyse de la demande en NCP effectué par Thibault Métris (M2 - Université Aix-Marseille), que j'ai encadré lors d'un stage de 6 mois intitulé : « Adaptation d'un socio-écosystème de montagne : évaluation saisonnière de la capacité des écosystèmes à répondre à la demande sociétale d'adaptation au changement climatique. ». Son rapport de stage est disponible à l'adresse suivante :

https://www.jardinalpindulautaret.fr/sites/sajf/files/RECHERCHE/PUBLICATIONS/rapportsst_agesince2018/tmetris_m2bee.pdf

Le travail de Thibault a tout d'abord consisté en la modélisation de la fourniture potentielle en NCP en 2040 en tenant compte des impacts du changement climatique et de l'utilisation des sols selon les différents scénarios identifiés dans les parties de jeu. Il a ensuite évalué qualitativement l'évolution de la demande future en NCP selon ces mêmes scénarios, sur la base de l'évolution des éléments du jeu, afin de comparer la fourniture potentielle et la demande future en NCP. Comme explicité dans ce chapitre, si ce travail révèle une augmentation de la demande sur l'ensemble des NCP analysés pour les différents scénarios, il met en évidence assez peu de changements au sein de la fourniture potentielle d'ici 2040, à l'exception des agroécosystèmes de prairies.

Ce chapitre est également présenté sous forme d'article, il sera très prochainement soumis au journal *Environmental Science and Policy*.

Bruley, E., Locatelli, B., Colloff, M. J., Salliou, N., & Lavorel, S. (n.d.). Identifying levers for ecosystem-based adaptation in a social-ecological system. <i>Environmental Science & Policy</i> . (<i>In prep</i>)

Participatory identification of actions and leverage points for ecosystem-based adaptation pathways in a mountain social-ecological system

To be submitted to: *Environmental Science and Policy*

Enora Bruley^{1*}, Bruno Locatelli^{2,3}, Matt Colloff⁴, Nicolas Salliou⁵, Thibault Métris¹ & Sandra Lavorel^{1,6}

¹ Laboratoire d'Ecologie Alpine, CNRS – Université Grenoble Alpes – Université Savoie Mont-Blanc, 38000 Grenoble, France

² Cirad, University of Montpellier, Montpellier 34398, France

³ Cifor, Lima 15024, Peru

⁴ Fenner School of Environment and Society, Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory 2601, Australia

⁵ Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, Institute for Spatial and Landscape Development, Planning of Landscape and Urban Systems (PLUS), ETH Zürich, Stefano-Franscini-Platz

⁶ Manaaki Whenua Landcare Research, Lincoln 7608, New Zealand

Keywords: adaptation pathways, nature's contribution to adaptation, ecosystem-based adaptation, co-production, transdisciplinary

ABSTRACT

Ecosystems support the adaptation of societies to global change through their contributions to people's quality of life. However, ecosystems and their role in adaptation are often overlooked in policy. Implementation of ecosystem-based adaptation (EBA) requires changes in structures, practices, processes underpinning human-nature interactions, including the co-production of nature's contributions to adaptation (NCA). We analysed the levers required to implement co-production of EBA to achieve a shared vision for the future by stakeholders of a mountain social-ecological system (SES) in the French Alps. This process is part of the early phases of an adaptation pathways approach. Using a participatory backcasting scenario approach, stakeholders designed a desired vision for 2040. Then, we used a serious game to guide reflections on strategies and levers for reaching their vision. We analysed co-production actions required to achieve adaptation objectives, based on changes in human and natural capital. We then assessed how local communities can leverage co-production actions to navigate a desired adaptation pathway. Conserving landscape multifunctionality and high-quality natural capital is essential for achieving the adaptation objectives. Though adaptation pathways require new co-production actions, natural capital was not a limiting factor. Synergies among multiple co-production actions create windows of opportunity for communities to achieve their desired vision via a combination of social levers. However, the deepest and most powerful levers, such as co-productive decision-making and design of a regional adaptation strategy, appeared the most difficult to activate. In this SES, EBA is mainly constrained by social barriers, reflecting low capacity for collaboration and communication among and between stakeholders and decision-makers: a symptom of democratic deficiency. Recognizing potential contribution of ecosystems to adaptation by maintaining and developing supply of NCA may help communities to re-structure and re-think their local social system to achieve desirable and sustainable adaptation pathways.

INTRODUCTION

Given delays and prevailing resistance to climate change mitigation, it is now urgent for societies to adapt to maintain their quality of life and livelihoods (Steffen et al. 2018, IPCC 2018). To tackle this challenge and avoid maladaptation, societies can reflect on adaptation pathways toward a desirable future (Colloff et al., 2017a). Adaptation combines coping, incremental or transformative changes of values, knowledge, rules, technology and behaviours in response to global changes (Fedele et al., 2019; O'Brien and Sygna, 2013). To ensure that these changes follow sustainable pathways, it is necessary to reframe social-ecological relationships, for example by reconnecting people to nature or recognizing the role of ecosystems for adaptation (Abson et al., 2017; Ives et al., 2018; Olsson et al., 2014).

People's livelihoods depend largely on the integrity of ecosystems and the benefits they provide, which are threatened by global change (Díaz et al., 2019). Sustainability science has acknowledged the role of ecosystems for sustainable adaptation to climate change under the umbrella of Nature-based Solutions, combining enhancement of livelihoods and natural systems (Cohen-Shacham et al., 2016). Nature-based Solutions encompasses a wide range of approaches, such as ecosystem restoration, protection and management, ecosystem-based risk reduction and use of green infrastructure (Seddon et al., 2020b). Among these, Ecosystem-Based Adaptation (EBA) focuses on the use of biodiversity and ecosystems to provide multiple social, economic and cultural co-benefits for local communities as part of broader adaptation strategies (CBD, 2009). By integrating nature conservation and socio-economic development, EBA can be central to adapting to change in social-ecological systems (SES) using an adaptation pathways approach.

EBA approaches remain poorly considered compared with conventional options (e.g. engineered infrastructure). Current research on EBA focuses on demonstrating its relevance, effectiveness and outcomes for climate change mitigation (Donatti et al., 2020; Reid et al., 2019; Seddon et al., 2020a), and on knowledge gaps and barriers hampering its implementation (Kabisch et al., 2016; Nalau et al., 2018; Rizvi et al., 2015). However, there is still a lack of evidence on how EBA can be integrated into broader adaptation strategies (Reid et al., 2019) and on the governance arrangements necessary for implementation (Wamsler et al., 2016).

The EBA approach is deeply connected with the concept of Nature's Contributions to People (Díaz et al., 2018). Nature's contribution to adaptation (NCA) is defined as the ecological processes providing benefits to increase people's ability to adapt to socio-economic and environmental changes (Colloff et al., 2020). To maintain their livelihoods, communities will need to modify their interactions with nature to sustain the supply of existing benefits where ecosystems persist under climate change or new benefits from ecosystems that will transform (Lavorel et al., 2019).

Benefits from nature are jointly produced by interactions among social and ecological processes. These interactions are referred to as processes of co-production (Lavorel et al., 2020; Palomo et al., 2016). Co-production involves human actions and inputs in a three-step process along a chain from ecosystems and their management to the flow of benefits (Bruley et al., 2021a; Lavorel et al., 2020). Ecosystem management actions (CP1) alter ecosystem structure and functions to obtain desired benefits (e.g. manuring of crops, planting trees or nature conservation); physical mobilization via harvesting or access to nature (CP2) provides a flow of material or non-material benefits (e.g. from mowing, collecting plants or visiting a scenic place); and, actions for the appropriation and appreciation of benefits (CP3) involve processes whereby people participate

in distributing, using and valuing the benefits (e.g. transforming and marketing of local products, enjoying natural arts and crafts, feeling attached to a place).

Ecosystem-based adaptation pathways and the co-production of NCA are enabled or constrained by multiple social-ecological elements. The difficulty of implementing adaptation actions can come from societal barriers such as values, knowledge, governance, economy and power structures within societies, and from physical and biological constraints (Eisenack et al., 2014; Nalau et al., 2018). To overcome these barriers, communities require new and different forms of agency that can be facilitated through the activation of leverage points for adaptation (Adger et al., 2009). There are two basic types of leverage points according to their ease to implement and effectiveness to engage more radical changes in societies for adaptation (Meadows 1999). Shallow leverage points are easier to implement but with limited overall system change; conversely, deep leverage might be more difficult to activate but brings more transformational change. The challenge is to identify and activate these deep leverage points enabling transformational changes in specific contexts (Abson et al., 2017; Fischer and Riechers, 2019). Hereafter, we use the simple term 'lever' as synonymous with 'leverage points'.

Adaptation strategies can be implemented at different temporal, spatial and governance scales according to salient adaptation issues. However, adaptation actions involving particular ecosystems and landscapes need to be implemented at the local scale, undertaken by local communities and governance systems (Balvanera et al., 2017; Rauken et al., 2015; Wamsler et al., 2014). Place-based studies of adaptation pathways are therefore co-designed with local stakeholders (Cradock-Henry et al., 2020).

In opting for an adaptation pathways approach to address climate change, local communities can empower themselves by engaging in processes of participatory production of knowledge and learning (Wyborn et al., 2019). These processes can facilitate learnings from shared experiential knowledge of past changes to the SES, predicting and anticipating future changes, and developing iterative and reflexive approaches to adaptation (Fazey et al., 2015). Among the many methods to co-produce adaptation pathways (Norström et al., 2020), backcasting allows stakeholders to define a desirable goal to reach in the future through a vision and then to reflect on strategies and associated sets of actions and values to achieve it (Falardeau et al. 2019; Lavorel et al., 2019). The purpose of this approach is not to propose a definitive plan for the future, but to explore what can be achieved in the long term as a contribution to planning and discussion within the local community (Carlsson-Kanyama et al., 2013).

Mountain SES are highly dependent on ecosystems, biodiversity and ecosystem services for livelihoods and wellbeing, which contribute to the quality of life of local inhabitants but also of lowland populations (Martín-López et al., 2019). These systems provide important contextual settings to understand the role of ecosystems for adaptation to climate change, because mountains have been affected by some of the earliest and greatest impacts of climate change (Palomo, 2017). In addition to harsh topographical and climate conditions, mountain societies are vulnerable to socio-economic changes due to their remoteness and high dependence on external drivers (Klein et al., 2019a).

In this paper we analyse how ecosystems can be harnessed to achieve a vision desired by stakeholders of a mountain SES, as a key part of the process of developing and implementing an adaptation pathways approach. We posit that ecosystems support multiple adaptation options that are underexploited because of social barriers. We asked the following questions: (i) What

vision do stakeholders hold for their future? (ii) What is the role of ecosystems in this desired vision? (iii) Which changes in ecosystems and actions by stakeholders are required to reach this vision? (iv) How can the local community leverage these actions to steer the SES along a desired adaptation pathway? (v) How does EBA contribute to community and governance reorganization toward adaptation pathways? We developed a participatory backcasting approach to design a desirable vision for the region in 2040 and identify levers and barriers to its achievement. Data from this two-year process was analysed with an analytical framework that assessed dependencies between potential levers (as perceived by participants), their influences on co-production actions required to benefit from NCA, and adaptation objectives required for achieving the vision (Figure 2).

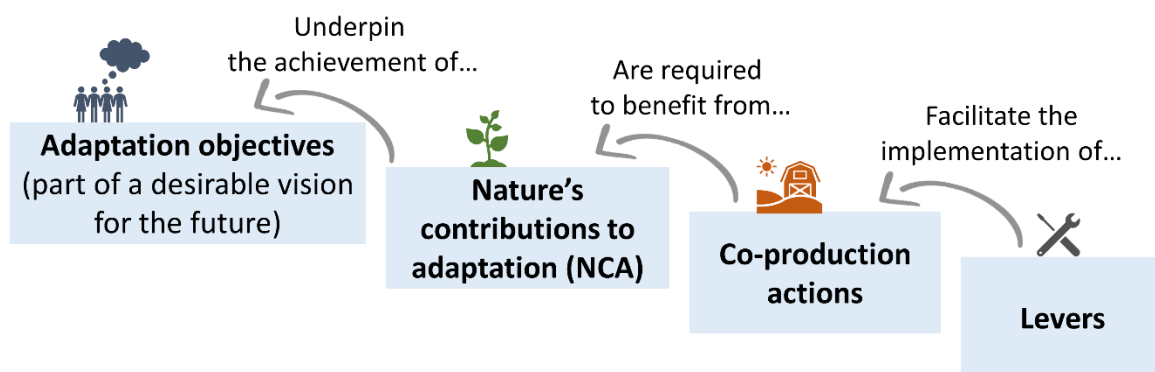


Figure 2. Analytical framework showing dependencies between potential levers, their influences on co-production actions required to benefit from NCA on which adaptation objectives depend to achieve the vision of a desirable future. Causality goes from right to left, whereas the order of the boxes from left to right corresponds to the successive steps of our analysis.

STUDY SITE

Located in the central French Alps at the edge of the Ecrins massif, Pays de la Meije comprises two municipalities, La Grave (484 inhabitants) and Villar d'Arène (322 inhabitants) covering 205 km² and ranging from 1135 to 3984 m in elevation (INSEE, 2016). Climate is alpine with Mediterranean influences and there has been an increase in mean annual surface temperature of 2°C since 1950 (Hock et al., 2019). The landscape is dominated by grasslands and summer pasture on south-facing slopes, and by forest (below 2200 m), sparse vegetation, rocks and ice on north-facing slopes. The latter are included in the core area of Ecrins National Park and host a skiing area. As in other alpine regions, local communities historically adapted to mountain topographic and biophysical constraints while becoming increasingly vulnerable to climate change and socio-economic changes since the early 2000s (Bruley et al. 2021b). Tourism, a major economic sector centred around summer and winter mountain recreation, has already experienced the effects of climate change, as well as economic competition from other resorts. The tourism industry depends heavily on winter activities but also on mountaineering, threatened by decreasing snow cover at mid-altitude, melting glaciers and increased rockfall risks (Hock et al., 2019). Agriculture, which is mainly based on rearing of heifers and lambs, benefits from a longer growing season but is already experiencing increased climate variability (Ménégoz et al., 2020). In particular, droughts and heatwaves make fodder production uncertain (Grigulis and Lavorel, 2020; Nettiér et al., 2017). Farmers strongly depend on European Common Agricultural Policy subsidies and

the survival of small farms is threatened by a diminishing workforce and limited availability of productive land. Local life is structured by the tourist seasons and employment is highly dependent on surrounding regions, making it vulnerable to external drivers such as tourist visitation. Beyond the specific living conditions imposed by topography, climate, and geographical and administrative remoteness, accessibility is limiting. For example, a recent landslide blocked the main road for over a year (Bally et al., 2020), and landslides will become more frequent with increased rainfall variability. The region is characterized by low average income, difficulties for first home buyers due to a high density of holiday homes (around 60% of all housing) and an unequal distribution of financial capital. There is an emigration deficit, with the departure of younger generations for education and job opportunities.

METHODS

To understand how communities can harness benefits from ecosystems to adapt to climate change, we identified and analysed desired adaptation objectives, nature’s contributions to these objectives, co-production actions to be implemented, and associated levers to be activated for adaptation. First, through a participatory process we identified adaptation objectives for the communities by establishing together normative scenario. Because this step engaged participants in expressing their perceptions, it enabled a first analysis of barrier of levers. Second, a qualitative data analysis identified NCA that contribute to the adaptation objectives and the capacity of ecosystems to supply them. The analysis also explored how co-production actions contribute to NCA and how levers can influence the implementation of these actions (Table 1).

Table 1. Description of the data collection and analysis steps

Step (P for Participatory, D for desk analysis)	Details of data source and collection methods	Details of data analysis	Analysis outputs
P1 - Visioning (39 participants - April to June 2018)	<p>Two workshops (20 participants in 4 groups): Groups designed their vision based on values and the desired quality of life and activities for 2040 in a context of global change. Visions were then shared and discussed by all participants.</p> <p>Two focus group (11 participants): (1) Agriculture: Discuss feasibility of the vision for agriculture (5 farmers). (2) Habitability: Discuss living conditions in the vision (6 women)</p> <p>Ten semi-structured interviews (10 key actors not represented in the workshops): Discuss, validate and enrich the common vision with new points of view.</p>	<p>Aggregating the four visions after the two workshops because they were similar</p> <p>Consolidating all information into a final common vision</p> <p>Identifying and classifying EBA objectives in the vision</p>	<p>Common vision in 2040</p> <p>Lists of EBA objectives</p> <p>Values associated with the vision - qualitative information</p>

<p>P2 - Gaming (46 participants – May to September 2019)</p>	<p>Ten game sessions (36 participants - between 2 and 6 participants per game): Game sessions structured by:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2h game - players make individual and collective decisions to maintain local quality of life in response to climate and socio-economic events in 2020-2040 (full description of the game in Appendix X). - 1h debriefing of first impressions, game strategies, levers and barriers to adaptation. <p>Nine semi-structured interviews (actors with in-depth knowledge of the region): Based on game sessions outputs, identify concrete adaptation actions, barriers and levers</p>	<p>Refining adaptation objectives based on adaptation strategies discussed during the game linked to the vision</p> <p>Classifying levers and barriers perceived by participants into potential levers for adaptation.</p>	<p>Refined information on adaptation objectives</p> <p>List of potential levers for adaptation</p> <p>Influences of levers on actions - - qualitative information</p> <p>How ecosystems are considered for adaptation by participants - qualitative information</p>
<p>D1 - Matrix analysis</p>	<p>Four elements:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adaptation objectives: data collected from visioning and gaming - Nature's contribution to adaptation (NCA): Identification and classification of NCA based on IPBES NCP classification - Co-production actions: Identification of human actions required to benefit from NCA - Potential levers for adaptation: Based on debriefings and interviews of gaming process. 	<p>Coding qualitative data to build dependence matrices (0= no link, 1= facilitating and 2= necessary):</p> <ul style="list-style-type: none"> - How adaptation objectives depend on NCA - How NCA depend on co-production actions - How co-production actions depend on leverage activation. <p>Linking the three matrixes using a network representation</p> <p>Grouping adaptation objectives and NCA, and NCA and co-production actions using a network community detection algorithm</p>	<p>Representation of the dependences between levers, co-production actions, NCA and adaptation objectives.</p>
<p>D2 - Lever analysis</p>	<p>Using dependence matrices between co-production actions and potential levers.</p> <p>Using participants perception on each lever as current barrier and potential lever for adaptation.</p>	<p>Assessing the actionability of potential levers based on participants perception</p> <p>Assessing the effects of levers on co-production actions using the matrix from step D1.</p>	<p>Analysis of levers.</p>
<p>D3 - Background material: NCA future supply modelling</p>	<p>Land cover map, climate change scenario, and existing ecosystem models to assess future NCA supply.</p>	<p>Modelling the potential supply of 12 NCA under climate change</p>	<p>Percentage of change in modelled NCA supply in 2040</p> <p>Qualitative appreciation of NCA demand in 2040</p>

1. Participatory backcasting scenario approach

Following a normative scenario approach, we first co-designed a common vision for 2040 and then co-produced adaptation pathways using a serious game. A total of 68 stakeholders, from various socio-economic sectors (agriculture, tourism, culture, engineering, science, government & organisations, trade-workers, mobility, nature conservation, public services and students), age and gender, were involved in one or several steps of the participatory process (Appendix 1). Participants were invited from a list of actors previously involved in the overall project (Bruley et al., 2020, Bruley et al., 2021b), complemented by snowball sampling and open invitations disseminated through municipalities and tourism offices. We chose the 2040 horizon because it allowed participants to project themselves into a future determined by the decisions and actions in coming years.

Firstly, the visioning process helped to co-design a vision of a desirable future for Pays de la Meije in 2040 under climate change (P1 in Table 1). The information gathered during this process was consolidated into a final version of the common vision (graphical summary in Appendix 2) and allowed us to identify adaptation objectives. Secondly, we designed a serious game to engage participants into possible adaptation strategies (Salliou et al. in review). The game modelled local development between now and 2040 in the context of climate and socio-economic changes (Table 1, P2). The game was based on players' capacity to adjust their individual activities and develop collective projects to satisfy demands from incomers (tourists or new residents) and to maintain local working and living conditions threatened by climate and socio-economic events. Individual or collective decisions made by players to adapt or anticipate these events affected the flow of incomers, landscape attractiveness, and living conditions, and were key to achieving the vision. Details on the game description and rules of play are Appendix 3 and Salliou et al. (in review). Adaptation strategies during the game and levers and barriers to adaptation were immediately discussed during a debriefing and further queried during follow-up interviews.

2. Data analysis

To support a systemic analysis, the data obtained and classified from the participatory process (adaptation objectives and potential levers) was coded into three matrices representing: (1) how adaptation objectives depended on NCA; (2) how NCA depended on the implementation of co-production actions, and (3) how co-production actions depended on potential levers (D1 & D2 in Table 1). NCA were identified based on the IPBES framework (Diaz et al. 2018). To better fit our data, we grouped or split several IPBES categories: water quality and quantity were grouped as water regulation; cultivated materials and medicinal products were grouped as cultivated products; wild food, materials and medicinal products were grouped as wild products; soil protection was split into soil fertility and erosion control and psychological and psychosocial experiences were separated.

Co-production actions were identified across the three steps of the co-production (CP) chain. Identified actions encompassed actions of ecosystem management (CP1), ecosystem mobilization and access (CP2) and benefits appropriation and appreciation (CP3) (Lavorel et al. 2020, Bruley et al. 2021a). A common coding was applied to characterize the dependence among matrix elements: with 0 for no dependence, 1 for facilitating and 2 for necessary. We represented the interactions between the four elements of the analytical framework (Figure 2) as a network, with

one column for each element. The nodes in each column were connected to the nodes of the previous or subsequent column based on the interactions coded in the three matrices. Lastly, we clustered adaptation objectives that depended on similar NCA using a community detection algorithm on the network data (*fast-greedy*; Csardi 2018). Finally, we clustered co-production actions that influenced similar NCA and levers that influenced co-production actions.

To assess ecosystem capacity to sustain the future demand for NCA, we modelled the potential supply by 2040 of 12 NCA using existing models for projecting impacts of climate and land cover changes resulting from the game (Appendix 4).

RESULTS

The results are organized in four subsections along our analytical framework (Figure 3) highlighting the dependency between overarching adaptation objectives, NCA bundles, sets of co-production actions and groups of levers (Figure 3).

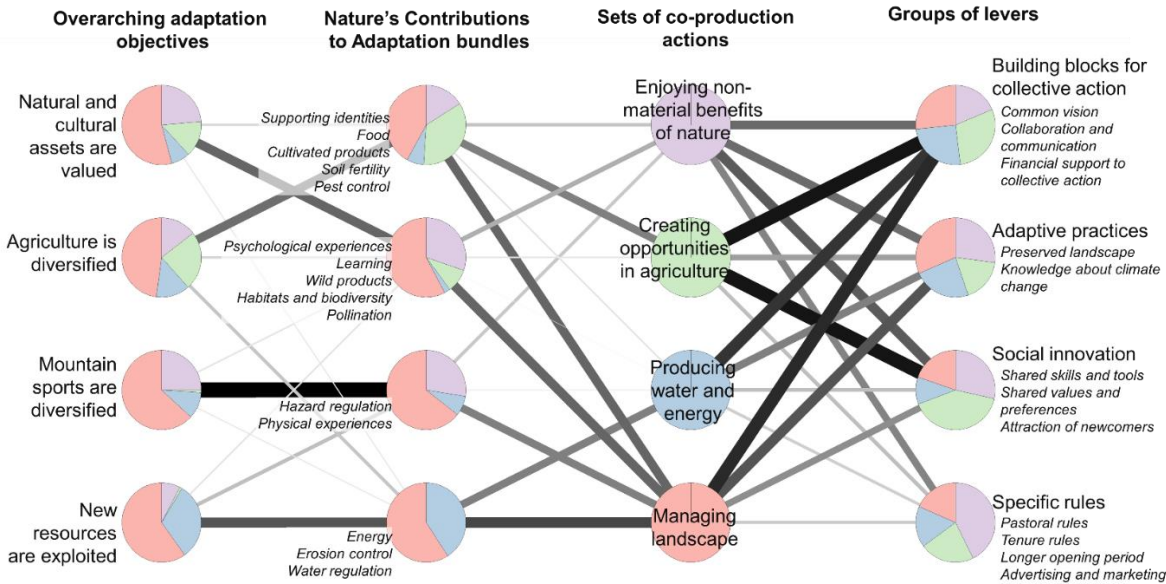


Figure 3. Representation of the dependency links between the overarching adaptation objectives, NCA bundles, sets of co-production actions and groups of levers. Overarching adaptation objectives and corresponding bundles of NCA (column 1 and 2) are based on clustering of adaptation objectives according to their dependence on NCA (details in Figure 4). Sets of co-production actions (column 3) are based on clustering of co-production actions according to their contribution to NCA (details in figure 5). Groups of levers (column 4) are based their nature and their leverage effect on co-production actions sets (details in Figure 6). Colours in the pie charts represent the four sets of co-production actions and how they contribute to bundles of NCA and to overarching adaptation objectives, and on which groups of levers they depend. The pie charts show the contribution of each set of co-production actions. The thickness of the lines is proportional to the strength of the link between two clusters. (Details of the whole network in Appendix 5)

1. Adaptation objectives related to ecosystems

From the visioning and gaming process, we identified 11 ecosystem-based adaptation objectives to maintain local quality of life under climate and socio-economic changes. The objectives were related to different interests and activities (e.g., tourism, agriculture, daily life, and natural or cultural heritage) and involved multiple stakeholders (e.g., farmers, tourist professionals, craftspeople, scientists, teachers, or newcomers involved in developing new activities) (Table 2, fifth column). Some adaptation objectives, like those about governance, mobility and daily life, were excluded from this analysis because they were not directly related to ecosystems. Participants presented these adaptation objectives in response to climate change, in particular to decreasing snow cover and longer summer seasons, but also to changing socio-economic drivers, like new consumption patterns and the risk of homogenization of mountain valley identities. They also saw adaptation objectives as a way to cope with economic difficulties by increasing high value-added products and services (Table 2, fourth column).

Table 2. Description of adaptation objectives derived from visioning and gaming.

Adaptation objectives	Description	Adaptation to what?	Who is involved?
Diversify leisure	Diversify and adapt recreational practices to climate change and year-round soft-tourism, develop activities requiring little infrastructure	Climate change (weather variability, increasing risks, increasing temperature); tourist demand; competition from other mountain areas	Tourism professionals (guides, huts, shops...), mountain practitioners
Scientific tourism	Develop scientific tourism especially about climate change in the mountains ("open-air laboratory"). Rely on the local scientific centre and environment richness	Climate change (weather variability, increasing risks, increasing temperature) as an opportunity; tourist demand	Tourism professionals (guides, national park staff...), mountain practitioners, visitors, scientists, teachers
Winter sports	Diversify winter activities with emerging activities outside resort (ski touring, kite-surfing, Nordic skiing) and maintain winter identity ("free ride")	Climate change (decreasing snow cover, increasing risks & temperature); tourist demand; competition from other mountain areas.	Tourism professionals (all), winter mountain practitioners, new visitors
Diversify agriculture	Grow products with high added value on terraces and offer local products for inhabitants and visitors through local distribution channels. Create a local brand. Gain independence from agricultural subsidies	Low incomes from agriculture; change in consumption pattern; competition from other mountain areas; climate change as an opportunity (longer growing season); homogenization of mountain regions identity	Farmers, local retailers, Inhabitants, visitors, agricultural institutions
Agro-tourism	Introduce visitors to mountain agriculture, promote know-how and local products. Allow farmers to benefit directly from tourism	Tourist demand; competition from other mountain areas	Farmers, artisans, tourism professionals (link to agriculture)
Irrigation system	Create water retentions for irrigation to meet the demand for land under cultivation and increase drought resistance for fodder production	Climate change; increasing downstream demand for water	Farmers, municipalities
Maintain livestock	Maintain livestock farming and pastoral activities to maintain open landscape identity. Diversify of livestock production to obtain direct incomes	Low incomes from agriculture; homogenization of mountain regions identity	Livestock farmers, agricultural institution, distribution channel, retailers

Education	Develop activities to educate and raise awareness of visitors to the local values, natural and cultural specificities (habits, risk management, daily life, use of nature...). Develop spaces for exchange between locals and visitors	Biodiversity loss; competition from other mountain areas; tourist demand; climate change (weather change, increasing risks, increasing temperature); homogenization of mountain regions identity	Tourism professionals (all), mountain practitioners, visitors, local inhabitants
Preserve nature	Preserve the landscape which makes the identity of this region. Limit urbanization, infrastructure and preserve the richness of ecosystems	Homogenization of mountain regions identity	Municipalities, inhabitants, National Park
Green energy	Produce green energy to achieve "energy autonomy" through solar, hydroelectric and wood fuel. Improve buildings energy efficiency	Rising energy costs; competition for energy resources	Municipalities, inhabitants
Arts & Crafts	Develop arts and crafts by allowing settlement of artisans. Attract new skills to strengthen the creative and cultural aspect.	Tourist and inhabitants demand; competition from other mountain areas; change in consumption pattern	Local communities, newcomers, visitors

2. Dependence of adaptation objectives on NCA

We identified four overarching adaptation objectives according to their dependence to NCA (Figure 3, column 1&2, and details in Figure 4): (i) "Natural and cultural assets are valued" including objectives linked to sharing and preserving natural and cultural assets (*Scientific tourism, Preserve nature, Education, and Arts and crafts*); (ii) "Agriculture is diversified" including objectives solely linked to farming (with *Agro-tourism, Diversify agriculture, and Maintain livestock*); (iii) "New resources are exploited" including *Green energy* and *Irrigation system*; and, (iv) "Mountain sports are diversified" (with *Winter sports* and *Diversify leisure*).

NCA were key to achieve all adaptation objectives, and synergies existed between NCA that simultaneously benefited multiple objectives, forming bundles of NCA. Tourism-related objectives were spread across three overarching objectives, which highlights that tourism depends on multiple NCA bundles. The first two overarching objectives were linked to multiple NCA, and had many in common, whereas the last two were linked to distinct NCA. Some NCA like habitat and biodiversity, water regulation and psychological experiences played a central role, with links to at least three overarching objectives (Figure 4, pie charts). However, no NCA was common to all objectives and some more specific NCA were linked to one or few objectives, like energy or physical experiences. Non-material NCA (supporting identities, psychological experiences, learning) and material NCA (food, cultivated products) underpinned the overarching objectives of "Natural and cultural assets are valued" and "Agriculture is diversified". In contrast, regulating NCA were common across overarching objectives and acted as intermediate NCA for all of them. Only water and hazard regulation NCA were critical for the objectives "New resources are exploited" and "Mountain sports are diversified".

Modelling potential supply and demand of NCA by 2040 revealed that under land-use changes associated with the vision and climate change scenarios, most ecosystems would be able to support future demand associated with the adaptation objectives (Appendix 6). While future demand increased or was stable for almost all NCA, potential supply varied across NCA. Potential supply of crops and some regulating NCA (like soil fertility) increased. Supply was stable for some non-material NCA (opportunities for recreational activities or scientific tourism and landscape aesthetic). Potential supply decreased for grassland NCA (water regulation, fodder production or erosion control). Thus, the potential supply capacity of NCA appeared not to limit adaptation objectives except for maintenance of livestock, which is highly dependent on grassland NCA.

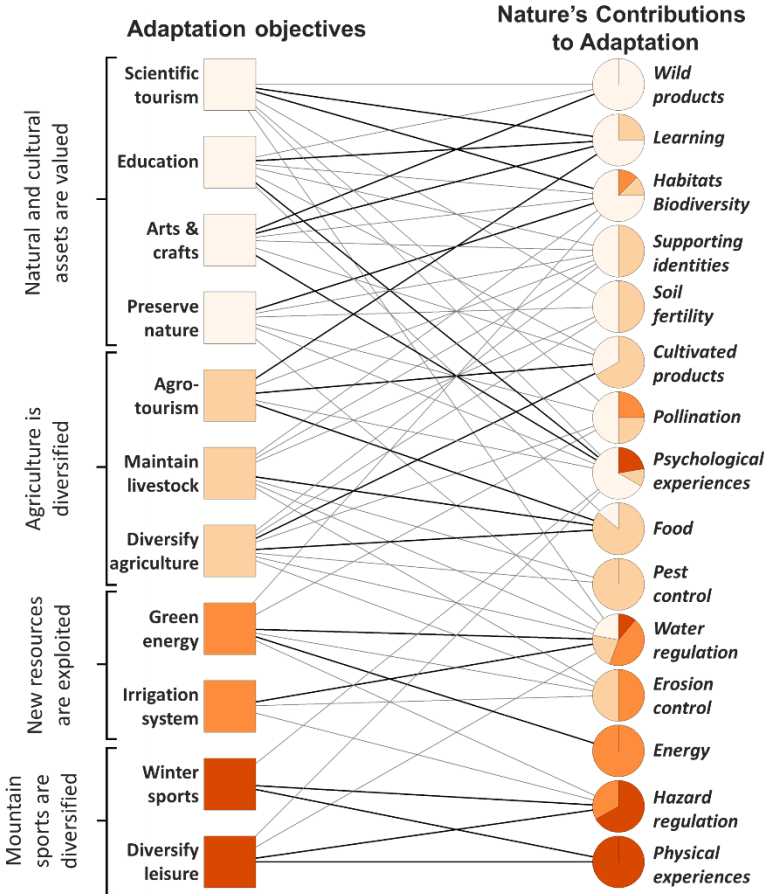


Figure 4. Network representation of the dependences between adaptation objectives (column 1) and Nature's contributions to adaptation (NCA) (column 2). Colours represent 4 overarching adaptation objectives depending on NCA that are necessary (thick lines) or facilitating (thin lines) for their achievement. The pie charts show the contributions of NCA to each overarching adaptation objectives.

3. Co-production actions for adaptation

We identified 16 co-production actions required to co-produce NCA (Appendix 7) forming four sets of actions according to their contribution to NCA (Figure 5): (1) "Managing landscape", including management of forests, natural and cultivated lands; (2) "Producing water and energy", including production of hydroelectricity and biomass energy, water management, access and distribution; (3) "Creating opportunities in agriculture", about harvesting, transforming and marketing products; and (4) "Enjoying non-material benefits of nature", including mostly appropriation and appreciation actions but also harvesting of wild products and access to nature.

“Managing landscape” actions were required for all NCA. Other actions had a more targeted effect on specific NCA, like “creating opportunities for agriculture” actions on food, cultivated products or supporting identities, or “producing water and energy” actions on food, cultivated products, energy and water regulation. Actions of “enjoying non-material benefits of nature” were mostly required for non-material and material NCA. While some NCA depended mainly on one set of actions, such as regulating NCA for “managing landscape” actions, other NCA, mostly material, depended on actions from all action sets (like wild and cultivated products, food and supporting identities).

Most sets of co-production actions contributed to all adaptation objectives (Figure 3, column 3 to 1), like “managing landscape” actions which were critical to achieve all objectives. This was also the case for “enjoying non-material benefit of nature” actions, which played a more important role for objectives linked to tourism or exploitation of new resources. “Creating opportunities for agriculture” had a more targeted role on objectives linked to local production. These results highlight that the majority of NCA and adaptation objectives were more-or-less dependent on all sets of co-production actions, reflecting the importance of landscape multifunctionality and synergies between sets of actions. Thus, while landscape management is an indispensable basis for realization of benefits from all NCA, mobilization and appreciation actions are subsequently necessary to benefit from material and non-material NCA.

Many co-production actions were already in place and currently expanding, according to the stakeholders who participated in our analysis. However, to achieve adaptation objectives, many other transformed or novel actions need to be developed. For example, natural area management, traditional livestock and pastoral activities, or existing tourism activities would need to be maintained or adjusted. Other co-production actions would need to be transformed in response to climate change impacts, like significant changes required for mountain guides and ski resorts to maintain livelihoods. In addition, novel practices would need to be implemented, such as new activities linked to agro-tourism, scientific tourism, or new farming practices and novel crops, local transformation, irrigation, and development of new markets for locally-produced food, art and crafts.

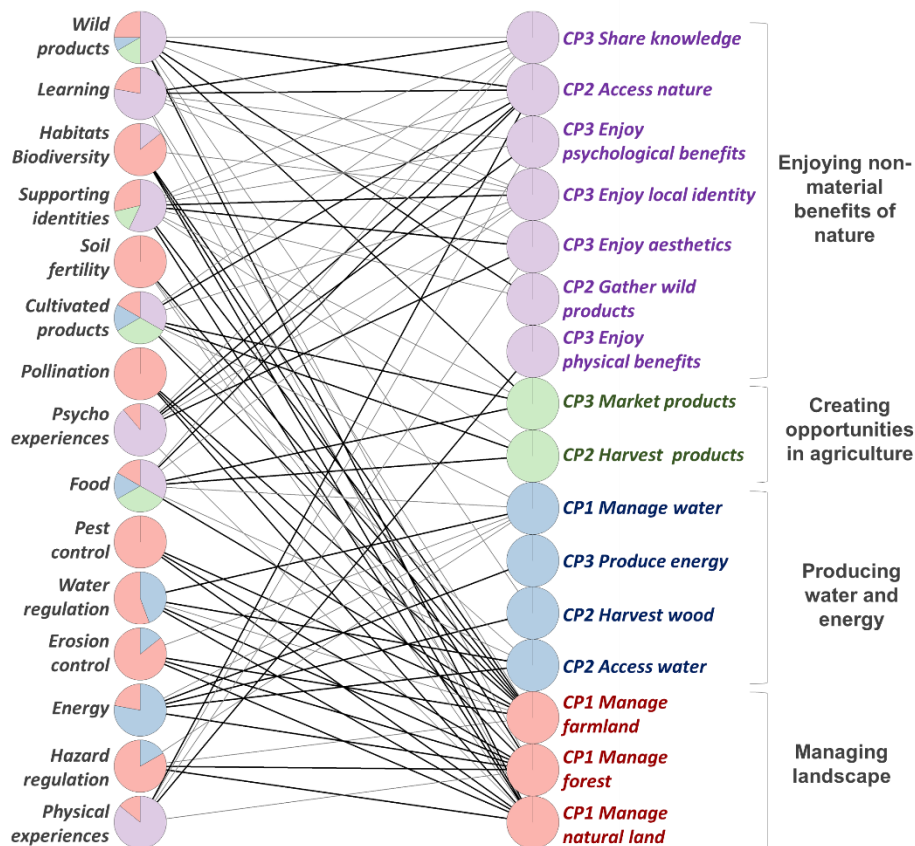


Figure 5. Network representation of co-production actions (column 2) required to benefit from Nature's contributions to adaptation (NCA) (column 1). Colours represent four sets of co-production actions according to their contribution to NCA that are necessary (thick lines) or facilitating (thin lines) to realize benefits. The size of the portions in the pie charts is proportional to the contribution to each NCA of the sets of co-production actions.

4. Levers to implement co-production actions

The information collected during the game revealed 12 levers that can be necessary for, or can facilitate, co-production actions for adaptation (Figure 6, Appendix 8). The levers formed four groups according to their nature and influence on co-production actions and their cascading effects on adaptation objectives: "Building blocks for collective action, adaptive practices, social innovation and specific rules" (Figure 3, column 4). Below, for each lever group, we first summarise their leverage effect on co-production sets based on their aggregated influence on each action (Figure 6, rows 1-5, Appendix 5). Then, we assess how easily the local community could activate them according to how participants perceived each lever as a current barrier or future lever (Figure 6, rows 6-8). Finally, we detail the interrelationships between levers that facilitated or inhibited the activation of other levers.

The three levers grouped under "building blocks for collective action" were key to achieve the vision because they influenced all co-production actions and activated many other levers. Two

levers, *increase collaboration and communication* and *building a common vision*, had a strong aggregate leverage effect on all sets of co-production actions. For example, they were required to implement collective strategies on “managing landscape” and “creating opportunities in agriculture” for land allocation for new agricultural practices or for marketing of local products. A third lever, *Financial support* from public or private investors, was also essential for most co-production actions, such as the development of irrigation, establishing new activities or adaptation of farming and tourism practices to climate change. However, these levers were perceived as difficult to activate due to internal or external barriers. To *increase collaboration* and *building a common vision*, people needed to get involved in collective decisions and actions, overcome resistance to change and improve their capacity for collaboration. The local community was aware of its limited control over external budgets and investors to obtain more *financial support*, in addition to the low potential for local investment. These three levers also interacted with other levers. For example, the lever *increase collaboration and communication* was essential for *building a common vision*, which involves bringing all actors together around the table. By doing so, they would facilitate the activation of levers requiring common strategies, collective action and coordination between actors from different sectors, such as *skills and tools*, *knowledge on climate change sharing practices*, *attraction of newcomers* and *longer opening period* strategies. *Financial support* could also be facilitated by collective decision making as well as by attracting new investors through *newcomers*.

Preserved landscape and *knowledge about climate change* formed a second group of levers: “adaptive practices”. These levers support the implementation of adaptive co-production actions in agriculture, tourism, water and energy management. *Preserved landscape* was particularly important to support the implementation or maintenance of co-production actions related to “enjoying non-material benefits of nature”. Participants perceived *preserved landscape* as already activated, given the generally good condition of ecosystems. The fact that some *knowledge about climate change* was already used for adaptation of mountaineering and agricultural practices led participants to identify it as easy. To be activated these levers require the activation of “building blocks for collective action”, i.e. levers to develop a collective strategy to maintain landscape preservation and collaboration across actors from all sectors, including scientists. They also depended on economic and policy incentives (e.g. *regulation of pastoral rules*).

A third group included the three levers that could lead to “social innovation”. *Attraction of newcomers* could bring workforce and new skills, which are necessary to implement new NCA co-production. *Shared values and preferences*, based on place attachment, could support the choice to act locally, such as for local food, arts and crafts production and nature conservation actions. *Shared skills and tools*, including infrastructure, facilitated all agricultural co-production actions from crop management to products marketing. “Social innovation” appeared particularly important for “creating opportunities for agriculture” and “enjoying non-material benefits of nature” by supporting new nature-based livelihoods. This group includes two levers on which the local community can act but *Shared values and preferences* depends on individual values, dispositions and choices that are very difficult to influence and act on in a collective way. For example, the local community may create the conditions to attract newcomers, but their settlement and activity choice would largely depend on individual preferences. The activation of these levers could be facilitated by the *increase collaboration and communication* lever to develop processes and habits of deliberation to help reconcile and negotiate conflicts between individual values.

A fourth group included levers that were related to “specific formal and informal rules” and had a more targeted effect on specific co-production actions. *Tenure rules* can act on land allocation for agriculture, wood and water production and property access for newcomers. Through their effect on grassland access and aesthetics, *pastoral rules* and their impact on farming practices mostly influenced actions for “managing landscape” but also for “enjoying non-material benefits of nature”. *Longer opening periods* regulation and *advertising and marketing* affected mainly co-production actions related to the development of year-round tourism, local products and everyday life. Participants perceived these levers as hard to activate because formal rules were beyond local decision-makers powers. Changes to informal rules, such as for opening periods for the tourist season, which could be acted on locally, were met with strong resistance. *Tenure rules* could be a prerequisite to activate the *newcomer’s attraction* lever and *pastoral regulation* could facilitate the activation of the *preserved landscape* lever.

These findings highlight the different roles of levers to implement co-production actions in a way that corresponds to the values and objectives in the vision. Some were essential because they influenced many actions, while others were more specific but necessary to achieve some objectives. This analysis also highlights that levers with a broader leverage effect on co-production actions were not necessarily easier to activate by the local community, even if some of them had already been activated. Moreover, to implement the co-production actions needed to achieve the vision's objectives, the community would need to activate mostly social, human and financial levers. Finally, we observed that some levers were necessary to activate others, which informed where to intervene in pathways towards the vision.

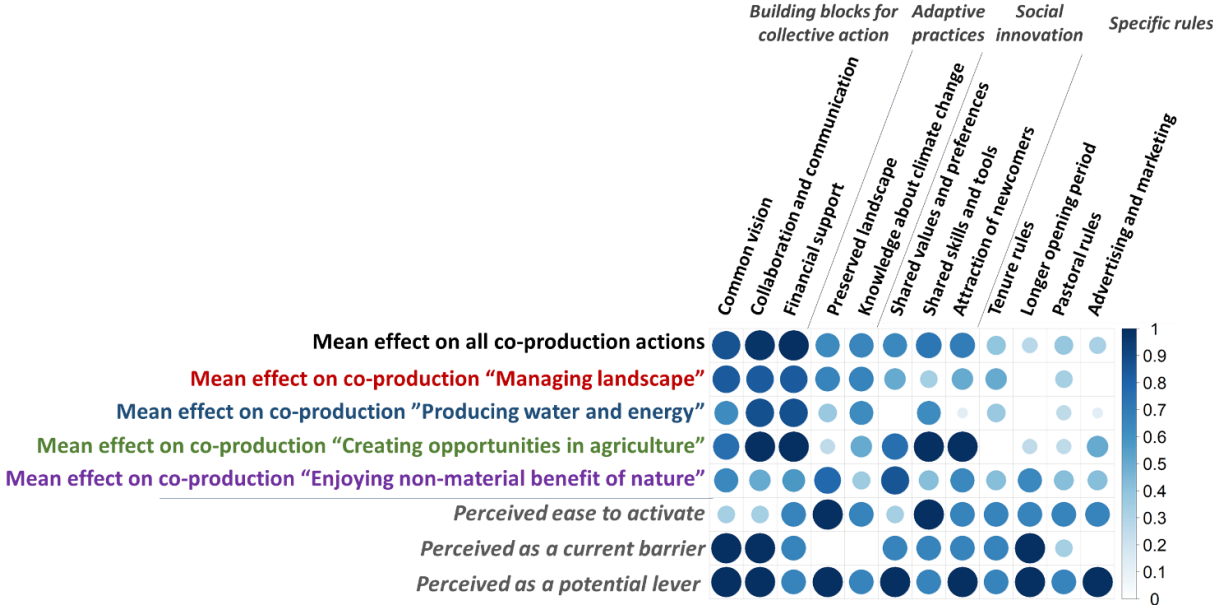


Figure 6. Ease of activation of potential levers for adaptation identified by participants and leverage effects on co-production sets. Ease of activation reflects to what extent this lever can be activated by the local community and was assessed based on how participants perceived each lever as a current barrier or a lever for adaptation. The leverage effect was calculated from the link between each lever to each co-production action (Appendix 5). The size and shade of the dots indicate the strength of each lever in the corresponding category (large and dark = strong, small and pale = weak).

DISCUSSION

Through a place-based participatory and expert process, we analysed how EBA could contribute to implementing the vision for the future identified by participants as part of the early phases of an adaptation pathway approach. We found that adaptation objectives are based on multiple NCA, which require adjustment, transformation or development of new co-production actions to reach the vision and maintain the SES in a desired pathway. Our results showed that, to implement these co-production actions and create windows of agency for change (Lavorel et al., 2019), the local community will have to overcome important societal barriers, resulting in a potential reorganization of structures and processes for community governance and participation.

1. Recognizing the role of ecosystems for adaptation

We showed previously how NCP and their co-production underpin three core dimensions – agriculture, tourism, local life – for good quality of life in our study area (Bruley et al., 2021a). Within the vision developed by participants, we demonstrate how ecosystems, and specifically NCA co-production, are essential components for adaptation to global change in this SES. In the different steps of NCA co-production, EBA involves far more than ecosystem management, and includes all actions that enable the community to benefit from ecosystems for adaptation, including non-material benefits. These interrelationships form a complex interaction network between bundles of NCA, co-production actions, and related social, economic and political levers, with numerous synergies, co-benefits and feedbacks. These interrelationships involve a wide variety of actors, economic sectors and interests through multiple NCA co-production actions.

Research on EBA has focused mainly on ecosystem management for specific purposes, with an emphasis on EBA effectiveness (Chausson et al., 2020; Seddon et al., 2020b) but without attention given to the side-effects of NCP co-production. In addition, projects on the ground often focus on solutions targeting only one or a few NCP, typically on regulating NCP (risks, climate mitigation) especially in mountains region (e.g. Moos et al. 2018) or in urban systems (e.g. Zölch et al. 2018). For example, Palomo et al. (in review) found that only a few EBA projects in mountain regions considered non-material NCP, whereas we have highlighted the critical role of these NCP for adaptation in a mountain SES. Moreover, recent studies highlight that most EBA involve different types of values, knowledge, stakeholders' commitment and practices as a means for transformation of SES (Palomo et al. in review). As many adaptation projects or strategies do not incorporate benefits from ecosystems, i.e. NCA, this suggests that EBA will need to be integrated with other socio-economic and political processes to support future sustainable adaptation or transformation. A first step towards this integration will be for local actors to recognize the important role of ecosystems for adaptation (Lavorel et al., 2020, 2019).

However, although the role of ecosystems is central to the objectives of the vision, it is largely absent from participants' explicit discourse about current quality of life (Bruley et al., 2021a) or throughout this participatory process on adaptation, even when explicitly questioned about it. There are two possible reasons for this lack of recognition of the role of ecosystems for adaptation. First, in general, people tend to take nature's benefits for granted until they fall short. This is particularly true in our study area where ecosystems are in good condition overall. This would be expected to be different in places with issues of environmental degradation and where climate change is having detrimental effects on NCP, for example in the case of coastal ecosystems collapse

(Jackson et al., 2001) or increasing disaster risk in mountains (Klein et al., 2019b). Secondly, participants may be tacitly aware of the ecological limits of the SES they live in, because participants did not mention any objectives, such as intensive agriculture or mass tourism, that were beyond the current capacity of ecosystems to support their desired adaptation objectives and were even rejected as an unwanted future.

Studies such as ours can benefit local adaptation by building awareness and knowledge of NCA, i.e. the potential benefits of ecosystems for adaptation identified as a prerequisite for their implementation (Wamsler et al., 2016; Zölch et al., 2018). The backcasting approach can help, but needs to go further than what we achieved in order to make explicit the role of ecosystems for local adaptation pathways. Such an approach could promote ecosystem conservation and contribute to reconnecting people with nature for sustainability (Ives et al., 2018).

2. Navigating desired adaptation pathways

Adaptation pathways are sequences of decisions and actions that steer a social-ecological system towards a vision in response to biophysical and socio-economic drivers of change (Colloff et al., 2017b; Wise et al., 2014). While stakeholders in the present study did not construct a detailed adaptation pathway in the form that has been proposed elsewhere (Butler et al., 2016; Haasnoot et al., 2013)), we consider the co-design of a desired vision and their deliberative reflection on strategies and levers to achieve associated adaptation objectives form an important starting point for adaptation pathway development and implementation.

Our analysis of co-production actions and associated levers reveals nexuses of co-production that can form and inform intervention points, or windows of agency, along a desired adaptation pathway (Lavorel et al., 2019; Prober et al., 2017). First, we identify that the set of actions for managing landscapes towards multiple NCA is central to fulfilling all adaptation objectives (Figure 3). Moreover, it is a prerequisite for actions of the other two steps of co-production. These actions can therefore be considered as a necessary condition for adaptation pathway development and thus the first window of agency towards the desired vision. This perspective is consistent with multifunctionality as a critical mechanism in EBA (Lavorel et al., 2020; Minang et al., 2015). Decisions and actions at this level can lead the system to unwanted trajectories, such as the abandonment of agriculture, which is common in mountains (Hinojosa et al., 2016).

To ensure landscape multifunctionality, future choices regarding the protection of natural areas and the use of agricultural land appear as particularly critical (Huber et al., 2020). Levers of collective actions have pervasive impacts on all co-production actions, and thus throughout the development and implementation of adaptation pathways, starting with landscape management actions. Early implementation of adaptation actions for landscape management will have the flow-on effect of keeping adaptation options open and thus creating further windows of agency. As such, these levers for managing landscapes by acting on collective goals and system organization would represent deep leverage points with strong impacts on structure and function of the SES (Abson et al., 2017; Meadows, 1999). However, it is certainly not guaranteed that collaborative management of ecosystems will be effectively addressed to achieve the desired vision (Bodin, 2017). There is a need to combine ecosystem management with particular levers, particularly those in the groups of adaptive practices and social innovation.

Actions for enjoying benefits of nature underpin a large part of adaptation objectives through the network of co-production actions and resulting NCA and, importantly, depend on all levers. Accordingly, the adaptation action of establishing nature tourism can be regarded as a second crucial window of opportunity to achieve the vision. This action depends heavily on ecosystem management but involves a different set of actors from those engaged primarily in management. It would allow the maintenance, development and reconfiguration of the main source of income and employment in the region. The combination of social innovation (via skills, knowledge and values sharing), collective action and rules within the community (e.g. on the tourist season opening dates) can be a deep leverage point for adaptation of tourism practices and activities. Achieving the vision requires the cooperation among tourism stakeholders to combine their resources and act collectively in the service of common interests and objectives (Wyss, 2013).

Creating opportunities in agriculture is the third most impactful set of actions for supporting adaptation objectives through NCA, while also most strongly dependent on all levers being activated (Figure 6). Co-production actions for adjusting, transforming or developing novel NCA from a diversified agricultural system is thus the next critical window of agency along the pathway to achieving the vision. These actions create economic value from agroecosystem management and are also based on consumption of local products by tourists. Farm diversification strategies can positively affect income (Bassi et al., 2020) and are critical to achieve the desired vision. Creating opportunities in agriculture depends on social innovation and collective actions, which illustrates the interconnectedness between different levers and groups of levers. Implementation is based on the sharing of skills and infrastructure but also on the innovative capacity of newcomers, particularly young people (Bassi et al., 2020). However, the economic success of local agricultural products is highly dependent on the creation and maintenance of markets and demand, whether local or global (Flury et al., 2013). Social innovation and collective action are required to set up markets for local produce. Adaptation of agricultural outcomes often follows rather than precedes changes in markets, as we described in the history of this SES (Bruley et al. 2021b). Agriculture and its NCP is a cornerstone for vulnerability and resilience in many mountain social-ecological systems globally (Klein et al., 2019a).

Actions for producing water and energy represent a fourth window of agency. These depend on developing specific adaptive practices and have the potential to condition the success of actions linked to agricultural adaptation to climate change as well as the tourism actions. In particular, they have the potential to determine a choice that would lead to the highest level of innovation for exploitation of new resources. This window of agency could allow the local community to surpass the objectives of their vision in terms of sustainable production and consumption of water and energy.

3. Nature-based adaptation for transformative climate change adaptation?

Our analysis of the influence of levers on co-production actions highlights key leverage points. Evolving modes of governance, innovation, enhancing and sharing knowledge, adapting rules and practices to future challenges are mentioned, among others, as key points for moving forward on sustainable pathways (Chan et al., 2020; Clark and Harley, 2020) but also as social co-benefits of climate adaptation initiatives (Owen, 2020). However, to be activated these levers require many changes in the community and their governance system to create the conditions for the implementation of EBA to keep the system on a pathway towards the desired vision.

The rather un-innovative vision stakeholders produced, which attempts to solve the problems currently experienced by the local community (Palomo et al. in review ; Butler et al. 2016), reveals the elements on which actors can or cannot act, as trivial as they may appear. Behind most of the levers identified are significant barriers to adaptation, linked to governance and institutions, worldviews, social relations, economy and finance. Indeed, the barriers identified by participants are mostly socio-economic: nature is not perceived as a barrier or limiting factor, and is not central to participants concerns. Similarly, climate change, with the exception of melting glaciers and uncertainty about precipitation (snowfall and drought), is not the most critical perceived issue. However, whereas we analysed only barriers identified by participants, other barriers acting at a larger scale should be considered for their significant impact on the local SES, for example in relation to national policies or global markets (Biesbroek et al., 2013; Burch, 2010; Carlsson-Kanyama et al., 2013; Nalau et al., 2018).

To overcome these barriers, changes will be necessary in the decision context for adaptation, including values, rules and knowledge interactions (Gorrdard et al., 2016). For example, a key impediment to collective action and social innovation results from a combination of values and rules. The strong resistance to change in sections of the community, combined with the deep governance path-dependency of the French traditional democratic system, leaves limited scope for collaboration and participation in decision making and action. Changes toward a values and rules system in which collaboration, sharing and participative actions are possible, as opposed to individualism and integrating all the values related to nature (Pascual et al., 2017) seems difficult to achieve, though not impossible. In particular, there is an imbalance in power relations, with powerful decision-makers carrying these values of resistance to change and embedded in the current form of governance, highlighting the need for empowerment of other actors. Changes in informal rules that engage local actors with knowledge (e.g. learning about the role of ecosystems for adaptation and exploring options that will benefit ecosystems and people) could help empower local actors through shifts in power relations, especially those actors who are more vulnerable to the negative effects of global change (Woroniecki et al., 2019). Thus, we observe that transformative adaptation not only plays out in the 'visible' sphere, i.e. ecosystems and co-production actions, but also in the 'invisible' sphere: the creation of the necessary conditions for the implementation of those actions, with agency for change among individuals via the collective. Few transformations of co-production actions were required from social and natural systems. But, conversely, to turn barriers into leverage points, the local community will need to transform the way they think, decide and act (Gretter et al., 2018). A necessary change of intention to adapt to global changes is by maintaining and developing nature's contribution to their quality of life. Recognizing the role of ecosystems for adaptation is a first step to reconnect people to nature, restructure institutions and governance systems, and rethink how knowledge is created, shared and used in the pursuit of transformative adaptation (Abson et al., 2017).

Although our approach was not intended to develop an action plan, the windows of agency and leverage points we highlight can form the basis for a next step of participatory research on the development and implementation of adaptation pathways (Cradock-Henry et al., 2020). In particular, the use of a participatory approach to backcasting scenarios and the engagement in the serious game helped stakeholders share world views and values, and structure a common understanding of the SES, in addition to building trust and respect. An agreed perspective on adaptation aligned with a desired vision is a first step towards leveraging co-production actions for adaptation. It is also an important step towards participatory knowledge production and learning required to initiate transformative and sustainable change (Norström et al., 2020; Swart

et al., 2014; Wyborn et al., 2019). Indeed, these approaches address sustainability challenges by providing new options while dealing with uncertainty (Bosomworth and Gaillard, 2019), developing capacity and networks (Wyborn et al., 2019), generating empowerment and agency (Barnes et al., 2020; Woroniecki et al., 2019), re-framing human-nature relationships (Colloff et al., 2020), and encompassing different values and preferences.

CONCLUSION

We have shown that ecosystem-based adaptation (EBA) is central to the adaptation pathways of a mountain social-ecological system in the French Alps. EBA requires adjustment, transformation or development of new human-nature interactions (i.e. co-production actions). Co-production analysis reveals social-ecological mechanisms underpinning adaptation and the interactions between community agency and the implementation of EBA. To implement these actions, the local community will need to make significant changes in its social system in order to stir the SES along a desired pathway. This would be a precursor step to engaging in the development and implementation of co-designed adaptation pathways and in the associated learning process.

Further work is needed to consider EBA in broad adaptation strategies. In order to progress towards sustainable futures and the required transformations towards them, it is necessary to embed EBA within adaptation strategies in a systemic way and not only as marginal adaptation or sector-centric adaptation as often done in tourism, agriculture, fisheries or risk management. Moreover, our study stresses the need to make stakeholders aware of the role of ecosystems for adaptation and to link it to their main socio-economic concerns by demonstrating they are intimately linked. Recognizing the role of ecosystems in adaptation by maintaining and developing NCA supply in future adaptation pathways may help reconnecting people to nature, re-structuring and re-thinking the local social system to achieve adaptation objectives.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper is a contribution from the Transformative Adaptation Research Alliance (TARA, <https://research.csiro.au/tara/>), an international network of researchers and practitioners dedicated to the development and implementation of novel approaches to transformative adaptation to global change. We warmly thank inhabitants of Villar d'Arène and La Grave for participation in workshops, game sessions and interviews. We also thank Jardin du Lautaret for hosting the research team (UMS 3370 Univ. Grenoble Alpes-CNRS). This work was carried out within the eLSTER site Zone Atelier Alpes. This research was funded through French Agence Nationale pour la Recherche projects MtnPaths (ANR-16-CE93-0008-01), Investissements d'Avenir CDP Trajectories (ANR-15-IDEX-02) and TRASSE (ANR- 17-CE32-0012-01), and the CGIAR Research Program on Forests, Trees and Agroforestry (CRP-FTA) with financial support from the CGIAR Fund.

REFERENCES

- Abson, D.J., Fischer, J., Leventon, J., Newig, J., Schomerus, T., Vilsmaier, U., von Wehrden, H., Abernethy, P., Ives, C.D., Jager, N.W., Lang, D.J., 2017. Leverage points for sustainability transformation. *Ambio* 46, 30–39. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0800-y>
- Adger, W.N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D.R., Otto, L., Johanna, N., Anita, W., 2009. Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change* 335–354. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9520-z>
- Bally, F., Gabillet, M., Laforgue, D., Lavorel, S., Peyrache-Gadeau, V., 2020. L'étude de la « Crise du Chambon » pour penser les rapports entre territoire, institutions, populations et sciences. *Nature, Sciences et Sociétés* 28, 24–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/nss/2020019>
- Balvanera, P., Calderón-Contreras, R., Castro, A.J., Felipe-Lucia, M.R., Geijzendorffer, I.R., Jacobs, S., Martín-López, B., Arbiu, U., Speranza, C.I., Locatelli, B., Harguindeguy, N.P., Mercado, I.R., Spierenburg, M.J., Vallet, A., Lynes, L., Gillson, L., 2017. Interconnected place-based social–ecological research can inform global sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 29, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.09.005>
- Barnes, M.L., Wang, P., Cinner, J.E., Graham, N.A.J., Guerrero, A.M., Jasny, L., Lau, J., Sutcliffe, S.R., Zamborain-Mason, J., 2020. Social determinants of adaptive and transformative responses to climate change. *Nature Climate Change* 10, 823–828. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0871-4>
- Bassi, I., Iseppi, L., Nassivera, F., Peccol, E., Csilino, F., 2020. Alpine agriculture today: Evidence from the Italian alps. *Quality - Access to Success* 21, 122–127.
- Biesbroek, G.R., Klostermann, J.E.M., Termeer, C.J.A.M., Kabat, P., 2013. On the nature of barriers to climate change adaptation. *Regional Environmental Change* 13, 1119–1129. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0421-y>
- Bodin, Ö., 2017. Collaborative environmental governance: Achieving collective action in social-ecological systems. *Science* 357, 1–20. <https://doi.org/10.1126/science.aan1114>
- Bosomworth, K., Gaillard, E., 2019. Engaging with uncertainty and ambiguity through participatory “Adaptive Pathways” approaches: scoping the literature. *Environmental Research Letters* 14, 093007. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3095>
- Bruley, E., Locatelli, B., Lavorel, S., 2021a. Nature’s contributions to people: Co-producing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112>
- Bruley, E., Locatelli, B., Vendel, F., Bergeret, A., Elleaume, N., Grosinger, J., Lavorel, S., 2021b. Past reconfigurations of a social-ecological system adapting to global changes in the French Alps. *Regional Environmental Change*. [10.1007/s10113-021-01760-8](https://doi.org/10.1007/s10113-021-01760-8)
- Burch, S., 2010. Transforming barriers into enablers of action on climate change: Insights from three municipal case studies in British Columbia, Canada. *Global Environmental Change* 20, 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.11.009>
- Butler, J.R.A., Bohensky, E.L., Suadnya, W., Yanuartati, Y., Handayani, T., Habibi, P., Puspadi, K., Skewes, T.D., Wise, R.M., Suharto, I., Park, S.E., Sutaryono, Y., 2016. Scenario planning to leap-frog the Sustainable Development Goals: An adaptation pathways approach. *Climate Risk Management* 12, 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.11.003>
- Carlsson-Kanyama, A., Carlsen, H., Dreborg, K.H., 2013. Barriers in municipal climate change adaptation: Results from case studies using backcasting. *Futures* 49, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.02.008>
- CBD, 2009. Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. Montreal, Canada. <https://doi.org/10.2143/KAR.25.0.504988>
- Chan, K.M.A., Boyd, D.R., Gould, R.K., Jetzkowitz, J., Liu, J., Muraca, B., Naidoo, R., Olmsted, P., Satterfield, T.,

- Selomane, O., Singh, G.G., Sumaila, R., Ngo, H.T., Boedhihartono, A.K., Agard, J., Aguiar, A.P.D., Armenteras, D., Balint, L., Barrington-Leigh, C., Cheung, W.W.L., Díaz, S., Driscoll, J., Esler, K., Eyster, H., Gregr, E.J., Hashimoto, S., Hernández Pedraza, G.C., Hickler, T., Kok, M., Lazarova, T., Mohamed, A.A.A., Murray-Hudson, M., O'Farrell, P., Palomo, I., Saysel, A.K., Seppelt, R., Settele, J., Strassburg, B., Xue, D., Brondízio, E.S., 2020. Levers and leverage points for pathways to sustainability. *People and Nature* 2, 693–717. <https://doi.org/10.1002/pan3.10124>
- Chausson, A., Turner, B., Seddon, D., Chabaneix, N., Girardin, C.A.J., Kapos, V., Key, I., Roe, D., Smith, A., Woroniecki, S., Seddon, N., 2020. Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology* 26, 6134–6155. <https://doi.org/10.1111/gcb.15310>
- Clark, W.C., Harley, A.G., 2020. An Integrative Framework for Sustainability Science, in: *Sustainability Science: A Guide for Researchers*. pp. 1–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.21428/f8d85a02.d9dbc249>.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginnis, S., 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges, IUCN. xiii. ed, *Nature-based solutions to address global societal challenges*. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.13.en>
- Colloff, M.J., Lavorel, S., van Kerkhoff, L.E., Wyborn, C.A., Fazey, I., Gorddard, R., Mace, G.M., Foden, W.B., Dunlop, M., Prentice, I.C., Crowley, J., Leadley, P., Degeorges, P., 2017a. Transforming conservation science and practice for a postnormal world. *Conservation Biology* 31, 1008–1017. <https://doi.org/10.1111/cobi.12912>
- Colloff, M.J., Martín-López, B., Lavorel, S., Locatelli, B., Gorddard, R., Longaretti, P.Y., Walters, G., van Kerkhoff, L., Wyborn, C., Coreau, A., Wise, R.M., Dunlop, M., Degeorges, P., Grantham, H., Overton, I.C., Williams, R.D., Doherty, M.D., Capon, T., Sanderson, T., Murphy, H.T., 2017b. An integrative research framework for enabling transformative adaptation. *Environmental Science and Policy* 68, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.007>
- Colloff, M.J., Wise, R.M., Palomo, I., Lavorel, S., Pascual, U., 2020. Nature's contribution to adaptation: insights from examples of the transformation of social-ecological systems. *Ecosystems and People* 16, 137–150. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1754919>
- Cradock-Henry, N.A., Blackett, P., Hall, M., Johnstone, P., Teixeira, E., Wreford, A., 2020. Climate adaptation pathways for agriculture: Insights from a participatory process. *Environmental Science and Policy* 107, 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.020>
- Csardi, G., 2018. Igraph: Routines for simple graphs and network analysis, version 1.2.2. [WWW Document].
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., Baste, I.A., Brauman, K.A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., van Oudenhoven, A.P.E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, C.L., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y., 2018. Assessing nature's contributions to people. *Science* 359, 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E.S., Ngo, H.T., Guèze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., Chan, K.M.A., Garibaldi, L.A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G.F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R.R., Shin, Y.J., Visseren-Hamakers, I.J., Willis, K.J., Zayas, C.N., 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- Donatti, C.I., Harvey, C.A., Hole, D., Panfil, S.N., Schurman, H., 2020. Indicators to measure the climate change adaptation outcomes of ecosystem-based adaptation. *Climatic Change* 158, 413–433. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02565-9>
- Eisenack, K., Moser, S.C., Hoffmann, E., Klein, R.J.T., Oberlack, C., Pechan, A., Rotter, M., Termeer, C.J.A.M., 2014. Explaining and overcoming barriers to climate change adaptation. *Nature Climate Change* 4, 867–872. <https://doi.org/10.1038/nclimate2350>

- Falardeau, M., Raudsepp-Hearne, C., Bennett, E.M., 2019. A novel approach for co-producing positive scenarios that explore agency: case study from the Canadian Arctic. *Sustainability Science* 14, 205–220. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0620-z>
- Fazey, I., Wise, R.M., Lyon, C., Câmpeanu, C., Moug, P., Davies, T.E., 2015. Past and future adaptation pathways. *Climate and Development* 8, 26–44. <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.989192>
- Fedele, G., Donatti, C.I., Harvey, C.A., Hannah, L., Hole, D.G., 2019. Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science and Policy* 101, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.001>
- Fischer, J., Riechers, M., 2019. A leverage points perspective on sustainability. *People and Nature* 1, 115–120. <https://doi.org/10.1002/pan3.13>
- Flury, C., Huber, R., Tasser, E., 2013. *The future of mountain agriculture, The Future of Mountain Agriculture*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33584-6>
- Gorddard, R., Colloff, M.J., Wise, R.M., Ware, D., Dunlop, M., 2016. Values, rules and knowledge: Adaptation as change in the decision context. *Environmental Science and Policy* 57, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.12.004>
- Gretter, A., Ciolli, M., Scolozzi, R., 2018. Governing mountain landscapes collectively: local responses to emerging challenges within a systems thinking perspective. *Landscape Research* 43, 1117–1130. <https://doi.org/10.1080/01426397.2018.1503239>
- Grigulis, K., Lavorel, S., 2020. Climate controls of inter-annual variation in biomass production of mountain grasslands. *Ecological Indicators* 116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106519>
- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., ter Maat, J., 2013. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change* 23, 485–498. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006>
- Hinojosa, L., Napoléone, C., Moulery, M., Lambin, E.F., 2016. The “mountain effect” in the abandonment of grasslands: Insights from the French Southern Alps. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.032>
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Y., H., Jackson, M., Kääh, A., Kang, S., Kutuzov, A., Milner, A.M., U., Morin, S., Orlove, B., Steltzer, H., 2019. High Mountain Areas. *IPCC SR Ocean and Cryosphere* 94.
- Huber, L., Schirpke, U., Marsoner, T., Tasser, E., Leitinger, G., 2020. Does socioeconomic diversification enhance multifunctionality of mountain landscapes? *Ecosystem Services* 44, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101122>
- INSEE, 2016. Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) [WWW Document]. URL <https://www.insee.fr/fr/accueil>
- Ives, C.D., Abson, D.J., von Wehrden, H., Dorninger, C., Klaniecki, K., Fischer, J., 2018. Reconnecting with nature for sustainability. *Sustainability Science* 13, 1389–1397. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0542-9>
- Jackson, J.B.C., Kirby, M.X., Berger, W.H., Bjorndal, K.A., Botsford, L.W., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R., Erlandson, J., Estes, J.A., Hughes, T.P., Kidwell, S., Lange, C.B., Lenihan, H.S., Pandolfi, J.M., Peterson, C.H., Steneck, R.S., Tegner, M.J., Warner, R.R., 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293, 629–637. <https://doi.org/10.1126/science.1059199>
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K., Bonn, A., 2016. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas and their rural surroundings. *Ecology and Society* 21.
- Klein, J.A., Tucker, C.M., Nolin, A.W., Hopping, K.A., Reid, R.S., Steger, C., Grêt-Regamey, A., Lavorel, S., Müller, B., Yeh, E.T., Boone, R.B., Bourgeron, P., Butsic, V., Castellanos, E., Chen, X., Dong, S.K., Greenwood, G., Keiler, M., Marchant, R., Seidl, R., Spies, T., Thorn, J., Yager, K., 2019. Catalyzing Transformations to

Sustainability in the World's Mountains. *Earth's Future* 547–557.
<https://doi.org/10.1029/2018EF001024>

- Klein, Julia A., Tucker, C.M., Steger, C.E., Nolin, A., Reid, R., Hopping, K.A., Yeh, E.T., Pradhan, M.S., Taber, A., Molden, D., Ghatge, R., Choudhury, D., Alcántara-Ayala, I., Lavorel, S., Müller, B., Grêt-Regamey, A., Boone, R.B., Bourgeron, P., Castellanos, E., Chen, X., Dong, S., Keiler, M., Seidl, R., Thorn, J., Yager, K., 2019. An integrated community and ecosystem-based approach to disaster risk reduction in mountain systems. *Environmental Science and Policy* 94, 143–152.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.034>
- Lamarque, P., 2012. Une approche socio-écologique des services écosystémiques. Cas d'étude des prairies subalpines du Lautaret. Université de Grenoble, Grenoble.
- Lavorel, S., Colloff, M.J., Locatelli, B., Gorrdard, R., Prober, S.M., Gabillet, M., Devaux, C., Laforgue, D., Peyrache-Gadeau, V., 2019. Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science and Policy* 92, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lavorel, S., Locatelli, B., Colloff, M.J., Bruley, E., 2020. Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 375. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0119>
- Martín-López, B., Leister, I., Cruz, P.L., Palomo, I., Grêt-Regamey, A., Harrison, P.A., Lavorel, S., Locatelli, B., Luque, S., Walz, A., 2019. Nature's contributions to people in mountains: A review. *PLoS ONE* 14, 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217847>
- Meadows, D., 1999. *Leverage Points: Places to Intervene in a System*. Sustainability Institute 1–18.
- Ménégoz, M., Valla, E., Jourdain, N., Blanchet, J., Beaumet, J., Wilhelm, B., Gallée, H., Fettweis, X., Morin, S., Anquetin, S., 2020. Contrasting seasonal changes in total and intense precipitation in the European Alps from 1903 to 2010. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 1–37. <https://doi.org/10.5194/hess-2019-690>
- Minang, P.A., Van Noordwijk, M., Freeman, O., Nbow, C., de Leeuw, J., Catacutan, D., 2015. *Climate-Smart landscapes: Multifunctionality in practice*, World Agro. ed. Nairobi, Kenya.
- Moos, C., Bebi, P., Schwarz, M., Stoffel, M., Sudmeier-Rieux, K., Dorren, L., 2018. Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. *Earth-Science Reviews* 177, 497–513. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.12.011>
- Nalau, J., Becken, S., Mackey, B., 2018. Ecosystem-based Adaptation: A review of the constraints. *Environmental Science and Policy* 89, 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.014>
- Nettier, B., Dobremez, L., Lavorel, S., Brunshwig, G., 2017. Resilience as a framework for analyzing the adaptation of mountain summer. *Ecology* 98, 220425. <https://doi.org/10.1002/ecy.1525>
- Norström, A. V., Cvitanovic, C., Löf, M.F., West, S., Wyborn, C., Balvanera, P., Bednarek, A.T., Bennett, E.M., Biggs, R., de Bremond, A., Campbell, B.M., Canadell, J.G., Carpenter, S.R., Folke, C., Fulton, E.A., Gaffney, O., Gelcich, S., Jouffray, J.B., Leach, M., Le Tissier, M., Martín-López, B., Louder, E., Loutre, M.F., Meadow, A.M., Nagendra, H., Payne, D., Peterson, G.D., Reyers, B., Scholes, R., Speranza, C.I., Spierenburg, M., Stafford-Smith, M., Tengö, M., van der Hel, S., van Putten, I., Österblom, H., 2020. Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature Sustainability* 3, 182–190. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2>
- O'Brien, K., Sygna, L., 2013. *Responding to Climate Change: The Three Spheres of Transformation*. Proceedings of Transformation in a Changing Climate 16–23.
- Olsson, P., Galaz, V., Boonstra, W.J., 2014. Sustainability transformations: A resilience perspective. *Ecology and Society* 19. <https://doi.org/10.5751/ES-06799-190401>
- Owen, G., 2020. What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature. *Global Environmental Change* 62, 102071. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102071>
- Palomo, I., 2017. *Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature*

- Review. *Mountain Research and Development* 37, 179–187. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00110.1>
- Palomo, I., Felipe-Lucia, M.R., Bennett, E.M., Martín-López, B., Pascual, U., 2016. Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service Co-Production. *Advances in Ecological Research* 54, 245–283. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Palomo, I., Locatelli, B., Colloff, M., Crouzat, E., Gómez-Baggethun, E., Grêt-Regamey, A., Jimenez-Aceituno, A., Martín-López, B., Otero, I., Pascual, U., Zafra-Calvo, N., Bruley, E., Cuni-Sánchez, A., González-García, A., Fischborn, M., Metz, R., Lavorel, S., n.d. Nature-based solutions for transformative change of social-ecological systems. *One Earth*.
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R.T., Başak Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S.M., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S., Al-Hafedh, Y.S., Amankwah, E., Asah, S.T., Berry, P., Bilgin, A., Breslow, S.J., Bullock, C., Cáceres, D., Daly-Hassen, H., Figueroa, E., Golden, C.D., Gómez-Baggethun, E., González-Jiménez, D., Houdet, J., Keune, H., Kumar, R., Ma, K., May, P.H., Mead, A., O’Farrell, P., Pandit, R., Pengue, W., Pichis-Madruga, R., Popa, F., Preston, S., Pacheco-Balanza, D., Saarikoski, H., Strassburg, B.B., van den Belt, M., Verma, M., Wickson, F., Yagi, N., 2017. Valuing nature’s contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26–27, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Prober, S.M., Colloff, M.J., Abel, N., Crimp, S., Doherty, M.D., Dunlop, M., Eldridge, D.J., Gorddard, R., Lavorel, S., Metcalfe, D.J., Murphy, H.T., Ryan, P., Williams, K.J., 2017. Informing climate adaptation pathways in multi-use woodland landscapes using the values-rules-knowledge framework. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 241, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.021>
- Rauken, T., Mydske, P.K., Winsvold, M., 2015. Mainstreaming climate change adaptation at the local level. *Local Environment* 20, 408–423. <https://doi.org/10.1080/13549839.2014.880412>
- Reid, H., Jones, X.H., Porras, I., Hicks, C., Wicander, S., Seddon, N., Kapos, V., Rizvi, A.R., Roe, D., 2019. Is ecosystem-based adaptation effective? Perceptions and lessons learned from 13 project sites.
- Rizvi, A.R., Baig, S., Verdone, M., 2015. *Ecosystem Based Adaptation: Knowledge Gaps in Making an Economic Case for Investing in Nature Based Solutions for Climate Change*, IUCN. ed, Iucn. Gland, Switzerland.
- Salliou, N., Bruley, E., Luthe, T., Blanco, V., Lavorel, S., Grêt-Regamey, A., n.d. Game of Cruxes: Co-designing a generic game for scientists and stakeholders for identifying joint problems in transdisciplinary research. *Sustainability Science Journal*.
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A.J., Smith, A., Turner, B., 2020a. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Seddon, N., Daniels, E., Davis, R., Chausson, A., Harris, R., Hou-Jones, X., Huq, S., Kapos, V., Mace, G.M., Rizvi, A.R., Reid, H., Roe, D., Turner, B., Wicander, S., 2020b. Global recognition of the importance of nature-based solutions to the impacts of climate change. *Global Sustainability* 1–15. <https://doi.org/10.1017/sus.2020.8>
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T.M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C.P., Barnosky, A.D., Cornell, S.E., Crucifix, M., Donges, J.F., Fetzer, I., Lade, S.J., Scheffer, M., Winkelmann, R., Schellnhuber, H.J., 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115, 8252–8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Swart, R., Biesbroek, R., Lourenço, T.C., 2014. Science of adaptation to climate change and science for adaptation. *Frontiers in Environmental Science* 2, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00029>
- Wamsler, C., Luederitz, C., Brink, E., 2014. Local levers for change: Mainstreaming ecosystem-based adaptation into municipal planning to foster sustainability transitions. *Global Environmental Change* 29, 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.09.008>
- Wamsler, C., Niven, L., Beery, T.H., Bramryd, T., Ekelund, N., Jönsson, K.I., Osmani, A., Palo, T., Stålhammar, S., 2016. Operationalizing ecosystem-based adaptation: Harnessing ecosystem services to buffer

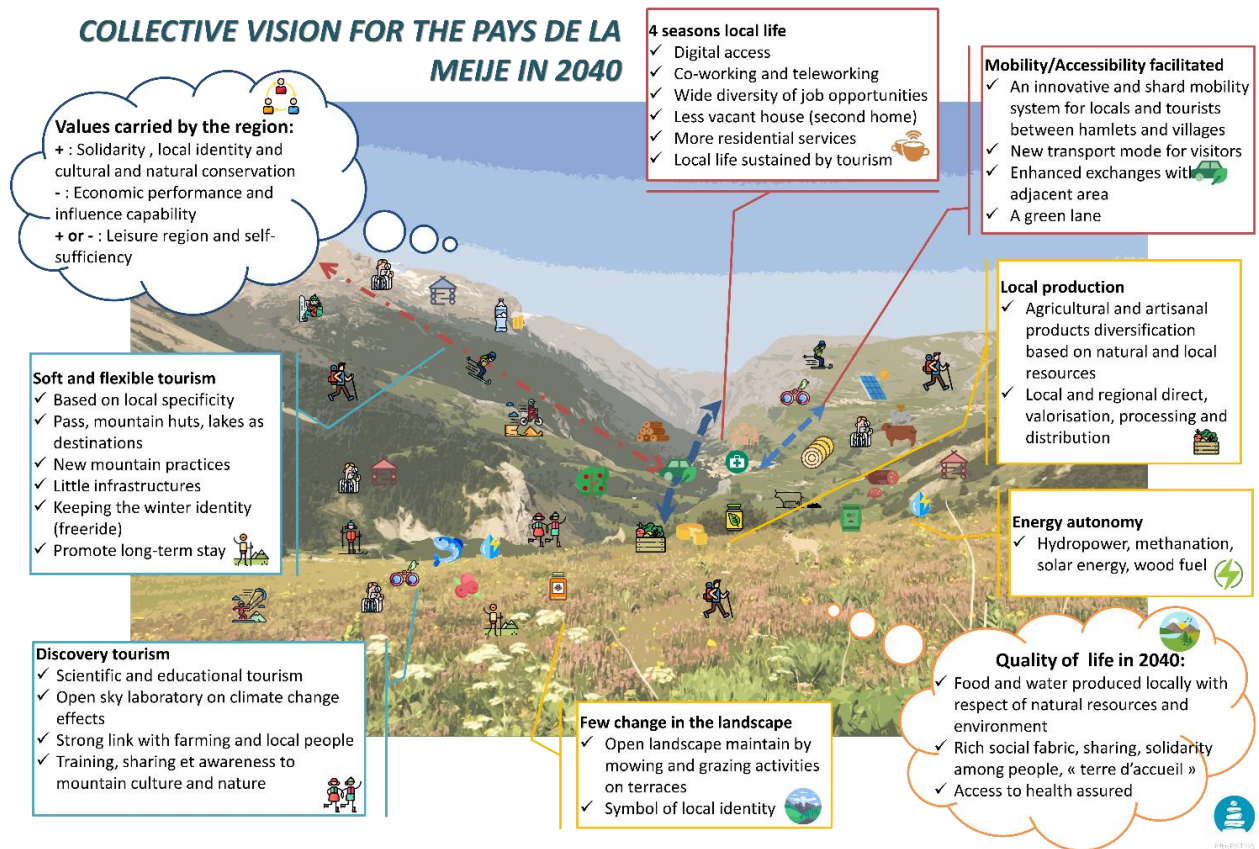
- communities against climate change. *Ecology and Society* 21. <https://doi.org/10.5751/ES-08266-210131>
- Wise, R.M., Fazey, I., Stafford Smith, M., Park, S.E., Eakin, H.C., Archer Van Garderen, E.R.M., Campbell, B., 2014. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change* 28, 325–336. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.002>
- Woroniecki, S., Wamsler, C., Boyd, E., 2019. The promises and pitfalls of ecosystem-based adaptation to climate change as a vehicle for social empowerment. *Ecology and Society* 24. <https://doi.org/10.5751/ES-10854-240204>
- Wyborn, C., Datta, A., Montana, J., Ryan, M., Leith, P., Chaffin, B., Miller, C., Van Kerkhoff, L., 2019. Co-Producing Sustainability: Reordering the Governance of Science, Policy, and Practice. *Annual Review of Environment and Resources* 44, 319–346. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033103>
- Wyss, R., 2013. Cooperation for climate adaptation in tourism. *Revue de géographie alpine* 0–8. <https://doi.org/10.4000/rga.1880>
- Zölch, T., Wamsler, C., Pauleit, S., 2018. Integrating the ecosystem-based approach into municipal climate adaptation strategies: The case of Germany. *Journal of Cleaner Production* 170, 966–977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.146>

APPENDIX

Appendix 1: List of participants to the different steps of the participatory process

N°	Function	Type	Action scale	Gender	V WS	V FG1	V FG2	V SSI	G Design	G Sessions	G SSI
1	Student	Student	Local	M						x	
2	Café and gîte owner	Tourism, local services	Local	F							x
3	Student and seasonal worker	Student	Local	F				x			
4	Computer engineer	Engineering	Outside	M						x	
5	Scientific manager at Ecrins National Park	Conservation	Regional	M	x				x	x	
6	Student and seasonal worker	Student	Local	F				x			
7	Photograph	Tourism	Local	M				x		x	
8	PhD Student in geography	Science	Regional	M	x						
9	Basket maker	Artisan	Local	F						x	
10	Geography researcher, coordinator of "refuge sentinelles"	Science	Regional	M	x						
11	Carpenter, market gardener, Mountain guide	Artisan, Agriculture, Tourism	Local	M							x
12	Retired from building engineering	Engineering	Local	M						x	
13	Seamstress	Artisan	Local	F						x	
14	Hautes-Alpes Departmental advisory board - "water" department	Institutional	Departmental	F	x						
15	Technical advisor in Industry and Commerce Chamber (CCI)	Institutional	Departmental	F				x		x	
16	Retired electrician	Artisan	Local	M	x						
17	Researcher in animal behaviour at Lautaret research station	Science	Regional	F						x	
18	Secondary residence, cultural activities	Culture	Local	F						x	
19	Project manager at ALPARC (The Alpine Network of Protected Areas)	Conservation	Regional	M				x			
20	Manager of natural hazards PETR (Rural and Territorial Balance Hub)	Institutional	Departmental	F				x			
21	Secretary at Téléphérique Glaciers de la Meije (STAG), Journalist	Services	Departmental	F							x
22	Secondary residence, cultural activities	Culture	Local	M	x						
23	Hotel owner	Tourism	Local	F						x	
24	Garment workshop	Artisan	Local	M	x					x	
25	Taxi driver	Mobility	Local	F			x			x	
26	Cattle breeder	Agriculture	Local	M		x					
27	Sport shop owner	Tourism	Local	M	x						
28	Mayor	Decision making	Departmental	M							x
29	Beekeeper and apiary owner	Artisan	Local	M				x			
30	Goat breeder	Agriculture	Local	F			x			x	
31	Ski instructor	Tourism	Local	F						x	
32	Guide, Deputy Mayor	Tourism, Decision making	Regional	M	x					x	
33	Architect	Services	Regional	F			x				x
34	Low mountain range guide	Tourism	Local	F			x			x	
35	Seasonal worker	Tourism, Artisan	Local	M						x	
36	Seasonal worker	Tourism	Local	F						x	
37	Sport shop owner	Tourism	Local	M	x						
38	Retired farmer, AFP manager, Camping owner, Deputy Mayor	Agriculture, Tourism, Decision making	Local	M	x				x		
39	Refuge keeper	Tourism	Local	F						x	
40	Retired from culture, Deputy mayor	Culture, Decision making	Local	M						x	
41	Grocery store owner	Services	Local	F	x						
42	Hotel owner	Tourism	Local	M	x						
43	Municipal officer	Services	Local	F						x	
44	Teacher	Services	Local	F						x	
45	Scientist ILL	Engineering	Outside	M						x	
46	Refuge keeper	Tourism	Local	F			x				x
47	Researcher in ecology	Science	International	F					x	x	
48	Commercial and communication manager at Téléphérique Glaciers de la Meije (STAG), Deputy Mayor	Tourism, Decision making	Local	M	x				x	x	
49	Director of the tourism office, Head of AFP	Tourism, Agriculture	Local	F						x	
50	Project manager at Hautes Alpes Department, Creator of Center of alpine orality	Institutional	Regional	M	x					x	
51	Mountain guide	Tourism	Regional	M						x	
52	Head manager of Coordination montagne (FFCAM)	Institutional	National	M	x						
53	Café owner	Tourism	Local	F						x	
54	Project manager at ETR (Rural and Territorial Balance Hub)	Institutional	Regional	M				x	x	x	
55	Hostess in the alpine garden of lautaret	Tourism	Local	F				x			
56	Municipal officer	Institutional	Local	F						x	
57	Inter-community syndicate of La Grave, Villar d'Arène	Institutional	Local	F			x				
58	Mountain guide	Tourism	Local	M				x			x
59	Technical officer at Lautaret Alpine Garden	Science	Regional	M						x	
60	Cattle breeder	Agriculture	Local	M	x	x				x	
61	Sheep breeder	Agriculture	Local	M		x					x
62	Seasonal worker at Téléphérique Glaciers de la Meije (STAG)	Tourism	Local	M	x						
63	Hotel owner	Tourism	Local	F	x						
64	Ski instructor, Firefighter	Tourism, Services	Local	M							x
65	PhD student in geography	Science	Regional	M						x	
66	Sheep breeder	Agriculture	Local	F		x				x	
67	Sheep breeder	Agriculture	Local	M		x					
68	Low mountain range guide	Tourism	Local	F	x						

Appendix 2: Visual summary of the common vision of the Pays de la Meije in 2040



Appendix 3: Game description and process

Brief description of the game:

Players must make individual and collective decisions to stay in the region and achieve a desirable situation for 2040 in a context of climate and socio-economic change. The game is organised in 5 rounds (+ one round to explain the rules and the sequence of events) corresponding to a 4-year time step projecting the participants from 2020 to 2040. This game has been designed for 4 players taking care of two inhabitants who are part of a family (can be doubled up to 8 players with one inhabitant per player). Each player is assigned to economic activities providing services (farmer, hotelkeeper, mountain guide, etc.) that he or she will be able to develop during the game. The dynamic of the game is organised around the flow of visitors (corresponding to tourists and potential new inhabitants) whose needs must satisfy by the players in order to maintain their activities on the territory. In order to satisfy the needs of the visitors, the players can provide services according to the activities they carry out (for example, a hotel meets the basic need for accommodation). The provision of visitor services brings income to the players. Incomes are then used to cover their living expenses, and to develop the player's activities or to finance collective projects with impacts for all players. The parameterisation of the basic mechanisms of the game is abstract. Costs, revenues and income flows have not been based on or made proportional to real data, but designed to create a sense of realism for the players. The functioning of the system is altered by bioclimatic and socio-economic events that impact the activities and visitors to which the players have to adapt. The players have the possibility to act on several parameters of the system through their individual and collective decisions. They can thus develop or modify their activities to suit visitor needs; set up collective projects to act on the number of visitors at each round, mitigate the effects of events, improve the attractiveness of the area, act on the landscape through urbanisation or the maintenance of terraces; call on local or external institutions to satisfy visitor needs. All the elements of the game are presented below.

Each tour is organised as follows:

1. The dynamic of the game is disrupted at the beginning of each round by two events, one socio-economic and the other bioclimatic, with significant impacts on the flow of visitors or the activities of the players. Certain collective projects can reduce the effects of the events.
2. Arrival of visitors whose number depends on the actions of the players in the previous round. Some are visible, others are hidden to represent the uncertainty of the tourist seasons.
3. Players adapt (training, changes) their activities according to their wishes but above all according to the number and categories of needs of visitors.
4. The players satisfy the needs of the visitors with their services, they can organise themselves as they wish. If the needs of the visitors are not satisfied they will not come back.
5. Players collect their income based on the services provided to visitors. If a player has not placed his services he does not get any income. If he does not have sufficient capital a loan can be granted, if after two rounds he is still not able to pay to maintain his activity his inhabitant has to leave the region.
6. Players can then invest in collective projects benefiting all players.
7. At the end of the round, the landscape and living conditions change according to the collective projects set up. The landscape is defined in relation to urbanisation and the maintenance of agricultural terraces. The attractiveness of the landscape increases or decreases, the number of hot and cold beds varies. The number of visitors to the next round is calculated.

- The game does not have a defined end of the victory conditions type. We will indicate the periods that pass according to the projection in the desired future.

Illustrations:



Appendix 4: Modelling of Nature's contributions to adaptation future supply and demand

Nature's contributions to adaptation supply modelling:

To assess ecosystem capacity to sustain the future demand for NCA, we modelled the potential supply of NCA needed to achieve the desired vision. Potential supply of 12 NCP (5 non-material, 3 regulating and 4 material) was modelled by 2040 considering climate change variables (Table A1) and using existing models (Table A2) based on a land-use map aggregating data from CESBIO (sentinel-2 2017), BD forest (IGN) and agricultural parcels mapped during previous work done by Lamarque, (2012).

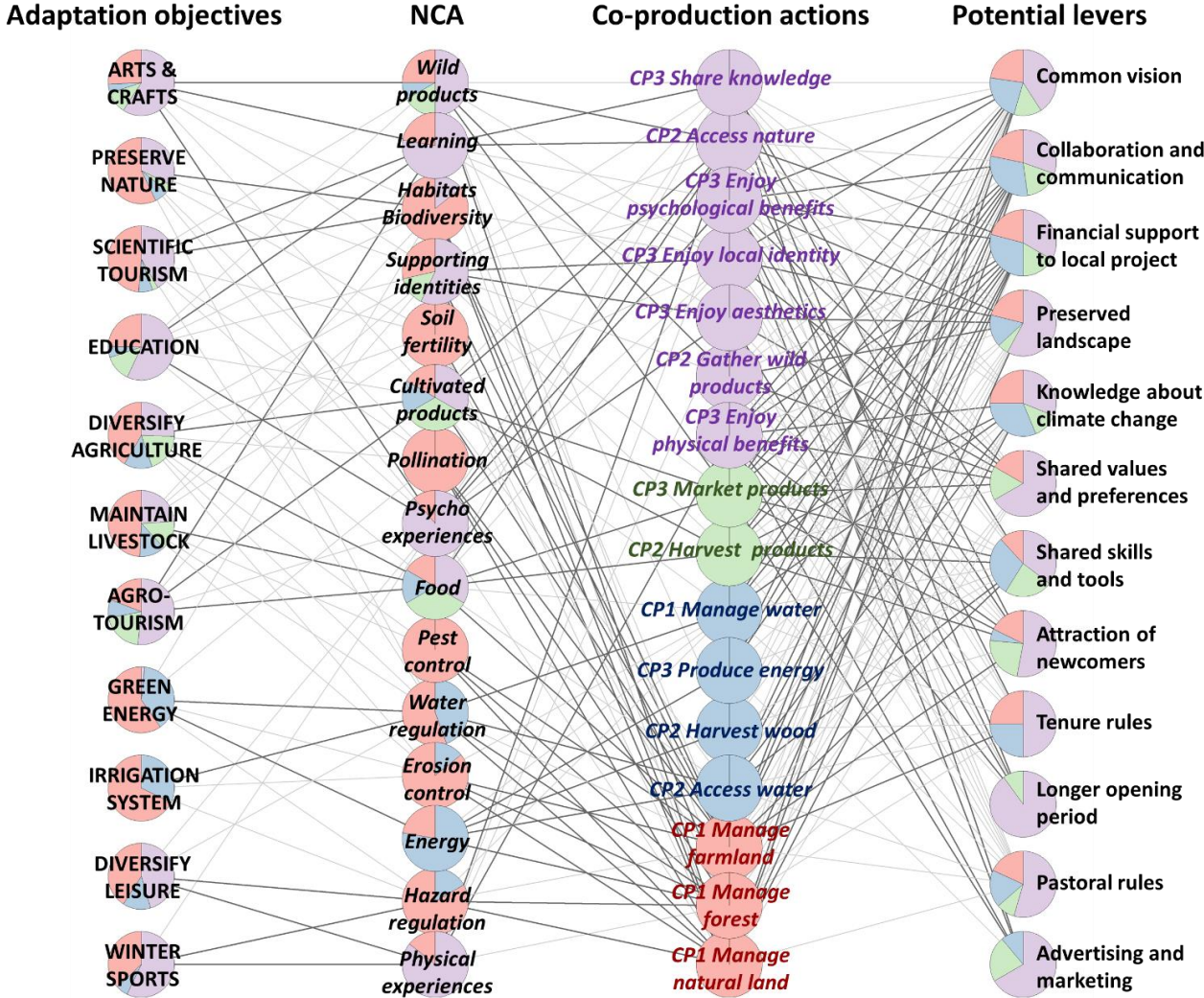
Table A1. Climatic indices for the current and 2040 study area by altitudinal section obtain from "Aladin RCP 4.5" simulations (DRIAS) of rainfall patterns, the number of degree / days from April to July (GDD) and the number of frost days (JdG) in 2040.

Elevation range	Current				2040			
	Precipitation (mm)		GDD (cumulated °C)	JdG (nb days)	Precipitation (mm)		GDD (cumulated °C)	JdG (nb days)
	Summer	Winter			Summer	Winter		
900 - 1200	605,1	507,3	1634,2	8,6	557,3	643	1800,7	6,6
1200 - 1500	624,3	501,5	1429,4	12,6	582,9	689,5	1596,7	9,5
1500 - 1800	603,5	397,9	1240	16,9	574,2	689,6	1406,8	13,2
1800 - 2100	574,9	317,4	1020,6	23,82	561,6	706,5	1184,1	18,2
2100 - 2400	539,9	227,6	811,2	32,1	553,1	742,2	965	24,9
2400 - 2700	483,7	143,4	626,1	41,9	509,1	819,7	768	34
2700 - 3000	443,1	74,4	460,9	50	470,1	870,4	586,4	44,6
3000 - 3300	347,4	31,9	333,9	55,9	381,9	938,4	452,7	51
3300 -	220,1	12,0	207,8	58,8	286,5	948,1	309,7	56,9

Table A2. Models used to estimate NCA potential supply in 2040

NCA type	NCA	Ecological property and model used)	Variables changes in 2040
Material	Fodder quantity	Plant biomass (Trait based model - (Lamarque, 2012)	Relative abundances of plant communities (Lamarque et al. 2014)
	Fodder quality	Digestibility (Trait based model) (Gardarin et al., 2014)	Relative abundances of plant communities (Lamarque et al. 2014)
	Crop production	Slope, elevation, distance to water and road, number of days under 0°C and degree/days (Mailloux et al., 1964)	Increased importance of distance to water, number of days under 0°C and degree/days
	Wood production	Wood biomass (Ginisty et al., 2009)	Increased growth regime (Hlasny et al. 2011)
Regulating	Water quality (in grasslands)	Nitrogen leaching (Trait based model) - (Lamarque, 2012)	Relative abundance of plant communities (Lamarque et al. 2014)
	Erosion control (in grasslands)	Slope, rainfall, vegetation cover, root density - (Panagos et al., 2015)	Change in precipitation regime - (Panagos et al., 2015)
	Soil Fertility maintenance (in grasslands)	Nitrogen mineralization - (Lamarque, 2012)	Relative abundances of plant communities (Lamarque et al. 2014)
Non-material	Recreative opportunities	Accessibility, attractiveness, nuisance (Rey, 2020)	No change
	Remarkable vertebrate species	Type of habitat, elevation, distance to artificial areas (Rey, 2020)	Changes following new species distributions (Rey, 2020)
	Scientific tourism opportunities	Recreational opportunities, distance to road, vertebrate species distribution and presence (Rey, 2020)	Changes following new species distributions (Rey, 2020)
	Grasslands aesthetic	Plant specific diversity / flowering date (Lamarque, 2012)	Plant specific diversity / flowering date (Lamarque, 2012)
	Landscape aesthetic	Types and shapes of landscapes (Rey et al, 2020, Schirpke et al., 2013)	No change

Appendix 5: Network representation of dependencies between adaptation objectives, Nature’s contribution to adaptation, co-production actions, and potential levers. Colours feeding the network represent the four sets of co-production actions based on synergetic role of co-production actions to benefit from NCA. Lines represent the nature of dependency between two elements: thick for necessary and narrow for facilitating



Appendix 6: Results of modelling NCA future potential supply.

Material NCA	Fodder quantity	Fodder quality	Crop production	Wood production	
	-19,7%	-21,2%	+50,7%	+16%	
Non-material NCA	Landscape aesthetic	Grasslands aesthetic	Recreative opportunities	Scientific tourism opportunities	Remarkable vertebrate species
	0%	0%	0%	+2%	+2,8%
Regulating NCA	Erosion control (grasslands)	Soil fertility (grasslands)	Water quality (in grasslands)		
	-2,9%	+32,3%	-24,1%		

Appendix 7: Description of co-production actions

Co-production steps	Co-production actions	Description	Stakeholders involved
Ecosystem management (CP1)	Manage farmland	Agricultural practices enhancing the benefits (allocating lands, manuring, irrigating, planting...)	Farmers, agricultural institutions, municipalities
	Manage natural land	Ecosystems protection, restoration and management	Municipalities, Nature conservation institutions
	Manage forest	Forestry practices (agroforestry, planting)	Foresters
	Manage water	Creating water retention	Municipalities, institutions
Ecosystem mobilization and access (CP2)	Harvest products	Agricultural practices to obtain benefits (harvesting, mowing, grazing)	Farmers, herders, agricultural institutions
	Harvest wood	Forestry practices (harvesting wood fuel)	Foresters, inhabitants
	Gather wild products	Collecting wild products in natural ecosystems (material, plants, food)	Inhabitants, visitors, tourism professionals
	Access nature	Creating roads, paths, signages to facilitate access to natural areas	Municipalities, Nature conservation institutions, inhabitants
	Access water	Creating ponds, irrigating system, channels to distribute water	Municipalities, energy companies, farmers
Nature benefits appropriation and appreciation (CP3)	Produce energy	Transforming natural resources into energy (hydropower and wood fuel)	Energy companies, municipalities, inhabitants
	Market products	Transforming, marketing, selling and buying products from natural resources	Farmers, craft-makers, artists, local retailers, inhabitants, visitors
	Enjoy aesthetics	Personal appreciation of landscape and ecosystems aesthetics	Tourism professional, visitors,
	Enjoy local identity	Creating and appreciating identity based on natural assets	Inhabitants, visitors, tourism professionals
	Enjoy physical benefits	Creating, supporting and appreciating physical activities in nature (mountain sports practices)	Tourism professional, visitors, inhabitants
	Enjoy psychological benefits	Creating, supporting and appreciating psychological activities in nature	Tourism professional, visitors, inhabitants
	Share knowledge	Sharing and learning knowledge from nature	Tourism professional, visitors, knowledge holders

Appendix 8: Description of potential levers perceived by participants

Potential levers	Description	Ease to activate	Perception as current barriers	Perception as levers for future adaptation	Local community capacity to act on levers	Type of capital
Common vision	Development of a common vision/strategy for local development (tourism, agriculture, residential services and mobility)	Hard	Strong	Strong	Strong	Social
Tenure rules	Regulation to facilitate access to housing and land	Difficult	Moderate	Moderate	Moderate	Social
Longer opening period	Regulation of opening dates (4 seasons) of local shops, accommodation, restaurants, activities	Difficult	Strong	Strong	Strong	Social
Pastoral rules	Regulation of pastoral activities to avoid overgrazing, deal with wolf issue, reduce conflict with tourism	Difficult	Low	Moderate	Moderate	Social
Advertising and marketing	Communication and marketing for local activities and products through networks and at different scales (local, regional, national, international)	Difficult	Not a barrier	Strong	Strong	Social
Preserved landscape	Preservation of landscape and nature (regulation of conservation, urbanization, restore terraces, pedagogical approach)	Hard	Not a barrier	Strong	Strong	Natural and social
Collaboration and communication	Collaboration, communication and participation among decision makers and citizens Allocate time and space for collaboration	Easy	Strong	Strong	Strong	Social
Attraction of newcomers	Creating condition to attract newcomers (workforce, skills and capacity).	Difficult	Moderate	Strong	Moderate	Human
Shared values and preferences	Peoples values, preferences and habits (perception of changes, place attachment)	Hard	Moderate	Strong	Low	Human
Shared skills and tools	Mutualization of skills, land, knowledge, infrastructures and tools (for locals and visitors)	Easy	Moderate	Moderate	Strong	Human
Knowledge about climate change	People awareness, training and knowledge about climate change and local development	Difficult	Moderate	Moderate	Moderate	Human
Financial support to collective	Orientation and allocation of budget (public and private) Tourism as the backbone of local economy, trickeling on other activities Allocation of profits to collective projects	Difficult	Moderate	Moderate	Low	Financial

DISCUSSION GENERALE



Aquarelle - « Massif de la Meije vu du Lautaret » - Denis BRULEY - déc. 2020

L'objectif principal que j'ai poursuivi au cours de mon doctorat était d'explorer comment les communautés locales pouvaient mobiliser les écosystèmes pour s'adapter aux changements climatiques et socio-économiques. Au travers des trois chapitres de résultats qui constituent ce manuscrit, je propose de caractériser les mécanismes de co-production des contributions de la nature aux populations (NCP) d'un socio-écosystème dans trois contextes : le fonctionnement actuel, les adaptations passées et enfin l'adaptation souhaitée pour le futur. Mon étude a porté sur un socio-écosystème de montagne dans les Alpes Française et repose sur des données issues d'un processus participatif impliquant une grande diversité d'acteurs locaux décrit dans le chapitre 2. L'approche inter et transdisciplinaire mise en place a combiné des connaissances en sciences écologiques et sociales. Elle s'est appuyée principalement sur des méthodes d'analyse qualitatives et dans une moindre mesure semi-quantitative.

Dans cette discussion je propose tout d'abord une brève synthèse des principaux résultats présentés dans les chapitres précédents, puis une lecture des réponses apportées au questionnement initial. Je discuterai ensuite les concepts, approches et méthodes utilisés pour répondre aux objectifs fixés, y compris sur le processus transdisciplinaire mis en place. Enfin, je conclurais par quelques perspectives sur l'adaptation du Pays de la Meije et les pistes de valorisation des résultats pour les participants et la communauté locale ainsi que les pistes de recherche associées.

Synthèse des résultats

Dans un premier temps il était nécessaire de caractériser les mécanismes de co-production des NCP contribuant à la qualité de vie de la communauté locale. Dans le chapitre 3, à partir des perceptions des participants sur les contributions de la nature à leur qualité de vie, j'ai testé et appliqué le cadre conceptuel de l'IPBES enrichi de la conceptualisation de la co-production des NCP développée avec l'équipe ServAlp. L'analyse proposée ici met l'accent sur la contribution humaine dans la co-production des NCP via l'étude des actions et capitaux humains qui y sont associés. Cette approche met en évidence que la qualité de vie de la communauté locale repose sur un paysage multifonctionnel caractérisé par des synergies au sein des actions de co-production de multiples NCP. On observe également un gradient de capital naturel et anthropique entre les étapes de co-production (depuis la gestion des écosystèmes jusqu'à leur valorisation) et entre les types de NCP (depuis les NCP de régulation jusqu'aux NCP matérielles). Ce chapitre apporte un socle de connaissances sur le fonctionnement de ce socio-écosystème indispensable pour l'étude de l'adaptation future.

Avant de s'intéresser à l'adaptation future, nous avons choisi d'explorer le passé. En effet, il semblait pertinent d'explorer les mécanismes d'adaptation basée sur les écosystèmes passés afin d'informer l'adaptation future et notamment concernant des tendances de long terme. Dans le chapitre 4, nous proposons donc une analyse de la trajectoire passée du socio-écosystème co-construite avec les acteurs du territoire entre 1900 et nos jours. Nous avons pu caractériser 4 séquences de changements au sein du SES, en identifiant les facteurs de changements, leurs impacts sur la co-production de NCP et les réponses adaptatives fournies par la communauté impliquant la reconfiguration de la co-production des NCP. Cette approche révèle qu'en fonction des capitaux - impliqués dans la co-production - impactés ou rendus disponibles par les facteurs de changements, on observe des réponses adaptatives différentes. Ainsi, elles impliquent différents degrés de reconfiguration de la co-production de NCP, allant de mécanismes de

résistance à des mécanismes de transformation. Cette approche permet à la fois de construire une compréhension des mécanismes d'adaptation basée sur les écosystèmes et, par une mise en perspective, d'informer les trajectoires d'adaptation future.

Enfin, dans le chapitre 5 nous avons étudié comment l'adaptation basée sur les écosystèmes peut être mobilisée et mise en œuvre afin de maintenir le socio-écosystème dans un état désiré. Par une approche participative de scénarisation normative, nous avons conçu avec les acteurs une vision souhaitée pour 2040 et exploré les stratégies et les leviers pour atteindre cette vision par le biais d'un jeu sérieux. Cette approche nous a permis d'analyser les changements nécessaires pour la mise en œuvre des actions de co-production de NCP permettant à la communauté locale d'atteindre les objectifs d'adaptation issus de la vision future et de s'engager dans une trajectoire d'adaptation souhaitée. Ces changements concernent tout d'abord les actions de co-production en elles-mêmes. Il s'agit notamment du maintien, de la transformation ou du développement de nouvelles actions de co-production. Mais ils concernent également le contexte de décision et l'organisation sociale de la communauté agissant comme levier pour la mise en œuvre de ces adaptations. Cette démarche constitue une première étape dans la construction de trajectoires d'adaptation. Elle informe notamment sur les freins et leviers à l'adaptation et à la transformation rencontrés par ce socio-écosystème ainsi que les fenêtres d'opportunités pour l'adaptation.

Co-production des NCP dans la trajectoire du socio-écosystème

Mes recherches ont mis en évidence comment les écosystèmes peuvent être mobilisés pour l'adaptation d'un SES. Au cours de ce travail, j'ai pu identifier les NCP sur lesquelles reposent la qualité de vie (question 1), caractériser les actions de co-production des NCP par l'homme et la nature (question 2), étudier les mécanismes d'adaptation basés sur des changements de co-production des NCP (question 3), et enfin, explorer les changements au sein du système social nécessaire pour l'adaptation et maintenir le socio-écosystème dans une trajectoire souhaitable (question 4).

En examinant les réponses apportées à ces questionnements dans les trois chapitres, je propose ici de discuter la mobilisation des écosystèmes par la communauté locale pour l'adaptation tout au long de la trajectoire du socio-écosystème du Pays de la Meije. Mon objectif est donc ici de réintégrer les différentes perspectives que j'ai exposées individuellement dans les chapitres précédents afin de présenter une vision d'ensemble de la mobilisation des écosystèmes pour l'adaptation.

1. Une qualité de vie reposant sur un paysage multifonctionnel

Mon travail souligne le rôle important que joue la mobilisation des écosystèmes pour l'adaptation et le maintien de la qualité de vie. En effet, nous avons observé que les NCP sont au cœur des adaptations passées, du fonctionnement actuel du SES et des objectifs d'adaptation issus de la vision souhaitée par les acteurs.

Trois dimensions de qualité de vie sont apparues de manière récurrente sur les périodes étudiées, il s'agit du maintien de la ruralité en lien avec les activités agricoles, de l'attractivité du paysage en lien avec les activités touristiques et enfin de la vie locale en lien avec l'habitabilité du territoire.

L'importance de ces dimensions et des contributions de la nature qui y sont associées ont évolué au cours du temps, notamment via l'adaptation des activités au contexte changeant. Elle sera amenée à évoluer à nouveau. Si la ruralité a longtemps été prédominante et étroitement liée avec la vie locale, l'avènement du tourisme au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle a placé l'attractivité du paysage au centre de la qualité de vie. Dans la vision future, si l'attractivité reste dominante, la vision des acteurs se traduit par un équilibre où les trois dimensions sont interconnectées.

Ainsi, la qualité de vie a d'abord principalement reposé sur des NCP matérielles (polycultures-élevages...) puis progressivement sur des NCP non-matérielles (esthétique du paysage, activités récréatives...). Cette tendance se poursuivrait dans le futur pour les NCP non-matérielles mais une diversification des NCP matérielles (e.g. nourriture et matériaux) est souhaitée. Les NCP de régulation (e.g. régulation qualité de l'eau) participent aux trois dimensions de qualité de vie et soutiennent la co-production d'autres NCP. Ils auraient un rôle croissant dans le contexte du changement climatique, notamment en termes d'innovation énergétique ou de gestion de l'eau. Les trajectoires de ces dimensions de qualité de vie ainsi que les NCP qui y sont associés sont similaires à celles observées dans ce types de paysage culturel ayant un attrait touristique (Iniesta-Arandia et al., 2014; Zoderer et al., 2019). Ceci permet également d'enrichir les constats sur la perception des écosystèmes de prairies faits lors de la première étude menée sur ce territoire en élargissant à l'ensemble des écosystèmes (Quétier et al., 2010).

Ces dimensions de qualité de vie sont donc étroitement interconnectées et reposent sur la multifonctionnalité du paysage, c'est-à-dire « la capacité d'un paysage à supporter simultanément de multiples bénéfices que la société tire de ces écosystèmes en interaction » (Mastrangelo et al., 2014). La multifonctionnalité se traduit ici par la mobilisation de nombreux écosystèmes pour différentes dimensions de qualité de vie au travers de synergies entre les actions de co-production de multiples NCP. En effet, nous avons mis en évidence qu'une étape de co-production peut avoir des co-bénéfices et permettre la co-production d'un autre NCP par différents acteurs. Ceci est particulièrement le cas pour l'étape de gestion des écosystèmes. Par exemple, la gestion des prairies par les éleveurs est ensuite appréciée par les habitants et les touristes pour leur esthétique ou leur contribution à l'identité locale. Identifiée comme une première fenêtre d'opportunité pour l'adaptation, une gestion appropriée et concertée des écosystèmes pourrait maintenir le potentiel multifonctionnel et d'adaptation du socio-écosystème simultanément (Huber et al., 2013).

Actuellement, il semble n'exister que peu de conflits entre « gestionnaires » et « bénéficiaires » des NCP du fait des intérêts communs en lien avec la qualité de vie, rendant les synergies entre actions de co-production possibles. Un constat qui est loin d'être généralisable y compris dans les zones où coexistent agriculture et tourisme (Schirpke et al., 2020) . Cela peut refléter le fait que de nombreux acteurs partagent des intérêts communs concernant la qualité de vie et que de nombreux individus ou ménages sont simultanément résidents (concernés par l'habitabilité), agriculteurs (ruralité) et professionnels du tourisme (attractivité). Cependant, des conflits peuvent émerger lors de changements de la gestion des écosystèmes. Cela a notamment été le cas lors de la mise en place du Parc National des Ecrins (Muscella, 2004), privant l'accès des habitants à certains bénéfices (e.g. chasse, culture...). Par ailleurs, des conflits peuvent également émerger de changements au niveau de l'accès à la nature et de l'appropriation des bénéfices comme cela a été le cas lors de la mise en place du téléphérique de la Grave (Muscella, 2004). Ces changements

importants à l'échelle du territoire ont cependant participé à son adaptation et ont permis la co-production de nombreux autres NCP contribuant *in fine* à la qualité de vie.

Un des défis majeurs pour l'adaptation future est selon moi de préserver cette multifonctionnalité intégrant la co-production de multiples NCP (Huber et al., 2020). Dans la vision future, les objectifs d'adaptation suggèrent une plus forte interconnexion entre les dimensions de qualité de vie citées, notamment via la demande par les habitants et les visiteurs en produits locaux et en agrotourisme rapprochant d'avantage l'attractivité, la vie locale et la ruralité. Par conséquent, en créant de nouvelles synergies entre les actions de co-production de différentes NCP, la trajectoire souhaitée pourrait renforcer cette multifonctionnalité. On constate cependant que l'un des piliers de cette multifonctionnalité qui est l'élevage pourrait décroître ou se transformer vers des pratiques plus intensives (pression de la transhumance), menant potentiellement vers une trajectoire non souhaitée par les acteurs locaux (Lavorel et al., 2019). A l'inverse, un développement touristique trop fort et focalisé sur d'autres attraits que l'esthétique du paysage agricole, pourrait dissocier les dimensions attractivité et ruralité et ainsi générer des conflits entre gestionnaires et bénéficiaires de NCP.

Ce point souligne le besoin de concertation, de coordination et de vision communes autour des actions de co-production des NCP pour éviter l'engagement dans une trajectoire non souhaitée. Le rôle des écosystèmes pour l'adaptation dans ce type de paysage multifonctionnel est donc primordial et se retrouve au cœur de l'activité humaine qui devra s'adapter. De nombreux secteurs économiques en dépendent directement ou indirectement ainsi que la qualité de vie. Il est toutefois nécessaire de reconnaître et de prendre en compte que la qualité de vie et l'adaptation dépendent également fortement d'activités et de capitaux n'étant pas impliqués dans la co-production de NCP (emploi, santé, sécurité, éducation) ou indirectement via la co-production de NCP par d'autres socio-écosystèmes plus ou moins éloignés (emploi extérieur au territoire, sécurité alimentaire, matériaux...).

2. Le rôle des capitaux et de l'accès à ces capitaux dans la co-production des NCP

La co-production de NCP se base sur la mobilisation de différents capitaux anthropiques et naturels pour bénéficier de NCP (Palomo et al., 2016). Nous avons tout d'abord identifié que selon le type de NCP et l'étape de co-production considérée les capitaux impliqués dans la co-production différaient. Les NCP matérielles, ici en lien avec la production agricole, nécessitent le plus souvent des actions à chaque étape de co-production ainsi qu'une mobilisation de nombreux capitaux (main d'œuvre, connaissances, financement, infrastructure, règles...). Par ailleurs, les NCP non-matérielles impliquent principalement des actions de co-production liées à l'accès et à l'appréciation des bénéfices et la mobilisation de capital social et humain (règles d'accès, valeurs et préférences). Enfin, les NCP de régulation, souvent non co-produits, reposent principalement sur le capital naturel géré par la co-production d'autres NCP. La co-production dépend donc directement de la disponibilité et de l'accès aux capitaux par les individus ou la communauté (Costanza et al., 2017). L'adaptation dépendra également de la capacité des acteurs à mobiliser ces capitaux pour modifier leurs actions de co-production (Grosinger et al., in review).

La caractérisation des changements passés a mis en évidence que les facteurs de changements identifiés ont impacté l'accès et la disponibilité de certains de ces capitaux, entraînant des réponses adaptatives. Les principaux facteurs de changements ayant entraîné l'adaptation des

pratiques au sein du socio-écosystème sont liés aux flux migratoires (émigration et immigration), aux politiques publiques extérieures (Politique agricole commune, Loi montagne) ou encore aux modes de consommations (société de loisir) et aux marchés (marché laitier). L'exemple des flux migratoires est assez prégnant. L'exode rural a entraîné de profondes modifications du secteur agricole et a poussé les communautés alpines à développer de nouveaux secteurs d'activités, tels que le tourisme (Hinojosa et al., 2016). Tourisme qui, à l'inverse, a permis le repeuplement et le développement de nombreux territoires de montagne (Kariel and Kariel, 1982). Les flux migratoires sont associés à la perte ou au gain de nombreux capitaux drainés par les individus (e.g. main d'œuvre, compétences, connaissances, fonds propres, volontés et valeurs) ayant un impact important sur la capacité de co-production et donc d'adaptation. Les acteurs ont d'ailleurs identifié les nouveaux arrivants comme nécessaires pour l'atteinte des objectifs de la vision. Il s'agit cependant d'une dynamique sur laquelle les communautés n'ont que peu de prise et qui est assez incertaine dans le contexte social, économique et environnemental actuel. Elle est notamment liée à un volet de la vision que nous n'avons pas analysé car n'étant pas en lien avec les écosystèmes. Celui-ci concerne le développement de la vie locale (e.g. éducation, santé, services) pour améliorer la vie des habitants et attirer de nouveaux arrivants. Ces résultats reflètent le rôle prépondérant des facteurs externes, notamment socio-économiques et politiques, dans les dynamiques d'adaptation des socio-écosystèmes (Prokopová et al., 2018). Cela souligne également le fait que les facteurs de changements peuvent constituer une menace pour la co-production en modifiant la disponibilité de certains capitaux clés (e.g. main d'œuvre) ou à l'inverse une opportunité à saisir via l'accès à de nouveaux capitaux offrant de nouvelles options d'adaptation (e.g. engouement pour le tourisme de montagne).

Le contexte local joue également un rôle important dans l'accès aux capitaux, et particulièrement en lien avec les relations de pouvoir. Il peut s'agir d'interactions entre le capital social et humain, via les règles informelles empreintes de valeurs et d'intérêts qui régissent une communauté. Ici les acteurs ont d'emblée pointé le manque de culture du collectif, non favorisé par le système de décision en place, comme un frein au développement de nouvelles activités. Il en va de même pour les modalités d'accès au foncier (bâti ou terres), les propriétaires exerçant leur pouvoir de bloquer l'accès aux terres par exemple. Il peut s'agir également du capital naturel dont l'accès peut être réglementé (par le parc national par exemple). Si certains leviers d'action à l'échelle locale identifiés lors des réflexions sur l'adaptation, visent à modifier l'accès à certains capitaux notamment par une redistribution de pouvoir (démocratie participative, orientation des financements), une grande partie d'entre eux dépendent des capacités individuelles (connaissances, compétences, capacité d'investissement, valeurs...) et seront difficilement atteignables par le collectif. La capacité d'action des acteurs pour l'adaptation via la co-production de NCP dépend principalement de capitaux sur lesquels ils peuvent avoir une influence individuellement ou collectivement (Felipe-Lucia et al., 2015; Grosinger et al., in review).

3. Les mécanismes d'adaptation basée sur les écosystèmes

Les facteurs de changements impactant les capitaux engendrent des réponses adaptatives via la reconfiguration de la co-production de NCP, mécanismes que j'ai considérés comme étant au cœur de l'adaptation basée sur les écosystèmes. Les facteurs de changements peuvent impacter chaque étape de co-production avec de potentielles répercussions par un effet cascade sur les autres étapes de co-production (Lavorel et al., 2020). C'est ce qu'il pourrait se passer en réponse à la demande croissante pour les produits locaux, impliquant pour les éleveurs qui le souhaitent des changements profonds à toutes les étapes de la co-production de légumes, céréales, etc. Par ailleurs, les réponses adaptatives peuvent engendrer une reconfiguration de l'ensemble des étapes de co-production d'une NCP, comme cela a été le cas pour la transition entre l'agriculture de subsistance à l'élevage ou alors d'une seule étape, comme lors de la transition entre élevage laitier et élevage de génisses. Une adaptation dans la co-production de NCP peut également avoir un impact sur la co-production d'autres NCP en lien avec la multifonctionnalité du paysage explicité ci-dessus (e.g. changement de gestion des écosystèmes impactant l'identité locale liée au paysage). Ainsi, on s'attend à des répercussions systémiques suite aux reconfigurations de la co-production d'une NCP pour l'adaptation. Ceci est un élément important à prendre en compte lors de réflexions menées avec les acteurs sur l'adaptation d'un socio-écosystème.

Différents types de réponses adaptatives ont été observés, impliquant une plus ou moins forte reconfiguration de la co-production des NCP et des capitaux qui y sont impliqués, des mécanismes de résistance, d'ajustement et de transformation. Nous avons observé que les mécanismes de résistance se caractérisaient par une reconfiguration des capitaux principalement au sein d'une seule étape de co-production n'ayant pas d'impact sur les autres étapes. Il s'agit par exemple, des évolutions récentes des modalités d'accès aux subventions agricoles n'ayant eu que peu d'effets sur les pratiques d'élevage sur ce territoire mais qui en ont permis le maintien. Les mécanismes d'adaptation d'ajustement ou incrémentaux sont quant à eux caractérisés par des modifications de certaines étapes de co-production afin de maintenir les activités ou justement d'éviter la transformation. Par exemple, des changements au sein d'une seule étape de co-production lors du passage de l'élevage laitier à celui de génisses. Enfin, les mécanismes de transformation impliquent de profonds changements au sein de multiple étapes de co-production ainsi que de nombreux capitaux ou encore la mise en place de nouvelles actions de co-production. La transformation s'est notamment caractérisée par d'importants changements au sein du capital social et humain. En effet, les deux transformations observées, transition de l'agriculture de subsistance à l'élevage et le développement touristique, se sont accompagnées d'une modification des valeurs, des règles et des systèmes de connaissances qui façonnent le contexte de décision et la capacité d'action de la communauté (Gorddard et al., 2016). Ce changement au sein du contexte de décision était nécessaire à un changement de paradigme conduisant à une transformation sociale, l'avènement progressif du tourisme. Nous avons constaté que les adaptations basées sur les écosystèmes identifiées pour atteindre la vision future sont principalement liées à des mécanismes d'ajustements des pratiques afin de les maintenir ou de les développer (diversification touristique, irrigation...). Par conséquent, peu de transformation des écosystèmes seraient impliquées au niveau des actions de co-production.

4. Conditions nécessaires pour l'adaptation

L'étude des adaptations souhaitées par les acteurs locaux montre que pour pouvoir adapter les actions de co-production, peu de changements sont nécessaires dans le système écologique mais que de profonds changements sont nécessaires au sein du système social et notamment du contexte de décision pour améliorer les capacités d'action locale.

4.1. Les conditions naturelles

Les mécanismes d'adaptation décrits ci-dessus, qu'ils soient passés ou futurs, dans le contexte particulier du socio-écosystème du Pays de la Meije, ne requièrent que peu de changements du capital naturel et se basent principalement sur des fonctions et processus naturels existants ou persistants. De plus le capital naturel ne semble pas être un facteur limitant pour l'adaptation souhaitée par les participants. Il est donc intéressant de constater dans la trajectoire de ce socio-écosystème que les adaptations souhaitées se placent dans les « limites » écologiques du socio-écosystème. Ce constat peut s'expliquer de plusieurs manières. Tout d'abord, par la faible intensité de gestion des écosystèmes actuelle et souhaitée, qui plus est protégée par la présence du parc national et la volonté locale de préserver le paysage. Mais également par l'importance des NCP non-matérielles dans le fonctionnement actuel et pour l'adaptation souhaitée. Celles-ci se basent sur les écosystèmes existants et la gestion qui en est faite. Ceci suppose en retour que la préservation d'un capital naturel de haute qualité est essentielle pour soutenir l'adaptation, ajoutant un défi supplémentaire pour les gestionnaires qui feront face aux impacts du changement climatique dont les effets sont encore incertains. Deux impacts du changement climatique semblent prédominants, déjà observés, ont déjà entraîné des réponses adaptatives. Le premier concerne directement la gestion des écosystèmes puisqu'il s'agit des événements de sécheresse et de variabilité climatique saisonnière accrue (gel tardif, précipitations) impactant la production de fourrage (adaptation en élargissant la zone de fauche suffisante pour l'instant). Le second concerne la fonte des glaces et la couverture neigeuse, ayant un impact direct sur les activités récréatives qui s'adaptent déjà (alpinisme) et des impacts à long terme sur les écosystèmes en lien avec la disponibilité en eau. Ce dernier impact n'est pas encore une préoccupation pour les participants.

4.2. Les conditions sociales

Lors des discussions suivant les parties de jeu, les participants ont identifié de nombreux freins à l'action et donc à l'adaptation, impactant la mise en œuvre des actions de co-production requises pour atteindre les objectifs de la vision. Les freins identifiés peuvent être considérés à l'inverse comme des leviers d'action, indiquant alors des points d'intervention pour favoriser les mécanismes d'adaptation (Chan et al., 2020), notamment en donnant accès à des capitaux comme souligné précédemment. Ces leviers d'action concernent particulièrement des interactions entre capital social, humain et financier.

Un premier groupe de leviers a été identifié et concerne la création des conditions nécessaires pour la décision et l'action collective. Il s'agit notamment d'améliorer les collaborations et la participation des habitants et acteurs aux processus de décision locale, d'élaborer des visions ou stratégies en commun pour le développement du territoire ou encore l'orientation des supports

financiers des projets collectifs à venir. L'action collective est identifiée comme primordiale car de nombreux objectifs d'adaptation de la vision dépendent de la concertation ou de la mise en collectif entre de multiples acteurs. C'est le cas de la mise en place de la production, la transformation et la vente de produits locaux en circuit court (pas seulement agricole), mais également d'une démarche concertée pour le développement touristique ou de la vie locale.

Un second groupe de leviers concerne les conditions nécessaires pour la mise en œuvre de pratiques adaptatives en lien avec le développement et le partage de connaissances sur les impacts et réponses au changement climatique pour les activités agricoles et touristiques, mais aussi la préservation du paysage et des écosystèmes.

Un troisième point d'intervention concerne des leviers pouvant mener à l'innovation sociale, comme par exemple l'attraction de nouveaux arrivants apportant de nouvelles connaissances et valeurs. Ceci permet également le partage des compétences ou infrastructures nécessaires à la mise en œuvre de nouvelles actions de co-production de NCP. Ainsi, le partage des valeurs et des préférences participe au choix d'agir localement, par exemple pour la production de nourriture, d'art et d'artisanat locaux et pour les actions de conservation de la nature.

Cependant pour que la communauté soit en capacité d'activer ces leviers, des changements sont nécessaires dans le contexte de décision notamment en ce qui concerne les systèmes de valeurs, de règles et de connaissances. Par exemple, un obstacle majeur à l'action collective et à l'innovation sociale résulte d'une combinaison de valeurs et de règles. La forte résistance au changement d'une partie de la communauté, combinée à la rigidité du système de gouvernance traditionnel français, laisse une marge de manœuvre limitée pour la collaboration et la participation à la prise de décision et à l'action. Les changements vers un système de valeurs et de règles dans lequel la collaboration, le partage et les actions participatives, en opposition à l'individualisme, semblent difficiles à réaliser, mais pas impossibles comme cela a été le cas dans la Drôme Française (Bergeret and Lavorel, in review). En particulier, il existe un déséquilibre dans les relations de pouvoir, les décideurs puissants étant porteurs de ces valeurs de résistance au changement et ancrés dans la forme actuelle de gouvernance, ce qui met en évidence la nécessité de renforcer le pouvoir des autres acteurs (Woroniecki et al., 2019).

Ainsi, nous observons que l'adaptation transformative ne se joue pas seulement dans la sphère "visible", c'est-à-dire sur les écosystèmes et les actions de co-production, mais aussi dans la sphère "invisible" : la création des conditions nécessaires à la mise en œuvre de ces actions d'adaptation, qui passe par le renforcement de la capacité d'action des communautés. Pour transformer les barrières en leviers, la communauté locale devra transformer sa façon de penser, de décider et d'agir (Abson et al., 2017). La mise en place de prises de décisions participatives pourrait être la solution requise.

Discussion de l'approche conceptuelle et méthodologique

1. Forces et limites d'une entrée par la co-production des NCP

La co-production est un concept encore peu exploré même si l'étude de l'implication humaine dans la production de NCP a été initiée depuis longtemps (Ostrom, 2009). Le concept de co-production de NCP a été central dans mon travail et m'a permis de mieux caractériser les interactions homme-nature pour la mobilisation des écosystèmes pour la qualité de vie et l'adaptation. Si le cadre d'analyse de la co-production développé ici apporte de nouvelles perspectives pour l'étude des NCP et de l'adaptation, mon approche présente un certain nombre de limites qui pourraient faire l'objet de pistes de recherches futures.

En premier lieu, le concept de co-production contribue à l'effort de recherche sur les socio-écosystèmes visant à une meilleure intégration des dimensions écologiques et humaines (Herrero-Jáuregui et al., 2018). L'approche systémique mise en place a permis de considérer l'ensemble des éléments anthropiques et écologiques, ainsi que leurs interactions autour de la notion de NCP ou service écosystémique, souvent centrale dans les approches sur les socio-écosystèmes. Dans cette analyse, je me suis particulièrement concentrée sur la caractérisation du rôle de l'intervention humaine dans la mobilisation des NCP, notamment en réponse au contenu du discours des acteurs participants. Cependant, ce focus s'est fait au détriment d'une étude plus poussée de l'implication du capital naturel dans la co-production de NCP, montrant la persistance du défi d'intégrer ces deux dimensions dans l'étude des socio-écosystèmes (Epstein et al., 2013). En effet, le concept de co-production permettrait également d'intégrer les processus et fonctions écologiques associés à chaque étape de co-production d'une NCP, faisant ainsi le lien avec les évaluations écologiques de la fourniture de NCP (Kremen, 2005).

Par ailleurs, la co-production offre une nouvelle perspective sur l'étude des synergies et compromis entre les NCP qui peuvent émerger des actions de co-production. Nos résultats ont montré l'existence de synergies entre la co-production de multiples NCP contribuant ainsi à différentes dimensions de qualité de vie. Ceci permet de révéler les réseaux complexes d'interdépendance entre acteurs, notamment entre les gestionnaires et les bénéficiaires mais également entre groupes d'acteurs dont la qualité de vie dépend de bouquets de NCP similaires (i.e. tourisme et vie locale dans notre cas d'étude) ou de la co-production d'un autre groupe d'acteurs (i.e. agriculture pour la vie locale et l'attractivité). L'étude des synergies et compromis via la co-production est également particulièrement pertinente pour l'étude de l'adaptation. En effet, elle contribue à la reconnaissance des interconnexions entre acteurs informant sur les changements au sein des actions de co-production qui pourraient limiter ou améliorer la capacité d'adaptation (Outeiro et al., 2017; Palomo et al., 2016).

On constate néanmoins que peu de compromis entre NCP ou actions de co-production ont été identifiés dans le fonctionnement actuel ou l'adaptation future du socio-écosystème. Contrairement aux possibles synergies pour l'adaptation future, les compromis entre NCP n'ont pas fait l'objet d'une attention particulière dans le chapitre 5. Cependant, l'implication d'acteurs aux points de vue divergents et l'obtention de visions plus contrastées auraient pu permettre d'identifier plus de compromis. La construction d'une trajectoire d'adaptation avec les acteurs pourrait également faire apparaître des compromis entre NCP non visibles jusque-là. L'analyse des compromis entre NCP peut également faire partie de l'analyse des effets de rétroactions des

changements dans la co-production de NCP ayant un impact possible sur les écosystèmes et sur la qualité de vie. Un volet que nous n'avons pas considéré dans l'analyse de l'adaptation future.

Cette approche permet également l'identification de l'ensemble des « co-producteurs », acteurs impliqués dans les différentes étapes de co-production d'une NCP, à prendre en compte dans l'évaluation des NCP. L'analyse de la co-production permet notamment de mettre l'accent sur les acteurs impliqués dans l'appréciation et l'appropriation des NCP. Ces acteurs sont souvent plus nombreux et diversifiés que les gestionnaires et ont un rôle important car ils participent à la valorisation (pas seulement monétaire) des bénéfices. Ils peuvent notamment avoir un impact certain, par la demande, sur l'ensemble de la chaîne de co-production (Fedele et al., 2017). Toutefois, nous ne présentons que des résultats agrégés entre les participants et ne distinguons pas les perceptions entre les groupes sociaux (Barnaud et al., 2018; Zoderer et al., 2019).

De plus, le concept de co-production serait une opportunité pour mieux comprendre les interactions homme/nature autour des NCP non-matérielles (ES culturel). En effet, elle permet de considérer les capitaux anthropiques « intangibles » liés aux valeurs, préférences et aux aspects cognitifs impliqués dans la co-production de ces NCP (Palomo et al., 2016). Cependant, l'évaluation d'une telle co-production reste difficile (Bieling et al., 2014; Daniel et al., 2012; Hernández-Morcillo et al., 2013) et plus complexe à caractériser que les autres NCP, car les gens perçoivent, apprécient ou valorisent la nature de diverses manières, ce que nous avons pu observer directement auprès des acteurs (Pascual et al., 2017; Raymond et al., 2017).

Si l'approche systémique a permis de rompre avec les approches sectorielles, concernant un secteur d'activité, un type d'écosystème ou encore une étape de co-production, la recherche d'exhaustivité présente quelques limites. Le grand nombre de NCP, d'action de co-production, de leviers d'action identifiés ainsi que leurs interactions, rend l'analyse complexe et ne permet pas la compréhension plus fine des mécanismes. Il serait maintenant intéressant de se focaliser sur quelques maillons de la co-production, ou mécanismes d'adaptation pertinents à nos yeux ou à ceux des acteurs. Par exemple, une étude plus fine des fenêtres d'opportunité pour l'adaptation permettrait d'identifier le rôle des leviers et l'articulation possible entre les actions de co-production. Cela contribuerait également à la production de connaissance plus concrète pour les acteurs (Wyborn et al., 2019).

L'approche déductive et qualitative mise en place pour analyser les discours d'acteurs était appropriée au caractère systémique de l'analyse offrant une vision d'ensemble du socio-écosystème (Choy, 2014). Une dimension purement quantitative aurait été impossible au vu de l'échelle, du nombre de NCP et des actions de co-production considérés. Cependant, une étude plus approfondie de certains mécanismes de co-production d'une NCP pourrait être effectuée notamment par la quantification des différents capitaux qui y sont impliqués, suggérant l'identification d'indicateurs et la disponibilité des données nécessaires pour chacun d'entre eux (Jones et al., 2016).

Le concept de co-production s'est révélé utile et intuitif pour analyser le discours d'acteurs concernant leurs relations aux écosystèmes, il serait donc intéressant d'utiliser directement ce concept et cette approche dans l'évaluation des NCP avec les acteurs. Cela pourrait également être intéressant de l'appliquer aux réflexions sur l'adaptation pour identifier les capitaux disponibles, manquants ou inaccessibles pour l'adaptation ou la transformation des pratiques. Mais encore pour étudier les relations de pouvoir qui se jouent autour de l'accès aux capitaux. Cependant dans l'approche utilisée, un travail important d'analyse, d'interprétation et de traduction des discours

d'acteurs a été nécessaire afin d'identifier les NCP et les éléments de la co-production. Les résultats obtenus sont donc une combinaison des savoirs des acteurs et des chercheurs (Tengö et al., 2014).

2. Retour sur l'approche de l'adaptation proposée par TARA

Ce travail a opérationnalisé les concepts développés par le groupe TARA pour étudier l'adaptation, i.e. les trajectoires d'adaptation, le contexte de décision et les contributions de la nature à l'adaptation (NCA) (Colloff et al., 2017). L'articulation de ces trois concepts a effectivement été nécessaire afin d'appréhender et d'analyser l'adaptation future du socio-écosystème étudié.

Tout d'abord la co-production des NCA est au cœur de la conceptualisation de l'analyse de l'adaptation basée sur les écosystèmes présentée ici, comme l'illustre les résultats. En effet, les options d'adaptation reposent sur la co-production de multiples NCA. Les changements faits au sein des actions de co-production orientent la trajectoire empruntée par le socio-écosystème. Cependant, pour mettre en œuvre ces actions d'adaptation d'importants changements sont nécessaires au sein du contexte de décision afin de maintenir ou orienter le socio-écosystème dans une trajectoire souhaitée. L'ensemble de ces concepts sont donc indissociables afin in fine d'étudier les trajectoires d'adaptation d'un socio-écosystème.

2.1. Contributions de la nature à l'adaptation

La notion de contributions de la nature à l'adaptation (NCA) a été mobilisée afin de construire un lien entre les objectifs d'adaptation associés à la vision et les actions de co-production nécessaires pour les atteindre. Ce concept permet de prendre en compte les changements nécessaires pour l'adaptation au sein du système social et écologique. En effet, d'une part, les actions de co-production peuvent se maintenir, se transformer ou encore se développer en tant que nouvelles actions. D'autre part, cette co-production peut se baser sur des NCP persistantes, latentes ou nouvelles reposant sur la résilience ou la transformation des fonctions et processus écologiques (Colloff et al., 2020; Lavorel et al., 2019).

Cependant, comme la vision reposait principalement sur la capacité des écosystèmes à maintenir leurs fonctions et bénéfiques, et sur des NCP persistantes, l'intégralité du potentiel du concept de NCA n'a pas pu être exploité. Si certaines adaptations souhaitées dépendent de la co-production de nouvelles NCA, elles reposent également sur des écosystèmes existants. Ainsi, nous n'avons pas pu explorer le potentiel transformatif des écosystèmes et de potentielles nouvelles NCA qui en découleraient. La modélisation de fourniture potentielle dans le contexte du changement climatique et d'utilisation des terres n'a pas non plus permis d'identifier de changements majeurs dans la fourniture des NCP. Il serait nécessaire de faire le lien avec la recherche sur les points de basculement au sein des écosystèmes afin de mieux les identifier et les retranscrire aux acteurs.

2.2. Contexte de décision

Le contexte de décision est défini par les interactions entre les systèmes de valeur, de gouvernance et de connaissances (Gorddard et al., 2016). Cette notion m'a permis de formaliser l'idée de

« conditions sociales » nécessaires pour créer un espace favorisant la décision et l'action d'adaptation. J'ai ainsi pu conceptualiser deux niveaux d'intervention pour les individus et les communautés (Meadows, 1999). Le premier concerne les actions de co-production le plus souvent effectuées par des individus dont on ne peut imposer les choix d'adaptation, choix qui dépendront de leur capacité à mobiliser les capitaux nécessaires (« agency individuelle »). Le second concerne la mise en place d'un contexte de décision favorable à l'adaptation souhaitée. C'est à ce niveau collectif que se formaliseraient les blocages et leviers liés à l'organisation sociale et à la capacité d'action du collectif (« agency collective »).

Si l'on rapproche cette conceptualisation de la co-production comme cela a été fait dans cette étude, le contexte de décision correspondrait aux capitaux étant indirectement impliqués dans la co-production, également identifié comme une étape supplémentaire de co-production (CP0) (Bergeret et al. in review). Il peut donc être influencé par les leviers activés par la communauté locale mais également par les évolutions à plus large échelle, telles que les politiques publiques, les nouvelles connaissances ou encore un changement progressif des valeurs. Éléments qui ont été identifiés par les participants comme inatteignables à leur échelle. Ainsi, le contexte de décision évoluerait au long de la trajectoire et participerait à l'ouverture de fenêtres d'opportunités pour l'adaptation.

2.3. Trajectoire d'adaptation

La construction de trajectoire d'adaptation, objectif initial du projet Mtnpath, est le concept qui m'a posé le plus de difficultés me poussant à m'interroger sur ce qu'est une trajectoire d'adaptation. Nous n'avons que peu de recul sur ce type d'approche du fait du récent engouement qu'elle suscite. Il existe des approches plus ou moins normatives de construction de trajectoire d'adaptation, avec des suites d'actions et d'alternatives bien identifiées (Haasnoot et al., 2013), issues de la modélisation permettant d'explorer différentes trajectoires selon les décisions prises (Brunner et al., 2016), et nécessitant une forte implication des acteurs locaux (Cradock-Henry et al., 2020).

Il est particulièrement difficile selon moi d'identifier des actions concrètes et priorisées dans le temps, cela aurait même un aspect prédicatif qui pourrait s'avérer obsolète face à des changements brusques (comme une crise sanitaire par exemple). Il ne s'agit effectivement pas de planifier le futur mais de définir un ou des espaces adaptatifs dont les limites seraient définies par les acteurs en fonction des enjeux locaux et globaux, par exemple en identifiant ce qui serait souhaitable ou durable pour le développement d'un territoire.

Je vois la combinaison des concepts proposés par TARA, tels que mobilisés dans mon analyse, comme un moyen d'identifier cet espace adaptatif. Ils permettent également d'identifier des fenêtres d'opportunités, où la communauté peut agir afin de maintenir ou orienter le socio-écosystème dans une trajectoire souhaitée. Ces fenêtres d'opportunités forment un réseau d'interactions complexes entre des bouquets de NCA, des synergies entre actions de co-production et l'activation de leviers sociaux, économiques et politiques pour adapter le contexte de décision. L'ensemble de mon travail sur ce socio-écosystème serait un point de départ important pour le développement et la mise en œuvre d'une trajectoire d'adaptation.

3. Défis posés par l'approche transdisciplinaire

Les approches transdisciplinaires sont de plus en plus plébiscitées et recommandées pour répondre aux enjeux de la durabilité (Norström et al., 2020). Les méthodes et pratiques de production de connaissances ont évolué en conséquence au sein de la recherche socio-écologique et de la durabilité (Horcea-Milcu et al., 2020; Lang et al., 2012). S'il existe de nombreuses recommandations pour mener le processus transdisciplinaire idéal, très peu de retours d'expériences concrets sont disponibles, je souhaite donc exposer les principaux challenges rencontrés lors de ce processus.

3.1. Une entrée par les écosystèmes toujours difficile.

Malgré le rôle capital des écosystèmes pour la qualité de vie dans le passé, actuellement et pour l'adaptation souhaitée, il était particulièrement difficile pour les acteurs de s'exprimer sur les caractéristiques naturelles contribuant à leur qualité de vie (telles que les éléments ou propriétés des écosystèmes) ; ils se sont plutôt référés aux unités du paysage ou à la nature dans son ensemble (Bieling et al., 2014). En revanche, les participants ont plus facilement identifié et décrit les NCP ayant un niveau de co-production plus élevé et un plus grand apport de capital anthropique telles les activités agricoles par exemple. Ils se sont donc majoritairement exprimés sur leurs activités et les facteurs humains qui y étaient associés ou encore sur d'autres facteurs dont dépendent leur qualité de vie. Cette dernière observation souligne le défi que représente le fait d'accorder le niveau d'attention approprié aux contributions non naturelles (santé, éducation, mobilité...) à la qualité de vie dans l'analyse d'un socio-écosystème (Sarkki, 2017), y compris concernant l'adaptation. Il s'agit d'un volet qui a été mis de côté dans mon analyse malgré le grand nombre d'informations récoltées à ce sujet, car en dehors du périmètre de cette étude.

Ce constat soulève néanmoins la question de la connaissance limitée des acteurs locaux sur les NCP dont ils bénéficient ou pourraient bénéficier pour l'adaptation. Cela avait déjà été mis en évidence concernant les agriculteurs de ce territoire (Lamarque et al., 2014), et s'appliquerait donc à l'ensemble des acteurs. Ce qui souligne également la nécessité de combiner différentes méthodes et sources de connaissances des parties prenantes, des experts et des scientifiques pour mieux comprendre les apports tangibles et intangibles de la co-production, qu'ils soient mesurés ou perçus (Reyers et al., 2013).

3.2. Articulation entre acteurs et chercheurs

Le second défi réside dans l'articulation entre les connaissances des acteurs et du chercheur. L'approche choisie était donc basée sur les perceptions, connaissances et visions des participants, notamment par la discussion collective, en limitant les contraintes apportées par les cadres d'analyses qui n'ont pas été présentées de manière explicite. Cette méthode bien que riche en information a posé un défi particulier de traduction des discours des acteurs pour les faire rentrer dans les cadres d'analyses. La méthode a bien fonctionné dans le cadre de l'identification de NCP, de la co-production et des leviers d'action mais elle laisse une place importante à l'interprétation de la part du chercheur. Cela relativise la difficulté mentionnée ci-dessus concernant la faible présence des écosystèmes dans les discours d'acteurs, qui peut ainsi être déduite à posteriori. Cela laisse cependant de côté les éléments non perçus ou exprimés par les participants, qui ne seront,

de ce fait, pas considérés dans l'analyse ou pouvant faire l'objet de spéculation de la part du chercheur pour combler un manque dans l'analyse.

Par ailleurs, le fait d'interpréter les dires d'acteurs avec des cadres d'analyse qui n'ont pas été explicitement présentés auxdits acteurs et l'importante traduction de leurs connaissances crée une distance entre les acteurs et le travail d'analyse effectué en aval. Il s'agit d'une position inconfortable pour le chercheur selon moi, notamment lors des retranscriptions des analyses aux acteurs pour que les résultats correspondent à leurs attentes et pas seulement aux attentes posées par le questionnement et les objectifs scientifiques (Vernooy and McDougall, 2013). Si les connaissances des acteurs ont largement été mobilisées et ont influencé les choix scientifiques, notamment le choix d'analyser en particulier l'intervention humaine dans la co-production, il reste difficile d'évaluer à ce stade comment les connaissances apportées en retour aux acteurs leurs sont utiles. La méthode d'évaluation par questionnaire n'ayant pas permis de tirer des conclusions pertinentes. L'approche mise en place reste de ce fait très conceptuelle, car si les cadres ont été opérationnalisés avec des données issues du processus participatif, ils n'ont pas été explicitement opérationnalisés avec les acteurs, ne répondant pas aux critères de production participative de connaissance pour l'adaptation (Norström et al., 2020).

Ce processus a par ailleurs souligné un besoin fort d'espaces de discussion pour certains acteurs afin de réfléchir et discuter ensemble aux problématiques actuelles ou d'avenir. C'est le retour principal des participants ayant vécu l'expérience du jeu qui a permis de révéler et discuter collectivement les principaux blocages à la collaboration et au collectif. L'utilisation d'un jeu sérieux s'est révélée particulièrement pertinente pour engager des réflexions sur l'avenir du territoire avec les acteurs et identifier les principales préoccupations des participants (Salliou et al., in review). Il permet aux acteurs de se libérer de certaines contraintes du présent, ce qui leurs a permis de mieux se projeter dans le futur, une étape qui a été plus difficile lors de la construction des visions. Je soulignerais donc l'importance d'une diversité de méthodes de mobilisation d'acteurs pour impliquer une plus grande diversité (certains acteurs ne sont pas à l'aise dans un collectif par exemple), pour s'adapter à leurs contraintes, et enfin pour obtenir différents niveaux de détails de connaissances des acteurs (Martin and Sherington, 1997).

3.3. Quel rapport des acteurs au futur et à l'adaptation ?

Tout d'abord il est nécessaire de souligner que le socio-écosystème étudié ne connaît pas de pression particulière sur ces écosystèmes, ni de problématique sociale forte menaçant la qualité de vie. Dans un autre contexte les constats ci-dessous auraient pu être tout autres.

Les étapes de construction de visions et de projections dans le développement futur du territoire avec le jeu sérieux ont révélé les difficultés que nous éprouvons à nous projeter dans l'avenir, à imaginer quelque chose de différents de notre quotidien. Ceci peut expliquer le caractère peu novateur et proche des problématiques actuelles de la vision formulée par les participants, mais également l'absence de changements transformatifs au sein de la vision ou de la trajectoire pour l'atteindre. Il était notamment difficile pour les acteurs d'identifier des actions ou changements concrets pour atteindre les objectifs fixés dans la vision, y compris au sein de leur propre activité et vie quotidienne.

Concernant les préoccupations pour le futur du territoire, nous avons observé une certaine divergence entre l'intérêt des acteurs et le nôtre. En effet, notre intérêt était porté sur la

mobilisation des écosystèmes pour l'adaptation et les réponses aux effets du changement climatique, les préoccupations des participants concernaient en priorité le système de décision local, l'absence d'action collective ou encore les relations avec le parc national des Ecrins (Salliou et al., in review). Ce constat souligne notamment l'importance de ne pas se focaliser seulement sur les changements climatiques ou environnementaux lors de l'étude de l'adaptation avec les acteurs. En effet, si les facteurs de changements climatiques et environnementaux sont au cœur de la recherche sur l'adaptation, ils ne sont souvent pas signalés par les acteurs comme étant les principaux moteurs de l'adaptation ou de la vulnérabilité des moyens de subsistance (Mcdowell and Hess, 2012; Räsänen et al., 2016).

Perspectives sur l'adaptation future du pays de la Meije.

Pour conclure, l'ensemble du travail accompli auprès des acteurs, en termes d'analyse des résultats, me permet d'avoir une vision des principaux enjeux en lien avec l'adaptation basée sur les écosystèmes sur ce territoire particulier. Je propose ici d'en expliciter certains qui pourraient faire l'objet d'une valorisation de ce processus auprès des acteurs locaux. La valorisation de ces travaux constitue l'étape suivante, la façon dont ce travail sera valorisé devra idéalement être décidé avec un groupe d'acteurs ayant participé à l'ensemble du processus.

1. Le potentiel des écosystèmes pour l'adaptation méconnu ?

Un des principaux challenges au vu du déroulement du processus participatif et de la difficulté de mettre la question des écosystèmes dans les réflexions sur l'adaptation, est de parvenir à faire reconnaître explicitement le rôle des écosystèmes pour l'adaptation. Mobilisation des écosystèmes qui, comme nous l'avons montré, catalyse un grand nombre d'activités socio-économiques et dont dépend fortement la qualité de vie. Ce que d'autres appelleraient une reconnexion entre l'homme et la nature (Abson et al., 2017; Ives et al., 2018) et qui impliquerait des changements importants au sein des valeurs. Cela ferait partie de l'effort de mobilisation du concept de NCP ou de services écosystémiques pour l'étude et la mise en œuvre de la durabilité (Schröter et al., 2017), notamment via des processus transdisciplinaires.

Il me semble que la notion d'adaptation basée sur les écosystèmes (EBA) ou solutions fondées sur la nature (NBS) pourrait participer ou participe déjà à l'intégration des écosystèmes par les stratégies d'adaptation. Il s'agit d'un concept qui a grandement évolué depuis le début de cette thèse, et dont se sont très rapidement saisis les politiques publiques et décideurs (Barkdull and Harris, 2019), contrairement au concept de services écosystémiques pour lequel cela a pris du temps (MEA, 2005). De nombreuses initiatives émergent actuellement, cependant elles ne concernent souvent que des adaptations marginales et ne sont pas considérées au cœur de stratégies d'adaptation (Zölch et al., 2018).

Il serait alors nécessaire de poursuivre l'effort de recherche transdisciplinaire, en se basant sur des résultats tels que ceux présentés dans cette thèse, pour évaluer la capacité des acteurs et décideurs à prendre en compte le rôle des écosystèmes et de la co-production de NCA pour l'adaptation. Ceci serait d'autant plus pertinent dans un socio-écosystème où les interactions homme-nature sont fortes comme celui étudié. L'approche de scénarisation normative peut être utile, mais elle doit aller plus loin que ce que nous avons pu réaliser afin de rendre explicite le rôle des écosystèmes pour l'adaptation locale. Un retour vers les acteurs pour tester cette hypothèse serait donc nécessaire.

2. Dépasser les chemins de dépendance ?

L'analyse de la trajectoire passée et des freins à l'adaptation future perçus par les participants révèle l'existence de plusieurs chemins de dépendance et mécanismes de résistance pouvant potentiellement limiter la capacité d'adaptation du socio-écosystème et ainsi menacer le maintien de la qualité de vie.

Tout d'abord la dépendance de nombreuses activités à certains capitaux dont l'avenir est incertain. Il s'agit notamment de la dépendance des activités d'élevage aux subventions européennes de la politique agricole commune (PAC) qui soutient encore l'agriculture en zone difficile et de montagne par des mesures spécifiques. Le manque de rentabilité de ces zones ou encore l'évolution des modes de consommation pourraient entraîner l'arrêt de ce soutien à l'élevage à plus ou moins long terme. Par ailleurs, l'économie touristique locale, à l'image de nombreux territoires alpins, est encore fortement basée sur les activités hivernales, créant une forte dépendance à la quantité et qualité de l'enneigement. Enneigement de plus en plus incertain (Hock et al., 2019), contre lequel certains territoires ont déjà opté pour la diversification des activités. Dans le contexte actuel on prend également la mesure de la fragilité des territoires entièrement dépendants des activités touristiques.

Un autre chemin de dépendance apparu plus fortement via les freins à l'adaptation future, est le mode de gouvernances qui n'offre qu'une place limitée à l'implication des habitants dans les processus de décision, et à la réflexion collective autour du développement du territoire. Enfin, la résistance au changement d'une partie de la population, ayant notamment une position de pouvoirs dans la communauté locale limite la capacité d'adaptation. Ce conservatisme peut jouer un double rôle, le premier de figer le système dans un contexte changeant mais également un rôle de garde-fou contre certains développements non souhaités.

Les subventions agricoles et les sports d'hiver constituent de puissants attraits économiques qui encouragent les communautés à maintenir leurs activités et à résister au changement (Bussey et al., 2012). Considérant le nombre important d'adaptations basées sur les écosystèmes qui concerne le tourisme, l'agriculture et l'action collective, il paraît pertinent d'explorer avec les acteurs comment dépasser ces chemins de dépendance et mécanismes de résistance. Cela permettrait d'identifier de nouveaux attracteurs afin de prévenir les changements au sein des capitaux clés dont le socio-écosystème semble dépendre, limitant l'adaptation future.

3. La transformation, pour qui ? par qui ?

La transformation des socio-écosystèmes semble requise afin de répondre aux enjeux du changement global (Horcea-Milcu et al., 2020; Kates et al., 2012; O'Brien and Sygna, 2013), cependant nous avons constaté une difficulté particulière à imaginer des changements transformatifs que ce soit au niveau des actions de co-production (utilisation de la technologie dans les pratiques agricoles) ou de celui des écosystèmes. Dans un contexte tel que celui du Pays de la Meije, où il n'existe pas de tensions particulières sur les écosystèmes et de menaces pour la survie, il paraît logique de ne pas souhaiter de transformation profonde du fonctionnement du socio-écosystème comme cela a pu être le cas ailleurs (Djoudi et al., 2013). Il apparaît donc intéressant de questionner cette notion de transformation, pour qui est-elle souhaitable ? par qui ?

Les transformations possibles ou probables du socio-écosystème, ont été identifiées par les participants comme des trajectoires non-souhaitées (Lavorel et al., 2019). Il s'agit notamment de changements importants au sein du paysage. Selon la trajectoire du système agricole, en lien avec la gestion des agroécosystèmes, un développement trop important des cultures ou à l'inverse l'abandon des terres agricoles entraîneraient un changement au sein des valeurs rurales locales, de l'identité associée à ce paysage culturel ou encore de la biodiversité (Schirpke et al., 2019). Un

développement touristique trop important ou un afflux de nouveaux arrivants issus d'un milieu urbain (par la généralisation du télétravail), accélérant l'urbanisation et modifiant progressivement la vie locale, les valeurs et les préférences, n'est également pas souhaité.

Deux scénarios qui pourraient être souhaités par ailleurs. En effet, la vision obtenue peu innovante et pas transformative ne peut refléter l'ensemble des points de vue des acteurs d'un territoire, aussi inclusif que nous ayons essayé d'être. Cette vision assez générale qui faisait l'objet d'un quasi-consensus a été agrégée, perdant de ce fait certains points de vue divergents. Nous n'avons donc pas pu explorer les possibles visions alternatives, qui auraient pu faire émerger des conflits entre acteurs autour de la co-production de NCP. De plus, en ne faisant pas de distinction entre les groupes d'acteurs, nous sommes sans doute passés à côté de l'analyse des « gagnants » et « perdants » dans l'adaptation envisagée. Il serait donc intéressant d'approfondir l'étude des compromis et conflits entre acteurs au sein de cette vision et trajectoire mais également avec des visions alternatives.

Enfin, on constate que la transformation s'effectue le plus souvent par une suite de changements incrémentaux (Colloff et al., in review). Cela a notamment été le cas sur ce territoire lors du développement progressif du tourisme, avec des perdants et des gagnants, bouleversant in fine l'ensemble du socio-écosystème. Si l'objectif est de mener des réflexions sur le potentiel transformatif d'un socio-écosystème pour répondre aux enjeux du changement global, que ce soit des écosystèmes ou des activités humaines, une approche différente serait nécessaire afin de stimuler l'imagination des acteurs et dépasser les craintes associées aux changements importants.

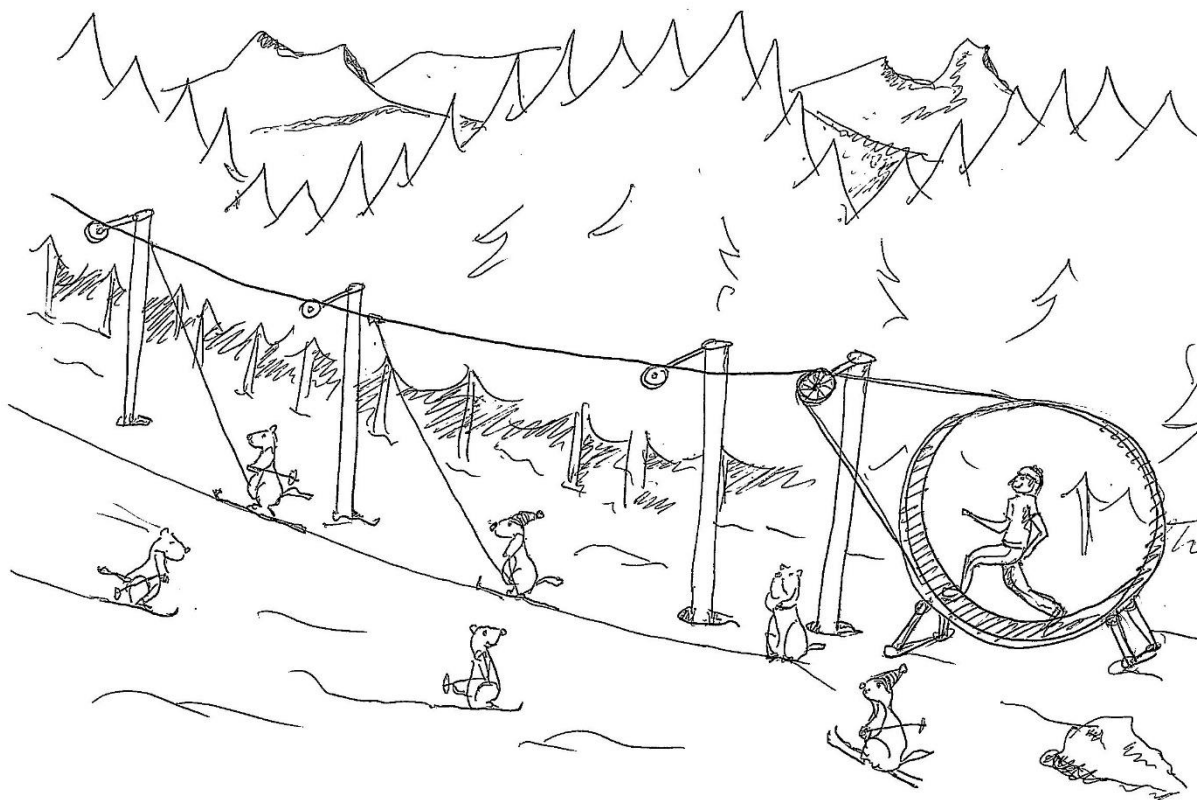
4. Une fenêtre d'opportunité actuellement ouverte ?

L'ensemble de ces considérations concernant l'adaptation du Pays de la Meije font particulièrement écho au débat actuel qui se présente sur le territoire concernant l'installation d'un troisième tronçon au téléphérique de la Grave, augmentant ainsi l'accessibilité aux glaciers, aux sommets et accessoirement rapprochant l'accès à un autre domaine skiable. Ce projet a généré de fortes oppositions entre différents acteurs du territoire. D'une part, ce projet est soutenu pour les répercussions et opportunités économiques et de développement du territoire qu'il pourrait entraîner. D'autre part, l'opposition dénonce, à la fois un risque de dénaturation du paysage et de l'identité locale et un modèle économique obsolète qui n'est plus en adéquation avec le contexte du changement climatique.

Il s'agit d'une fenêtre d'opportunité pour la communauté locale ou certains leviers et barrières identifiés lors du processus participatif sont à l'œuvre. Il s'agit d'une remise en question du contexte de décision actuel, où l'on observe un affrontement entre différents systèmes de gouvernance, valeur et connaissance. Une opposition de pouvoir, les acteurs porteurs du projet étant ceux qui détiennent de nombreux capitaux (pouvoir de décision, argent public et privé, propriétaire ou gestionnaire des terres et infrastructures), ne parvenant pas à laisser une place à la concertation dans le processus de décision, voire même de l'ignorer. En face, des habitants, citoyens, professionnels s'opposant au projet s'organisent sous la forme d'un collectif en marge du système de décision représenté par les mairies. Cependant, des conflits interpersonnels alourdissent le débat et empêchent l'ensemble de la communauté de s'exprimer, donnant ainsi moins de poids à celui-ci. Il s'agit également d'opposition de valeurs étroitement liées aux visions du territoire souhaitées pour le futur en lien avec la préservation du paysage mais aussi de

l'identité locale atypique. Enfin, une recherche de connaissance permettant de justifier la position de chacun. Les deux parties sont en attente de connaissances permettant de montrer ou d'infirmier l'impact d'un tel développement sur les écosystèmes et la nature mais également sur l'économie et la vie locale. Le Parc National des Ecrins joue un rôle particulier car il serait détenteur présumé de connaissances sur l'impact de tels aménagements, malgré un avis seulement consultatif et non-contraignant.

Un évènement qui cristallise l'ensemble des freins à l'adaptation identifiés ci-dessus : difficulté de mise en collectif, résistance au changement, répartition des pouvoirs et détention des capitaux par certains, manque de concertation et participation, répartition de l'argent public dans un projet plutôt qu'un autre. Il est intéressant de souligner que le collectif s'est référé au processus participatif mené dans le cadre de cette étude pour étoffer son argumentaire. Cet évènement serait l'occasion d'approfondir les réflexions engagées avec les acteurs qui le souhaitent sur le sujet particulier du développement touristique.



Dessin – « L'homme travaille avec la nature ou la nature travaille avec l'homme ? » – Etienne BRULEY – 2020

REFERENCES

- Abson, D.J., Fischer, J., Leventon, J., Newig, J., Schomerus, T., Vilsmaier, U., von Wehrden, H., Abernethy, P., Ives, C.D., Jager, N.W., Lang, D.J., 2017. Leverage points for sustainability transformation. *Ambio* 46, 30–39. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0800-y>
- Barkdull, J., Harris, P.G., 2019. Emerging responses to global climate change: Ecosystembased adaptation. *Global Change, Peace and Security* 31, 19–37. <https://doi.org/10.1080/14781158.2018.1475349>
- Barnaud, C., Corbera, E., Muradian, R., Salliou, N., Sirami, C., Vialatte, A., Choisis, J.-P., Dendoncker, N., Mathevet, R., Moreau, C., Reyes-García, V., Boada, M., Deconchat, M., Cibien, C., Garnier, S., Maneja, R., Antona, M., 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: a conceptual framework. *Ecology and Society* 23, 15. <https://doi.org/10.5751/ES-09848-230115>
- Bergeret, A., Lavorel, S., n.d. Stakeholder visions for trajectories of adaptation to climate change in the Drôme catchment (French Alps). *Regional Environmental Change*.
- Bieling, C., Plieninger, T., Pirker, H., Vogl, C.R., 2014. Linkages between landscapes and human well-being: An empirical exploration with short interviews. *Ecological Economics* 105, 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.013>
- Brunner, S.H., Huber, R., Grêt-Regamey, A., 2016. A backcasting approach for matching regional ecosystem services supply and demand. *Environmental Modelling and Software* 75, 439–458. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.018>
- Bussey, M., Carter, R.W. (Bill, Keys, N., Carter, J., Mangoyana, R., Matthews, J., Nash, D., Oliver, J., Richards, R., Roiko, A., Sano, M., Thomsen, D.C., Weber, E., Smith, T.F., 2012. Framing adaptive capacity through a history-futures lens: Lessons from the South East Queensland Climate Adaptation Research Initiative. *Futures* 44, 385–397. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.12.002>
- Chan, K.M.A., Boyd, D.R., Gould, R.K., Jetzkowitz, J., Liu, J., Muraca, B., Naidoo, R., Olmsted, P., Satterfield, T., Selomane, O., Singh, G.G., Sumaila, R., Ngo, H.T., Boedhihartono, A.K., Agard, J., Aguiar, A.P.D., Armenteras, D., Balint, L., Barrington-Leigh, C., Cheung, W.W.L., Díaz, S., Driscoll, J., Esler, K., Eyster, H., Greg, E.J., Hashimoto, S., Hernández Pedraza, G.C., Hickler, T., Kok, M., Lazarova, T., Mohamed, A.A.A., Murray-Hudson, M., O'Farrell, P., Palomo, I., Saysel, A.K., Seppelt, R., Settele, J., Strassburg, B., Xue, D., Brondízio, E.S., 2020. Levers and leverage points for pathways to sustainability. *People and Nature* 2, 693–717. <https://doi.org/10.1002/pan3.10124>
- Choy, L.T., 2014. The strengths and weaknesses of research methodology: Comparison and complimentary between qualitative and quantitative approaches. *IOSR Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS)* 19, 99–104. <https://doi.org/10.9790/0837-194399104>
- Colloff, M.J., Abel, N., Gorddard, R., Lavorel, S., Butler, J., Kerkhoff, L. v., Meharg, S., Munera, C., Bruley, E., Fedele, G., Wise, R.M., Dunlop, M., n.d. Adapting transformation and transforming adaptation to climate change using a pathways approach. *Environmental Science & Policy*.
- Colloff, M.J., Martín-López, B., Lavorel, S., Locatelli, B., Gorddard, R., Longaretti, P.Y., Walters, G., van Kerkhoff, L., Wyborn, C., Coreau, A., Wise, R.M., Dunlop, M., Degeorges, P., Grantham, H., Overton, I.C., Williams, R.D., Doherty, M.D., Capon, T., Sanderson, T., Murphy, H.T., 2017. An integrative research framework for enabling transformative adaptation. *Environmental Science and Policy* 68, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.007>
- Colloff, M.J., Wise, R.M., Palomo, I., Lavorel, S., Pascual, U., 2020. Nature's contribution to adaptation: insights from examples of the transformation of social-ecological systems. *Ecosystems and People* 16, 137–150. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1754919>
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., Grasso, M., 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services* 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cradock-Henry, N.A., Blackett, P., Hall, M., Johnstone, P., Teixeira, E., Wreford, A., 2020. Climate adaptation pathways for agriculture: Insights from a participatory process. *Environmental Science and Policy* 107, 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.020>

- Daniel, T.C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J.W., Chan, K.M.A., Costanza, R., Elmqvist, T., Flint, C.G., Gobster, P.H., Gret-Regamey, A., Lave, R., Muhar, S., Penker, M., Ribe, R.G., Schauppenlehner, T., Sikor, T., Soloviy, I., Spierenburg, M., Taczanowska, K., Tam, J., von der Dunk, A., 2012. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 8812–8819. <https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109>
- Djoudi, H., Brockhaus, M., Locatelli, B., 2013. Once there was a lake: Vulnerability to environmental changes in northern Mali. *Regional Environmental Change* 13, 493–508. <https://doi.org/10.1007/s10113-011-0262-5>
- Epstein, G., Vogt, J.M., Mincey, S.K., Cox, M., Fischer, B., 2013. Missing ecology: Integrating ecological perspectives with the social-ecological system framework. *International Journal of the Commons* 7, 432–453. <https://doi.org/10.18352/ijc.371>
- Fedele, G., Locatelli, B., Djoudi, H., 2017. Mechanisms mediating the contribution of ecosystem services to human well-being and resilience. *Ecosystem Services* 28, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.011>
- Felipe-Lucia, M.R., Martín-López, B., Lavorel, S., Berraquero-Díaz, L., Escalera-Reyes, J., Comín, F.A., 2015. Ecosystem services flows: Why stakeholders' power relationships matter. *PLoS ONE* 10, 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132232>
- Gorddard, R., Colloff, M.J., Wise, R.M., Ware, D., Dunlop, M., 2016. Values, rules and knowledge: Adaptation as change in the decision context. *Environmental Science and Policy* 57, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.12.004>
- Grosinger, J., Potts, M., Nicolas, B., Sandra, L., n.d. Memory over matter? – The historical legacies of ecosystem service : co-production through the lens of the capability approach. *Sustainability Science*.
- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., ter Maat, J., 2013. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change* 23, 485–498. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006>
- Hernández-Morcillo, M., Plieninger, T., Bieling, C., 2013. An empirical review of cultural ecosystem service indicators. *Ecological Indicators* 29, 434–444. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.013>
- Herrero-Jáuregui, C., Arnaiz-Schmitz, C., Reyes, M.F., Telesnicki, M., Agramonte, I., Easdale, M.H., Schmitz, M.F., Aguiar, M., Gómez-Sal, A., Montes, C., 2018. What do we talk about when we talk about social-ecological systems? A literature review. *Sustainability (Switzerland)* 10. <https://doi.org/10.3390/su10082950>
- Hinojosa, L., Napoléone, C., Moulery, M., Lambin, E.F., 2016. The “mountain effect” in the abandonment of grasslands: Insights from the French Southern Alps. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.032>
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Y., H., Jackson, M., Käab, A., Kang, S., Kutuzov, A., Milner, A.M., U., Morin, S., Orlove, B., Steltzer, H., 2019. High Mountain Areas. *IPCC SR Ocean and Cryosphere* 94.
- Horcea-Milcu, A.I., Martín-López, B., Lam, D.P.M., Lang, D.J., 2020. Research pathways to foster transformation: Linking sustainability science and social-ecological systems research. *Ecology and Society* 25. <https://doi.org/10.5751/ES-11332-250113>
- Huber, L., Schirpke, U., Marsoner, T., Tasser, E., Leitinger, G., 2020. Does socioeconomic diversification enhance multifunctionality of mountain landscapes? *Ecosystem Services* 44, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101122>
- Huber, R., Rigling, A., Bebi, P., Brand, F.S., Briner, S., Buttler, A., Elkin, C., Gillet, F., Grêt-Regamey, A., Hirschi, C., Lischke, H., Scholz, R.W., Seidl, R., Spiegelberger, T., Walz, A., Zimmermann, W., Bugmann, H., 2013. Sustainable land use in mountain regions under global change: Synthesis across scales and disciplines. *Ecology and Society* 18. <https://doi.org/10.5751/ES-05499-180336>
- Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Aguilera, P.A., Montes, C., Martín-López, B., 2014. Socio-cultural valuation of ecosystem services: Uncovering the links between values, drivers of change, and human

- well-being. *Ecological Economics* 108, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.09.028>
- Ives, C.D., Abson, D.J., von Wehrden, H., Dorninger, C., Klaniecki, K., Fischer, J., 2018. Reconnecting with nature for sustainability. *Sustainability Science* 13, 1389–1397. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0542-9>
- Jones, L., Norton, L., Austin, Z., Browne, A.L., Donovan, D., Emmett, B.A., Grabowski, Z., Howard, D.C., Jones, J.P.G., Kenter, J., Manley, W., Morris, C., Robinson, D.A., Short, C., Siriwardena, G.M., Stevens, C.J., Storkey, J., Waters, R.D., Willis, G.F., 2016. Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. *Land Use Policy* 52, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.014>
- Kariel, H., Kariel, P., 1982. *Socio-Cultural Impacts of Tourism: An Example from the Austrian Alps*. Swedish Society for Anthropology and Geography Wiley 64, 1–16.
- Kates, R.W., Travis, W.R., Wilbanks, T.J., 2012. Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109, 7156–7161. <https://doi.org/10.1073/pnas.1115521109>
- Kremen, C., 2005. Managing ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8, 468–479. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x>
- Lamarque, P., Meyfroidt, P., Nettier, B., Lavorel, S., 2014. How ecosystem services knowledge and values influence farmers' decision-making. *PLoS ONE* 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107572>
- Lang, D.J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M., Thomas, C.J., 2012. Transdisciplinary research in sustainability science: Practice, principles, and challenges. *Sustainability Science* 7, 25–43. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x>
- Lavorel, S., Colloff, M.J., Locatelli, B., Gorddard, R., Prober, S.M., Gabillet, M., Devaux, C., Laforgue, D., Peyrache-Gadeau, V., 2019. Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science and Policy* 92, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lavorel, S., Locatelli, B., Colloff, M.J., Bruley, E., 2020. Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 375. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0119>
- Martin, A., Sherington, J., 1997. Participatory research methods - Implementation, effectiveness and institutional context. *Agricultural Systems* 55, 195–216. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00007-3)
- Mastrangelo, M.E., Weyland, F., Villarino, S.H., Barral, M.P., Nahuelhual, L., Latorra, P., 2014. Concepts and methods for landscape multifunctionality and a unifying framework based on ecosystem services. *Landscape Ecology* 29, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9959-9>
- Mcdowell, J.Z., Hess, J.J., 2012. Accessing adaptation : Multiple stressors on livelihoods in the Bolivian highlands under a changing climate. *Global Environmental Change* 22, 342–352. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.11.002>
- MEA, 2005. *Millennium Ecosystem Assessment - Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Meadows, D., 1999. *Leverage Points: Places to Intervene in a System*. Sustainability Institute 1–18.
- Muscella, C., 2004. *Les enjeux de la construction d'un territoire de Haute Montagne : Etude du canton de la Grave (Hautes Alpes)*. Faculté d'Anthropologie et de Sociologie, Université Lumières Lyon II.
- Norström, A. V., Cvitanovic, C., Löf, M.F., West, S., Wyborn, C., Balvanera, P., Bednarek, A.T., Bennett, E.M., Biggs, R., de Bremond, A., Campbell, B.M., Canadell, J.G., Carpenter, S.R., Folke, C., Fulton, E.A., Gaffney, O., Gelcich, S., Jouffray, J.B., Leach, M., Le Tissier, M., Martín-López, B., Louder, E., Loutre, M.F., Meadow, A.M., Nagendra, H., Payne, D., Peterson, G.D., Reyers, B., Scholes, R., Speranza, C.I., Spierenburg, M., Stafford-Smith, M., Tengö, M., van der Hel, S., van Putten, I., Österblom, H., 2020. Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature Sustainability* 3, 182–190. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2>
- O'Brien, K., Sygna, L., 2013. *Responding to Climate Change: The Three Spheres of Transformation*.

- Ostrom, E., 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325, 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Outeiro, L., Ojea, E., Rodrigues, J.G., Himes-cornell, A., Belgrano, A., Liu, Y., Cabecinha, E., Pita, C., Macho, G., Outeiro, L., Ojea, E., Rodrigues, J.G., Himes-cornell, A., Belgrano, A., Liu, Y., Cabecinha, E., Pita, C., Macho, G., Villasante, S., 2017. The role of non-natural capital in the co- production of marine ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 13, 35–50. <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1415973>
- Palomo, I., Felipe-Lucia, M.R., Bennett, E.M., Martín-López, B., Pascual, U., 2016. Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service Co-Production. *Advances in Ecological Research* 54, 245–283. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R.T., Başak Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S.M., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S., Al-Hafedh, Y.S., Amankwah, E., Asah, S.T., Berry, P., Bilgin, A., Breslow, S.J., Bullock, C., Cáceres, D., Daly-Hassen, H., Figueroa, E., Golden, C.D., Gómez-Baggethun, E., González-Jiménez, D., Houdet, J., Keune, H., Kumar, R., Ma, K., May, P.H., Mead, A., O'Farrell, P., Pandit, R., Pengue, W., Pichis-Madruga, R., Popa, F., Preston, S., Pacheco-Balanza, D., Saarikoski, H., Strassburg, B.B., van den Belt, M., Verma, M., Wickson, F., Yagi, N., 2017. Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26–27, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Prokopová, M., Cudlín, O., Včeláková, R., Lengyel, S., Salvati, L., Cudlín, P., 2018. Latent drivers of landscape transformation in eastern Europe: Past, present and future. *Sustainability (Switzerland)* 10, 1–17. <https://doi.org/10.3390/su10082918>
- Quétier, F., Rivoal, F., Marty, P., de Chazal, J., Thuiller, W., Lavorel, S., 2010. Social representations of an alpine grassland landscape and socio-political discourses on rural development. *Regional Environmental Change* 10, 119–130. <https://doi.org/10.1007/s10113-009-0099-3>
- Räsänen, A., Sirkku, J., Nygren, A., Käkönen, M., Kallio, M., Monge, A.M., Kanninen, M., 2016. Climate change , multiple stressors and human vulnerability : a systematic review. *Regional Environmental Change* 16, 2291–2302. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0974-7>
- Raymond, C.M., Giusti, M., Barthel, S., Raymond, C.M., Giusti, M., Barthel, S., Raymond, C.M., 2017. An embodied perspective on the co-production of cultural ecosystem services : toward embodied ecosystems. *Journal of Environmental Planning and Management* 51, 778–799. <https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1312300>
- Reyers, B., Biggs, R., Cumming, G.S., Elmqvist, T., Hejnowicz, A.P., Polasky, S., 2013. Getting the measure of ecosystem services: A social-ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11, 268–273. <https://doi.org/10.1890/120144>
- Salliou, N., Bruley, E., Luthe, T., Blanco, V., Lavorel, S., Grêt-Regamey, A., n.d. Game of Cruxes: Co-designing a generic game for scientists and stakeholders for identifying joint problems in transdisciplinary research. *Sustainability Science Journal*.
- Sarkki, S., 2017. Governance services : Co-producing human well-being with ecosystem services 27, 2016–2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.08.003>
- Schirpke, U., Altzinger, A., Leitinger, G., Tasser, E., 2019. Change from agricultural to touristic use: Effects on the aesthetic value of landscapes over the last 150 years. *Landscape and Urban Planning* 187, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.03.004>
- Schirpke, U., Scolozzi, R., Dean, G., Haller, A., Jäger, H., Kister, J., Kovács, B., Sarmiento, F.O., Sattler, B., Schleyer, C., 2020. Cultural ecosystem services in mountain regions: Conceptualising conflicts among users and limitations of use. *Ecosystem Services* 46. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101210>
- Schröter, M., Stumpf, K.H., Loos, J., van Oudenhoven, A.P.E., Böhnke-Henrichs, A., Abson, D.J., 2017. Refocusing ecosystem services towards sustainability. *Ecosystem Services* 25, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.019>

- Tengö, M., Brondizio, E.S., Elmqvist, T., Malmer, P., Spierenburg, M., 2014. Connecting diverse knowledge systems for enhanced ecosystem governance: The multiple evidence base approach. *Ambio* 43, 579–591. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0501-3>
- Vernooy, R., McDougall, C., 2013. Principles for good practice in participatory research: Reflecting on lessons from the field, *Managing Natural Resources for Sustainable Livelihoods: Uniting Science and Participation*. <https://doi.org/10.4324/9781849771894>
- Woroniecki, S., Wamsler, C., Boyd, E., 2019. The promises and pitfalls of ecosystem-based adaptation to climate change as a vehicle for social empowerment. *Ecology and Society* 24. <https://doi.org/10.5751/ES-10854-240204>
- Wyborn, C., Datta, A., Montana, J., Ryan, M., Leith, P., Chaffin, B., Miller, C., Van Kerkhoff, L., 2019. Co-Producing Sustainability: Reordering the Governance of Science, Policy, and Practice. *Annual Review of Environment and Resources* 44, 319–346. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033103>
- Zoderer, B.M., Tasser, E., Carver, S., Tappeiner, U., 2019. Stakeholder perspectives on ecosystem service supply and ecosystem service demand bundles. *Ecosystem Services* 37, 100938. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100938>
- Zölch, T., Wamsler, C., Pauleit, S., 2018. Integrating the ecosystem-based approach into municipal climate adaptation strategies: The case of Germany. *Journal of Cleaner Production* 170, 966–977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.146>

ANNEXES THÈSE

Les annexes correspondant aux articles dont je suis co-auteure ne sont pas jointes à ce manuscrit dans un souci de respect des droits de publications. Certains d'entre eux sont déjà accessibles, d'autres sont en cours de révision.

Annexe T.1: Lavorel, S., Locatelli, B., Colloff, M. J., & Bruley, E. (2020). Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Phil. Trans. R. Soc.*
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0119>

Annexe T.2: Pramova, E., Lavorel, S., Locatelli, B., Colloff, M. J., & Bruley, E. (2020). Adaptation in the Anthropocene: How we can support ecosystems to enable our response to change. *CIFOR Infobrief* 283. <https://doi.org/10.17528/cifor/007588>

Annexe T.3: Salliou, N., Bruley, E., Luthe, T., Blanco, V., Lavorel, S., & Grêt-Regamey, A. (n.d.). Game of Cruxes: co-designing a game for scientists and stakeholders for identifying joint problems. *Sustainability Science Journal*. (submitted- in revision).

Annexe T.4: Blanco, V., Luthe, T., Bruley, E., & Grêt-Regamey, A. (n.d.). Aligning collaboration networks and co-designed visions to enable systemic innovation for transforming mountain regions. *Sustainability Science* (submitted- in review)

Annexe T.5: Colloff, M.J., Abel, N., Gorddard, R., Lavorel, S., Butler, J., Kerkhoff, L.v., Meharg, S., Munera, C., Bruley, E., Fedele, G., Wise, R.M., Dunlop, M., (n.d.). Adapting transformation and transforming adaptation to climate change using a pathways approach. *Environmental Science & Policy*. (submitted- in review).

Annexe T.6: Ignacio Palomo, Bruno Locatelli, Matthew Colloff, Emilie Crouzat, Erik Gómez-Baggethun, Adrienne Grêt-Regamey, Amanda Jimenez-Aceituno, Berta Martín-López, Iago Otero, Unai Pascual, Noelia Zafra-Calvo, Enora Bruley, Aida Cuni-Sánchez, Alberto González-García, Marie Fischborn, Rosmarie Metz & Sandra Lavorel (2021) Assessing nature-based-solutions for transformative change. *One Earth* (accepted).

RÉSUMÉS

People working with nature to co-produce adaptation to global changes in the French Alps

To achieve sustainable development objectives in a context of climate change, it is now urgent for societies to adapt in order to maintain their quality of life. Good quality of life depends critically on the good state of ecosystems and the benefits that societies derive from them. To address this challenge, societies can reflect on how adaptation pathways can lead them towards a desirable future and ensure the sustainable use of natural resources. In recent decades, environmental research has explored the contributions of ecosystems for human well-being and, more recently, their role for the adaptation of societies to global changes. Many studies have focused on the effectiveness and implementation of these "ecosystem-based adaptations". However, while these solutions are increasingly being considered to meet adaptation challenges, their role within the adaptation pathways of social-ecological systems (SES) remains understudied.

This research aims to increase our understanding of how ecosystems can be harnessed in SES adaptation pathways to climate and socio-economic changes. For this, I studied how ecosystems have been mobilized in the past trajectory and the current state of a mountain social-ecological system, the Pays de la Meije located in the French Alps. I also studied how ecosystems could be mobilized in future adaptation pathways. I proposed a conceptual framework based on the IPBES and the associated concept of Nature's Contributions to People (NCP). In my framework, NCP are considered to be co-produced by human and nature inputs. This approach enables considering the human-derived and natural capitals involved at the three steps of the production of material or immaterial benefits (Ecosystem management; Physical mobilization and access to nature; and Appropriation and appreciation of benefits). This approach allowed me to analyse adaptation mechanisms based on ecosystems.

I implemented a participatory consultative process based on the knowledge, perceptions and visions of a wide range of local and regional actors following 4 steps: (1) Understanding the current functioning of the SES through human-nature interactions that contribute to quality of life; (2) Retracing the past trajectory of the SES since 1900 and characterizing ecosystem-based adaptation mechanisms ; (3) Co-producing a vision of the future for 2040 and identifying ecosystem-based adaptation objectives; and (4) Co-producing adaptation pathways to achieve the vision and identifying the barriers and levers to their implementation. This process offered to local actors' space and time for discussion, which is currently lacking.

I found that the simultaneous co-production of multiple NCP contributes to key quality of life dimensions related to tourism, agriculture and local life. Adaptations from the past, or from future vision objectives involve changes in the co-production of NCP. These adaptations have resulted in reconfigurations of anthropogenic capital in response to drivers that are often external to the SES. I observed a gradient of adaptive responses according to the intensity of capital reconfiguration, leading to resistance, adjustment or transformation in the whole SES or part of it. I observed synergies between NCP co-production actions forming windows of opportunity for the future adaptation of local communities to keep the SES on the desired pathway. These windows include collective management of ecosystems, the creation of new opportunities for agriculture, and the diversification of practices to enjoy non-material benefits of nature. Actions whose implementation encounters many human and social barriers. Thus, major transformations of the social system are required to activate the necessary levers, such as the democratization of collective action and decision-making, social innovation or knowledge and means for adaptive practices. This approach could enable a better consideration of the role of ecosystems in SES adaptation strategies.

Key-words: Co-production, Adaptation pathways, Nature's Contributions to People, Ecosystem-based adaptation, Social-ecological system.

Les populations travaillent avec la nature pour co-produire l'adaptation aux changements globaux dans les Alpes françaises.

Pour répondre aux objectifs de développement durable dans le contexte du changement climatique, il est désormais urgent pour les sociétés de s'adapter afin de maintenir leur bonne qualité de vie. Celle-ci dépend en grande partie du bon état des écosystèmes et des bénéfices que les sociétés en retirent. Pour relever ce défi, les sociétés doivent rechercher des trajectoires d'adaptation vers un avenir souhaitable, garantissant un usage durable des ressources naturelles. Au cours des dernières décennies, la recherche environnementale a exploré les contributions des écosystèmes au bien-être humain et, plus récemment, leur rôle dans l'adaptation des sociétés aux changements globaux. De nombreuses études se sont focalisées sur l'efficacité et la mise en œuvre de ces « adaptations basées sur les écosystèmes ». Si ces solutions sont de plus en plus considérées pour répondre aux besoins d'adaptation, leur rôle au sein des trajectoires d'adaptation des socio-écosystèmes (SES) reste peu étudié.

Mes travaux visent à mieux comprendre comment les écosystèmes peuvent être mobilisés dans les trajectoires d'adaptation aux changements climatiques et socio-économiques des SES. J'ai étudié comment les écosystèmes ont été mobilisés dans la trajectoire passée et l'état actuel d'un SES de montagne : le Pays de la Meije situé dans les Alpes françaises. J'ai également étudié comment ils pourraient être mobilisés dans les futures trajectoires d'adaptation. J'ai développé un cadre conceptuel basé sur celui de l'IPBES et sur le concept associé de « contributions de la nature aux populations » (NCP), considérant que les NCP sont co-produites par l'homme et la nature. Cette approche permet de prendre en compte l'ensemble des capitaux anthropiques et naturels impliqués à chaque étape de la production de bénéfices matériels ou immatériels (Gestion des écosystèmes ; Mobilisation physique et accès à la nature ; et Appropriation et appréciation des bénéfices). J'ai mis en place un processus participatif consultatif basé sur les connaissances, les perceptions et les visions d'une grande diversité d'acteurs locaux et régionaux suivant 4 étapes : (1) Comprendre le fonctionnement actuel du SES au travers des interactions homme/nature participant à la qualité de vie ; (2) Retracer sa trajectoire passée depuis 1900 et caractériser les mécanismes d'adaptation basés sur les écosystèmes ; (3) Co-produire une vision d'avenir pour 2040 et identifier les objectifs d'adaptation basés sur les écosystèmes ; et (4) Co-produire des trajectoires d'adaptation pour atteindre cette vision et identifier les freins et leviers à sa mise en œuvre.

J'ai montré que la co-production simultanée de multiples NCP contribue aux principales dimensions de qualité de vie en lien avec le tourisme, l'agriculture et la vie locale. Les adaptations passées ou issues des objectifs de la vision future, reposent sur des changements de co-production des NCP. Elles se traduisent par des reconfigurations des capitaux en réponse à des facteurs souvent externes au SES. J'ai observé un gradient de réponses adaptatives selon l'intensité de la reconfiguration des capitaux menant à la résistance, l'ajustement ou la transformation du SES. J'ai mis en évidence des synergies entre les co-productions formant des fenêtres d'action pour l'adaptation future des communautés locales afin de maintenir le SES dans la trajectoire désirée. Ces fenêtres concernent notamment la gestion collective des écosystèmes ou la création d'opportunités pour l'agriculture. Actions dont la mise en place rencontre de nombreuses barrières humaines et sociales. Ainsi, d'importantes transformations du système social sont requises pour activer les leviers nécessaires, tels que la démocratisation de l'action collective, l'innovation sociale ou encore les connaissances et moyens pour des pratiques adaptatives. Cette approche pourrait permettre une meilleure prise en compte du rôle des écosystèmes dans les stratégies d'adaptation des territoires.

Mots clés : Co-production, Trajectoire d'adaptation, Contributions de la Nature à la qualité de vie, Adaptation basée sur les écosystèmes, Socio-écosystème.