

MESURES D'ADAPTATION À LA FONTE DES GLACIERS DANS LES ANDES ET DANS L'HINDOU KOUCH-
HIMALAYA

par
Benjamin Labbé

Essai présenté au Département de biologie
en vue de l'obtention du grade de maître en sciences
(maîtrise de professionnalisation en écologie appliquée)

Sous la direction de Monsieur Mark Vellend

FACULTÉ DES SCIENCES
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, mars 2022

Sommaire

Mots clés : glaciers, adaptation, Andes, Himalaya, Hindou Kouch, changements climatiques, cryosphère

On assiste depuis plusieurs années à un recul des glaciers dans les hautes montagnes du monde accéléré par les changements climatiques. Dans certains de ces lieux reculés, des peuples habitent à proximité des glaciers et leur mode de vie se retrouve affecté par la situation. La cordillère des Andes en Amérique du Sud et les chaînes de montagnes Himalaya et Hindou Kouch en Asie du Sud-Est et Asie centrale abritent chacune une grande diversité de cultures et d'écosystèmes qui dépendent de la cryosphère. Au fil du temps, ces communautés ont développé une panoplie d'initiatives pour s'adapter aux conditions changeantes de leur environnement. Cependant, devant l'importance des changements observés récemment, un besoin se manifeste de trouver de nouvelles idées et d'améliorer les stratégies d'adaptation. Dans ce sens, les régions des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya gagneraient à s'inspirer l'une l'autre à partir de leurs expériences respectives.

Cet essai a pour objectif de contribuer au partage des leçons apprises dans chaque région en mettant en lumière des mesures d'adaptation qui présentent des caractéristiques avantageuses. D'abord, les chaînes de montagnes à l'étude sont décrites à partir du concept de socioécosystème qui souligne les interactions entre des composantes physiques, environnementales et humaines. Ensuite, la réponse de ces systèmes au recul des glaciers est détaillée dans le but d'entamer la réflexion sur les possibilités qu'ont les communautés locales de réduire les dommages subis et de saisir de nouvelles opportunités. Enfin, une évaluation superficielle d'un ensemble d'initiatives d'adaptation mises en place dans les deux régions est réalisée. À la suite de cet exercice, un tableau rassemble des mesures prometteuses desquelles les intervenants des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya pourront s'inspirer dans la conception de projets et de stratégies d'adaptation.

Un des motifs qui ressort de l'évaluation des mesures est le grand potentiel qu'offre l'approche de l'adaptation fondée sur les écosystèmes pour augmenter la résilience des communautés des montagnes. Ce cadre se base sur des principes qui assurent que les mesures soient conçues pour et par la population ciblée. L'essai fait aussi valoir l'utilité de réaliser des études de vulnérabilité pour bien cerner le besoin des communautés en amont d'un projet. De même, on remarque que dans les deux régions, des systèmes traditionnels de gestion des ressources naturelles déjà en place présentent plusieurs éléments qui les rapprochent du développement durable. L'essai conclut qu'une réactualisation de ces modes d'organisation à travers des interventions participatives pourrait être une avenue profitable pour les

habitants des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya. En solidifiant ces structures, la distribution équitable des retombées est favorisée et des initiatives innovantes peuvent émerger.

Remerciements

Merci à mes camarades d'ici et d'ailleurs pour votre joie de vivre contagieuse, votre amour et le partage enrichissant de votre expérience de vie. Vous m'avez accompagné à travers une période de multiples apprentissages et avez contribué à mon cheminement en tant que jeune citoyen engagé. C'est un honneur pour moi d'avoir côtoyé les membres de cette cohorte qui deviendront, j'en suis sûr, les grosses têtes de l'écologie du futur.

Ensuite, je voudrais remercier mon papa de m'avoir donné les moyens d'exprimer ma liberté et ma maman de m'avoir mis de bonnes valeurs dans le cœur.

Un autre merci va à Caroline Cloutier, coordonnatrice du programme de maîtrise pour son accompagnement tout au long de notre parcours et aussi pour nous avoir orientés et rassurés durant la période remplie d'incertitudes qu'a apporté la terrible pandémie de 2020. Caroline est un pilier du programme et on sent qu'on peut toujours compter sur sa présence et ses conseils.

Merci à Mark Vellend d'avoir dirigé cet essai et de m'avoir guidé et encouragé tout en me laissant assez d'espace pour prendre de l'assurance et de l'autonomie. Il a su me fournir l'encadrement constructif dont j'avais besoin pour me dépasser et produire un travail dont je suis fier.

Je dédie une mention spéciale à Salvator, Moulan, Grosses-Bajoues, Carole, Alphonsine Michaud, Ultra Steeve les gens du dessus et P'tit Rorqual pour avoir alimenté d'histoires mon monde imaginaire.

Merci à Nicolas de m'avoir prêté une souris quand j'en avais le plus besoin.

Pour finir, j'envoie un gros merci à ma madame chauve-sourire qui rayonne tous les jours et qui m'a inspiré durant le processus d'écriture de l'essai et plus loin encore. Je m'estime immensément chanceux d'avoir eu à mes côtés une si brillante équipière avec qui une journée de rédaction était toujours une belle journée.

Table des matières

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 - IMPORTANCE DES GLACIERS DANS LES SOCIOÉCOSYSTÈMES DE LA CORDILLÈRE DES ANDES ET DE L'HINDOU KOUCH-HIMALAYA	4
1.1 Cryosphère	4
1.1.1 Les régions à l'étude et leurs glaciers.....	4
1.1.2 Principes de formation des glaciers.....	7
1.2 Hydrologie	9
1.3 Biodiversité.....	13
1.4 Agriculture et besoins domestiques.....	15
1.5 Énergie et industrie	16
1.6 Culture et spiritualité.....	18
CHAPITRE 2 – LE REcul DES GLACIERS.....	21
2.1 Causes du recul des glaciers.....	21
2.1.1 Réchauffement climatique d'origine anthropique	21
2.1.2 Émission d'aérosols	24
2.2 État de la situation.....	26
2.2.1 Perte de masse observée.....	26
2.2.2 Perte de masse prévue	28
2.2.3 Changements dans le cycle hydrologique	29
2.3 Facteurs de stress pour les communautés.....	30
2.3.1 Sécurité alimentaire et besoins en eau	30
2.3.2 Écosystèmes	31
2.3.3 Risque de vidange brutale des lacs glaciaires.....	32
2.3.4 Économie	33
2.3.5 Société et culture.....	34
2.4 Facteurs de vulnérabilité	36
2.4.1 Ressources individuelles.....	36
2.4.2 Ressources collectives	38
2.4.3 Gouvernance.....	38
CHAPITRE 3 - ÉVALUATION DE L'UTILITÉ DE MESURES D'ADAPTATION	40
3.1 Méthode.....	41

3.1.1	Extraction de mesures d'adaptation	41
3.1.2	Évaluation des mesures	42
3.2.	Limites de la méthode	52
3.2.1	Subjectivité dans l'évaluation de sources hétérogènes	52
3.2.2	Évaluation superficielle.....	52
3.2.3	Ensemble de mesures considérées.....	53
CHAPITRE 4 – MESURES D'ADAPTATION AVANTAGEUSES		54
4.1	Résultats	54
4.2	Discussion	59
4.2.1	L'approche fondée sur les écosystèmes.....	59
4.2.2	Les institutions traditionnelles de gestion durable des ressources naturelles	62
4.2.3	Les initiatives créatives.....	64
4.2.4	Les études de vulnérabilité et la recherche scientifique	68
4.2.5	Les mesures transformatrices	70
4.2.6	Les solutions technologiques.....	74
4.2.7	Faiblesses des stratégies d'adaptation.....	75
CONCLUSION		80
LISTE DES RÉFÉRENCES.....		82

Liste des figures et tableaux

Figure 1.1 Distribution des glaciers dans les bassins versants des dix rivières principales de l’HKH.....	5
Figure 1.2 Distribution des glaciers dans les Andes.....	6
Figure 1.3 Les dix rivières principales des chaînes Hindou Kouch et Himalaya.....	10
Figure 1.4 Contribution de l’eau de fonte des glaciers au débit des rivières dans les Andes tropicales.....	12
Figure 2.1 Profils d'évolution des émissions de GES entre 2000 et 2100, pour tous les scénarios étudiés (RE5)	22
Figure 2.2 Taux de modification des glaciers des Andes tropicales	27
Figure 2.3 Évolution projetée de la masse des glaciers entre 2015 et 2100 relativement à leur masse en 2015 (100%).....	29
Figure 3.1 Capture d’écran illustrant la table Excel conçue pour l’évaluation superficielle des mesures.....	44
Figure 4.1 Cérémonie religieuse autour d’une <i>stūpa</i> de glace à Ladakh en Inde.....	65
Figure 4.2 Cultivars de patates indigènes du Pérou.....	67
Figure 4.3 Nombre de mesures qui satisfont à chaque critère évalué.....	76
Tableau 1.1 Contribution de l’eau de fonte aux bassins versants des dix rivières principales de l’HKH et taille de leur surface glaciaire.....	11
Tableau 2.1 Projections du changement de température moyenne à la surface par rapport à la période préindustrielle (1850-1900) pour les quatre scénarios du RE5.....	22
Tableau 2.2 Taux de modification de la masse et de la surface des glaciers de l’HKH entre 1970 et 2010 avec le nombre d’études considérées entre parenthèses.....	26
Tableau 3.1 Résumé du tri des mesures.....	42
Tableau 3.2 Critères utilisés dans l’évaluation et leur équivalent dans l’index IUPA de Debels <i>et al.</i> (2009).	45
Tableau 3.3 Critères pour l’accomplissement des objectifs et les catégories d’effets dont ils proviennent.	51
Tableau 4.1 Classement des mesures d’adaptation mises en place dans les Andes	55
Tableau 4.2 Classement des mesures d’adaptation mises en place dans l’Hindou Kouch-Himalaya	58

Liste des acronymes

AKRSP	Le programme de soutien rural Aga Khan
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
COP21	21 ^e conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
ELA	<i>Equilibrium line altitude</i>
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HKH	Hindou Kouch-Himalaya
ICIMOD	Centre international de mise en valeur intégrée des montagnes
IUPA	Index d'Utilité des Pratiques d'Adaptation
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations unies
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PROVIA	Programme global de recherche sur la vulnérabilité, les impacts et l'adaptation
RE5	5 ^e rapport d'évaluation du GIEC
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
VBLG	Vidange brutale de lac glaciaire
α	Albédo

Lexique

<i>Equilibrium line altitude</i>	La ligne d'altitude dans un glacier où le bilan annuel de la masse est nul et qui sépare la zone d'accumulation et la zone d'ablation
<i>Bofedales</i> ou <i>jok'os</i>	Type de milieu humide de haute altitude retrouvé dans les Andes.
Cryosphère	Les parties de la planète qui sont formées de glace ou de neige
<i>Stūpa</i>	Monument bouddhique
Albédo	Pouvoir de réflexion d'une surface
Moraine	Amas de débris rocheux formé par le déplacement des glaciers

INTRODUCTION

L'eau est indispensable au développement humain et à la santé des écosystèmes, mais sur le globe, environ 69% de l'eau douce est emmagasinée sous forme de neige et de glace (Shiklomanov, 2000). Elle est contenue principalement dans les glaciers géants de l'Antarctique et de l'Arctique, mais aussi dans ceux que l'on retrouve en haute montagne. Dans le contexte des changements climatiques, cette réserve d'eau est amenée à subir des modifications et les organismes qui en dépendent devront s'adapter à de nouvelles conditions hydrologiques. Dans cet ordre d'idée, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié en 2019 un rapport spécial au sujet des changements observés et prévus dans les océans et dans la cryosphère. Le rapport fait état du caractère critique de la situation mondiale qui pourrait apporter de sévères conséquences pour les humains et du besoin d'actions coordonnées et ambitieuses (GIEC, 2019). Un des points focaux du document est le phénomène du recul des glaciers observé dans les hautes montagnes à travers le monde. Une situation préoccupante puisque dans plusieurs de ces régions, les glaciers occupent une place importante au sein d'un socioécosystème qui a évolué en coexistence avec la cryosphère. Entre autres, les communautés humaines ont dans plusieurs régions développé un lien culturel fort avec les glaciers et l'eau de fonte qui s'en libère est cruciale pour l'agriculture, les usages directs, l'industrie et la production d'énergie (Alfthan *et al.*, 2018; Schoolmeester *et al.*, 2016). Toutefois, cette proximité rend aussi les populations plus sensibles et exposées à subir des dommages lorsque, tel qu'il se produit de nos jours, les masses glaciaires connaissent des modifications rapides. De plus, les habitants des montagnes, qui sont les plus directement touchés par ces changements, sont souvent isolés et marginalisés ce qui peut limiter leur capacité à s'adapter au changement (McDowell & Hess, 2012; Macchi, 2011). Dans la cordillère des Andes par exemple, plusieurs communautés autochtones vivent au pied des glaciers et l'eau de fonte est souvent indispensable pour l'irrigation des cultures qui assurent la survie (Alfthan *et al.*, 2018). De la même manière, dans la chaîne de montagnes Himalaya et sa voisine Hindou Kouch, les grandes rivières de la région sont alimentées par l'eau glaciaire et les milieux naturels et humains en sont dépendants (Schoolmeester *et al.*, 2016).

En d'autres mots, les communautés des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya (HKH) sont particulièrement vulnérables au recul des glaciers qui est observé dans leur chaîne de montagnes respective. D'un autre côté, ces montagnes abritent des peuples résilients, qui ont su faire face à l'adversité depuis longtemps et appliquer de nombreuses mesures pour s'adapter à de nouvelles conditions. De plus, des organisations locales, nationales et internationales s'affairent depuis plusieurs années à développer des solutions innovantes et à outiller les populations locales dans leur processus d'adaptation. Malgré cela, on constate

qu'il reste encore bien des efforts à faire pour assurer la pérennité des communautés des hautes montagnes. Entre autres, McDowell *et al.* (2019) remarquent qu'il persiste un manque de transfert de connaissances entre les régions. Dans le but de contribuer à combler cette faiblesse, le présent essai propose d'explorer, à travers une revue de la littérature scientifique et de la documentation d'organisations concernées par le sujet, les mesures d'adaptations appliquées dans les Andes et dans l'HKH et d'en dégager des leçons qui puissent guider les futures stratégies des deux régions. Pour ce faire, l'essai vise l'atteinte de trois objectifs, les deux premiers étant couverts par les chapitres un et deux respectivement et le dernier étant le sujet des chapitres trois et quatre.

Le premier chapitre a pour objectif de décrire la place qu'occupent les glaciers de la cordillère des Andes et des chaînes Hindou Kouch et Himalaya dans les socioécosystèmes locaux. Le portrait de chaque région permet d'en établir les similarités autant que les particularités ce qui aide à saisir dans quelle mesure un partage des connaissances est possible entre les deux chaînes de montagnes. La description des deux milieux est aussi l'occasion d'approfondir l'interconnexion entre les diverses composantes de chaque socioécosystème et la manière dont la cryosphère s'insère dans cette dynamique. Il s'agit d'éléments clés de l'approche choisie pour aborder les chapitres subséquents.

Ensuite, le chapitre deux a comme objectif de synthétiser les causes du recul des glaciers observé dans les Andes et l'HKH et les changements que cet événement provoque dans les socioécosystèmes. Les composantes du chapitre un y sont reprises sous l'angle des modifications qu'elles connaissent depuis quelques années. Aussi, une description des facteurs non climatiques qui ajoutent à la vulnérabilité des peuples des montagnes est réalisée afin de souligner l'influence des conditions socioéconomiques sur la réponse adaptative.

Après cette synthèse de la situation observée dans la cryosphère des Andes et de l'HKH, les troisième et quatrième chapitres abordent directement la question de l'adaptation et du partage des expériences entre les régions. L'objectif de ces chapitres est de mettre en lumière les mesures d'adaptation déjà appliquées dans les deux chaînes de montagnes qui sont les mieux documentées et les plus susceptibles d'être bénéfiques. L'étude de ces initiatives aux retombées avantageuses permet de tirer des leçons qui peuvent inspirer de meilleures stratégies d'adaptation futures dans chacune des deux régions. Le chapitre trois détaille la méthodologie élaborée pour faire ressortir les mesures intéressantes. Elle consiste en une évaluation d'un ensemble d'actions d'adaptation à partir d'une grille multicritère modifiée de l'Index d'utilité des pratiques d'adaptation (IUPA) développé par Debels *et al.* (2009). Les critères et le système de pointage sont expliqués dans le chapitre trois ainsi que la manière dont la liste de mesures à évaluer

est constituée à partir des travaux de McDowell *et al.* (2019). Le chapitre 4 discute des résultats obtenus à la suite de l'évaluation des mesures, c'est-à-dire qu'il approfondit le cas des initiatives qui présentent des caractéristiques intéressantes à reproduire. Ces mesures mises en lumière sont rassemblées en groupes généraux qui permettent de tirer des leçons à partager entre les régions. Ainsi, la discussion oriente le lecteur vers des solutions prometteuses aux enjeux de l'adaptation à la fonte des glaciers en haute montagne.

CHAPITRE 1

Importance des glaciers dans les socioécosystèmes de la cordillère des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya

Le présent travail étudie les situations de deux régions du monde éloignées physiquement, mais qui montrent plusieurs similarités : les chaînes de montagnes de l'Hindou Kouch-Himalaya (HKH) en Asie du Sud-Est et Asie centrale et la cordillère des Andes en Amérique du Sud. Le premier chapitre a pour objectif de donner un aperçu de l'importance des glaciers au sein des socioécosystèmes de chaque région. Janssen & Ostrom (2006) définissent les socioécosystèmes comme étant des : «complex adaptive systems where social and biophysical agents are interacting at multiple temporal and spatial scales»¹ (Janssen & Ostrom, 2006, p. 1466). Le concept permet de prendre en compte les relations qui lient les composantes écologiques, politiques, économiques et sociales d'un système donné et de voir comment cet ensemble, produit d'une coévolution, réagit au changement. L'essai s'inspire du vocabulaire et des travaux reliés à ce domaine sans pour autant en appliquer systématiquement les cadres théoriques. Ainsi, le chapitre 1 propose une vue d'ensemble des socioécosystèmes des Andes et de l'HKH en plaçant les glaciers comme élément central, mais tout en reconnaissant l'interconnexion de ses autres composantes. Cette approche à tendance holistique donne l'opportunité de faire ressortir des subtilités qui auraient pu être ignorées dans un cadre plus rigide et pourra se révéler utile dans l'examen des mesures d'adaptation en réponse à la fonte des glaciers aux chapitres 3 et 4.

1.1 Cryosphère

1.1.1 Les régions à l'étude et leurs glaciers

Les montagnes de l'Hindou Kouch, à l'ouest, et de l'Himalaya, à l'est sont regroupées sous l'appellation HKH, car leur proximité a poussé plusieurs chercheurs à les analyser ensemble. Le système se retrouve à l'interface de huit pays : Pakistan, Afghanistan, Inde, Chine, Népal, Bangladesh, Myanmar et Bhoutan. L'entièreté du territoire du Népal et du Bhoutan se retrouve à l'intérieur des limites de l'HKH. Les autres pays ne sont qu'en partie dans la chaîne de montagnes, mais ils sont aussi en relation avec elle par l'eau qui en provient et qui alimente les fleuves de la région (voir section 1.2). Environ 240 millions de personnes vivaient directement dans l'HKH en 2017 et 1.9 milliard de personnes vivaient à l'intérieur des bassins

¹ Systèmes adaptatifs complexes où les agents sociaux et biophysiques interagissent à des échelles temporelles et spatiales multiples. (Traduction libre)

versants qui ont leur origine dans ses montagnes (Sharma *et al.*, 2019). Des glaciers se retrouvent dans chacun des pays à l'exception du Bangladesh. ICIMOD, le Centre international de mise en valeur intégrée des montagnes, a réalisé un inventaire des glaciers de l'Hindou Kouch-Himalaya. Au total, ils ont établi qu'il y a 54 252 glaciers dans la région pour une surface de 60 054 km² (Bajracharya *et al.*, 2015). Ils ont aussi estimé que le volume de la réserve de glace qu'elle contient est de 6127 km³ ce qui correspond à environ trois fois la précipitation annuelle. À titre de comparaison, les lacs Ontario, Huron et Érié à la frontière du Canada et des États-Unis, ont ensemble un volume de 5705 km³ (EPA, s.d.). La figure 1.1 montre la distribution des glaciers dans l'HKH.

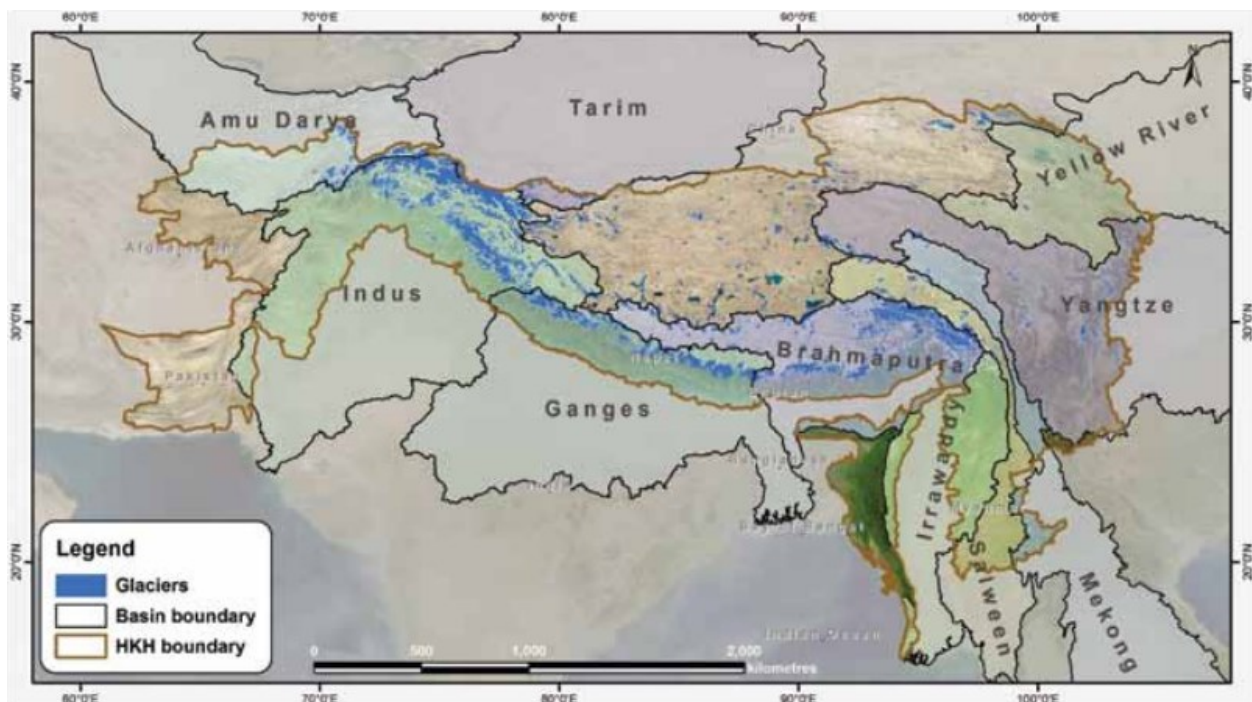


Figure 1.1 Distribution des glaciers dans les bassins versants des dix rivières principales de l'HKH.

Source : Bajracharya et Shrestha (2011), p. 133

Les inventaires de glaciers varient entre eux selon les critères de délimitations et la méthode appliquée (Lutz *et al.*, 2015). Celui de ICIMOD a été retenu dans ce travail pour sa séparation en bassin versant qui pourra être utile dans l'analyse de la contribution des glaciers à l'eau des rivières présentée dans la section 1.2.

Pour ce qui est de la région de la cordillère des Andes, sept pays s'y retrouvent : Pérou, Bolivie, Équateur, Chili, Argentine, Venezuela et Colombie. En 2012, il vivait dans les Andes environ 85 millions de personnes soit 45% de la population de ces pays (Devenish & Gianella, 2012). Les pays du nord ont sur leur territoire

des glaciers tropicaux, plus petits et isolés dont 71% se retrouvent au Pérou, 20% en Bolivie, 4% en Équateur et 4 % en Colombie (Rabatel *et al.*, 2013). Au Venezuela, pays le plus au nord des Andes, il ne reste qu'un seul glacier qui ne fait pas plus de 0,1 km² et qui est sur le point de disparaître complètement (Braun & Bezada, 2013). Vers le sud, au Chili et en Argentine, plusieurs glaciers de petite à moyenne taille se retrouvent dans la partie centrale des Andes et en se dirigeant vers la pointe australe de l'Amérique, on retrouve d'immenses glaciers tel que le champ de glace Sud de la Patagonie qui atteignait 13 000 km² il y a quelques années (Liboutry *et al.*, 1998). Le total de la surface glaciaire de la Patagonie est d'environ 22 000 km² (Meier *et al.*, 2018) tandis que pour les glaciers tropicaux et ceux des Andes centrales, le total s'approche plutôt de 2 000 km² (Francou & Vincent, 2007) et de 3000 km² respectivement (Zalazar, 2017; Barcaza, 2017). La figure 1.2 montre leur distribution dans la cordillère.

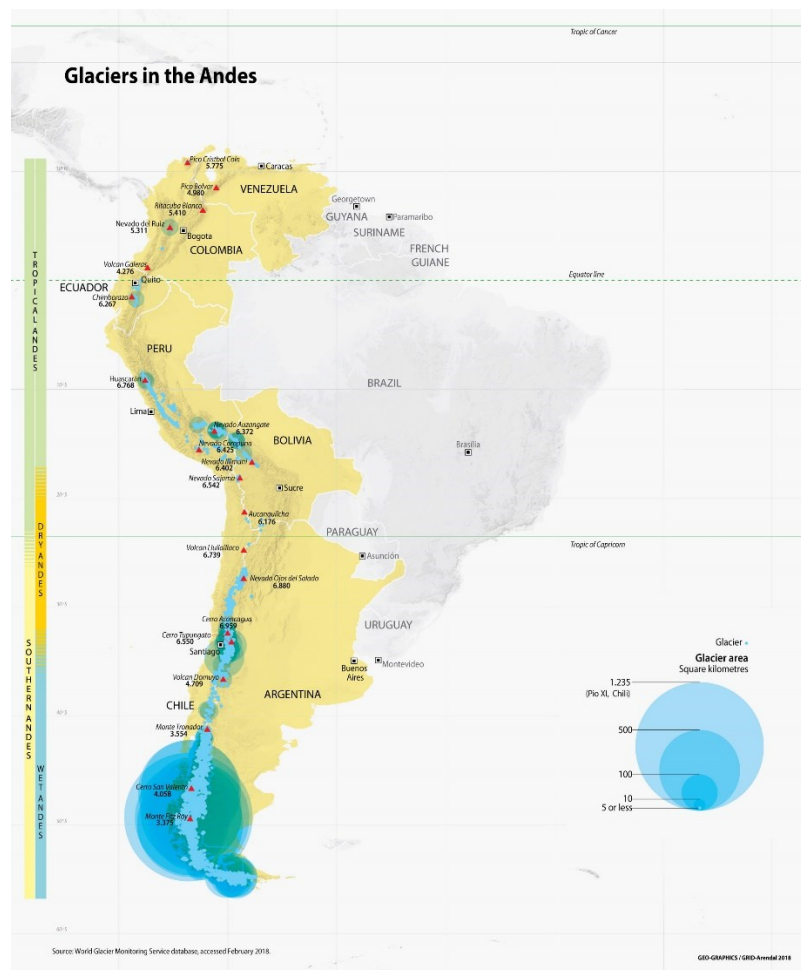


Figure 1.2 Distribution des glaciers dans les Andes. La taille des cercles bleus représente la superficie glaciaire.

Source : Riccardo Pravettoni, 2019

Carey *et al.* (2017) dénotent une concentration de la recherche scientifique sur des localités riches en glaciers tropicaux comme la Cordillera Blanca au Pérou tandis que des endroits tout aussi importants comme les glaciers de la Bolivie, de l'Équateur et de la Patagonie sont moins fréquemment étudiés.

1.1.2 Principes de formation des glaciers

Afin de bien saisir l'importance des glaciers pour les socioécosystèmes des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya, il convient d'abord de comprendre les phénomènes qui sous-tendent leur formation et leur déformation. Le survol des principes de base de la physique des glaciers qui constitue la première partie de cette section prend sa source dans le livre *The physics of glaciers* de Cuffey & Paterson (2010). Ces connaissances permettront au lecteur de mieux saisir comment les changements qui peuvent survenir dans le domaine physique des glaciers pourront affecter les sphères sociale, économique, écologique et politique abordées dans les sections et chapitres suivants.

Tout d'abord, les glaciers se forment d'une accumulation de neige qui, sous l'effet de son propre poids et des cycles de gel-dégel, se compacte et se transforme peu à peu en glace. Dans les couches inférieures se retrouve une glace très compacte tandis que la couche supérieure, en contact avec l'atmosphère, reçoit une neige moins dense et se livre à plusieurs échanges d'énergie avec l'air ambiant. Entre les deux se trouve le névé, l'étape de transition où la neige se voit fortement soudée, mais où il subsiste des espaces d'air. S'ajoutent à ces couches des endroits où l'eau de fonte circule, et d'autres où elle se recristallise. Les propriétés de cette masse aux densités différentielles font en sorte qu'elle se comporte à la manière d'un liquide très visqueux. Cette caractéristique explique le fait que les glaciers se déplacent constamment, souvent en s'écoulant vers l'aval, par l'effet de leur propre déformation. À ce phénomène s'ajoute le glissement de la masse de glace contre la surface sur laquelle elle repose lorsqu'une couche d'eau facilite le déplacement.

Les glaciers peuvent s'étendre sur de grandes distances et leurs diverses parties peuvent se retrouver à des altitudes distinctes où la température et les précipitations diffèrent. La morphologie du terrain qui se trouve sous le glacier peut aussi différer entre ses sections. Ainsi, les conditions de l'environnement qui affectent un glacier donné ne sont pas les mêmes dans chacune de ses parties. La classification la plus générale et la plus simple des zones d'un glacier est celle qui sépare la zone d'accumulation de la zone d'ablation. Dans la zone d'accumulation, l'apport en neige des précipitations est plus important que la perte par fusion et sublimation et ainsi le bilan annuel de la masse est positif. Dans la zone d'ablation,

l'inverse se produit. Un amas important de neige peut tout de même se retrouver dans la zone d'ablation puisque d'une part il s'agit d'une définition qui s'appuie sur le bilan annuel alors il est possible que la neige ne soit pas encore fondue au moment de l'observation, et d'autre part, tel qu'expliqué plus haut, le glacier se déplace et le névé qui s'entasse dans la zone d'accumulation vient combler les pertes de la zone d'ablation. Le vent et les avalanches peuvent aussi contribuer à déplacer la neige d'une zone à l'autre. Entre les deux zones se trouve la ligne d'équilibre où le bilan de la masse est nul. L'altitude à laquelle se trouve cette ligne, la *equilibrium line altitude* (ELA), peut changer au fil des ans selon les forces qui agissent sur le glacier et constitue une référence pour décrire le recul des glaciers lorsque la ELA monte en altitude, ou leur avancement lorsqu'elle descend.

En plus de la variabilité spatiale des processus qui font et défont les glaciers, il existe une forte variabilité temporelle de l'énergie qui circule dans le glacier. Souvent, les périodes d'accumulation ou de fonte plus prononcées sont gouvernées par les saisons humides ou sèches. Les phénomènes climatiques à plus grande échelle temporelle comme El Niño modifient aussi le climat et donc la dynamique de formation des glaciers. Si le climat affecte autant les glaciers, c'est à cause de tous les échanges d'énergie qui se produisent à leur surface. Vuille *et al.* (2008) résument les principaux paramètres qui entrent en compte dans le bilan de l'énergie à la surface d'un glacier. Dans ceux qui seront particulièrement utiles à la compréhension du recul des glaciers, il y a d'abord la température de l'air ambiant à laquelle les glaciers sont sensibles puisqu'il se produit un transfert de chaleur entre l'atmosphère et leur couche supérieure. Ensuite, le rayonnement solaire apporte aussi de l'énergie au glacier. La quantité de rayons qui atteint le glacier dépend de sa latitude, de la couverture nuageuse et de la position du glacier par rapport au relief de la montagne. Aussi et surtout, une partie du rayonnement de courte longueur d'onde est réfléchi selon l'albédo (α) de la couche supérieure. Plus α est près de 1 (proche du blanc), plus les rayons sont réfléchis et donc, ils ne sont pas absorbés et transformés en chaleur. La neige et la glace ont une valeur d'albédo variant généralement entre 0,2 et 0,85 (Cuffey & Paterson, 2010). Cette particularité soulève l'importance de la neige blanche qui ralentit le processus de fonte en empêchant une trop grande absorption de rayons de courte longueur d'onde. Si, au contraire, les précipitations tombent sous forme de pluie, l'albédo est diminué et la fonte est accélérée. Des débris minéraux peuvent aussi se retrouver sur la surface du glacier et affecter l'albédo. L'énergie qu'absorbe le glacier occasionne le changement de phase par la fonte et la sublimation. Pour les glaciers qui se trouvent là où la température est toujours bien au-dessous de zéro et où l'air est plus sec, en Antarctique par exemple ou très haut dans les montagnes, la sublimation joue un rôle plus important que la fonte dans le processus d'ablation du glacier (sans compter le détachement

physique de blocs de glace) (Bintanja, 1999). L'inverse a tendance à se produire dans les endroits où la température atmosphérique s'approche du point de fusion, comme c'est le cas à basse altitude dans les Andes tropicales.

Les principes de formation des glaciers et les paramètres qui influencent la balance énergétique de la surface donnent un aperçu de la manière dont les glaciers peuvent être sensibles à leur milieu. Dans les Andes et l'HKH, le climat change drastiquement selon les saisons et les époques et les glaciers y réagissent depuis toujours. La compréhension de ce phénomène aidera le lecteur à saisir la place qu'ils occupent dans leur socioécosystème respectif et à analyser comment leur réponse adaptative entre en interaction avec celle des communautés humaines des deux régions.

1.2 Hydrologie

Le rôle principal que jouent les glaciers dans les socioécosystèmes des Andes et de l'HKH est celui de réservoir d'eau qui emmagasine les précipitations sous forme de glace et de neige pour ensuite les relâcher lentement au fil des saisons et des années. Les glaciers agissent donc comme régulateurs du cycle hydrologique en fournissant aux rivières un débit d'eau plus régulier que celui des précipitations. Afin de mesurer l'importance de ce phénomène, il pourrait être utile de quantifier quelle part de l'eau des rivières passe par le processus de fonte des glaciers. Toutefois, il est difficile de la séparer de celle qui vient de la pluie et de la réserve souterraine. En conséquence, les données concernant la contribution de l'eau glaciaire aux rivières varient beaucoup selon les publications. Aussi, cette variation peut s'expliquer en bonne partie par le fait que la proportion d'eau des rivières qui vient des glaciers est largement différente selon la position dans le bassin versant, puisque plus on s'éloigne du glacier, plus les précipitations viennent jouer un rôle important dans le débit de la rivière. Pareillement, le pourcentage d'eau glaciaire sera plus faible si un large bassin versant est considéré que si cette même proportion est calculée pour une section restreinte près de la montagne (Prasch, 2013). Une autre raison qui peut expliquer cette variation est la décision d'inclure dans les calculs l'eau provenant de la fonte de la neige qui n'est pas pérenne ou de seulement considérer la glace proprement dite des glaciers (Schaner, 2012). Dans le contexte d'une étude sur l'adaptation des communautés face à la fonte des glaciers, il peut être intéressant de considérer aussi l'importance de la neige saisonnière, car sa fonte est accélérée par les mêmes causes et amène les mêmes problématiques que le recul des glaciers. En revanche, le fait d'isoler l'apport de l'eau de la glace véritable permet de prévoir les effets de la diminution de la réserve d'eau qui s'est constituée il y a plusieurs années. Le tableau 1.1 qui rassemble les estimations de la contribution des

glaciers aux bassins versants des dix rivières principales de l'HKH (figure 1.3) présente la séparation entre la fonte de neige et de glace lorsque cette information a été rendue disponible par les auteurs des sources utilisées.

La majorité des études sur le ruissellement des glaciers se font à partir de modèles et la complexité des processus qui agissent sur le grand territoire que couvrent l'HKH et les Andes, entre autres la mousson et El Niño, sont difficiles à prendre en compte dans leur entièreté. Pour cette raison et celles énoncées plus haut, les valeurs présentées dans cette section sont à prendre à titre indicatif seulement afin d'apprécier à quelle échelle l'eau des glaciers peut avoir un impact sur le socioécosystème régional.

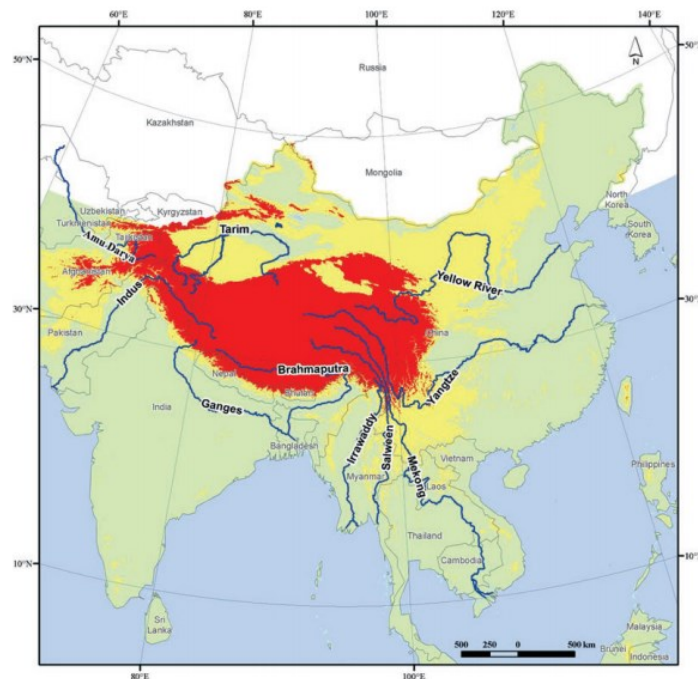


Figure 1.3 Les dix rivières principales des chaînes Hindou Kouch et Himalaya. La région en rouge représente la zone alpine à plus de 3000 m d'altitude, la région jaune est la zone montagnarde entre 3000 m et 1000 m et la région verte est la zone des plaines qui est reliée à l'HKH à travers l'eau des rivières. Source : Xu *et al.* (2009b), p. 521

Tableau 1.1 Contribution de l'eau de fonte aux bassins versants des dix rivières principales de l'HKH et taille de leur surface glaciaire

Bassin versant	Contribution de la fonte à l'eau du bassin (%)		Références ^a	Aire totale du bassin ^b (km ²)	Nombre de glaciers ^b	Surface totale des glaciers ^b (km ²)
	Glacier	Neige				
Indus	40,6	21,8	Lutz <i>et al.</i> , 2014	1 116 086	18 495	21 193
Brahmapoutre	15,9	9	Lutz <i>et al.</i> , 2014	528 079	11 497	14 020
Gange	11,5	8,6	Lutz <i>et al.</i> , 2014	1 001 019	7 963	9 012
Salouen	8,3	27,5	Lutz <i>et al.</i> , 2014	363 778	2 113	1 352
Tarim	8,2	-	Schaner <i>et al.</i> , 2012	929 003	1 091	2 310
Amu Darya	8	69	Armstrong <i>et al.</i> , 2019	645 726	3277	2 566
Jaune		8	Immerzeel <i>et al.</i> , 2010	1 073 168	189	137
Yangtsé		8	Immerzeel <i>et al.</i> , 2010	2 065 763	1 661	1 660
Mekong	0,9	32,5	Lutz <i>et al.</i> , 2014	841 322	2 113	235
Irrawady	ND	ND	-	426 501	133	3

^A Références de la contribution de la fonte à l'eau du bassin

^b Bajracharya *et al.*, 2015

Les valeurs élevées déterminées par Lutz *et al.* (2014) s'expliquent en partie par le fait qu'elles ont été calculées pour la partie supérieure des bassins versants qui est nécessairement plus près du glacier comparativement aux autres études qui considèrent le bassin complet. Cette approche a l'avantage de rendre compte de la manière dont les glaciers peuvent contribuer à l'apport en eau aux communautés qui vivent directement dans les montagnes, mais elle ne permet pas d'apprécier l'importance des glaciers plus en aval. Malgré cette différence méthodologique, plusieurs auteurs s'entendent pour dire que l'Indus est la rivière qui est la plus constituée d'eau glaciaire de l'HKH (Immerzeel *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2009b; Molden *et al.*, 2014; Lutz *et al.*, 2014). D'abord, on observe que la surface totale des glaciers qui s'y trouvent est considérable. Ensuite, il faut savoir que les bassins versants de l'est (Gange, Brahmapoutre, Irrawady, Mekong, Jaune, Yangtsé, Salouen et Tarim) sont beaucoup influencés par les précipitations des moussons ce qui rend l'apport des glaciers à leurs eaux moins remarquable (Molden *et al.*, 2014; Lutz *et al.*, 2014). En revanche, dans l'ouest, le système est plutôt dominé par les contre-alizés qui amènent moins de pluie ce pour quoi les glaciers et la neige contribuent fortement à l'Indus et à l'Amu Darya (Molden *et al.*, 2014). Il est important de rappeler que les valeurs présentées dans le tableau 1.1 se rapportent à la contribution moyenne des glaciers. Xu *et al.* (2009b) soulignent que durant la période sèche et dans les années où la mousson est particulièrement faible ce pourcentage augmente de beaucoup. C'est dans ces moments, où

l'eau des glaciers vient amortir la baisse de débit des rivières, que leur rôle de régulateur du cycle de l'eau est réellement mis de l'avant.

Pour ce qui est de la contribution de l'eau des glaciers aux bassins versants des Andes, Buytaert *et al.*, 2017 ont élaboré une carte qui met en lumière leur importance pour la région nord qui compte des glaciers tropicaux (figure 1.4).

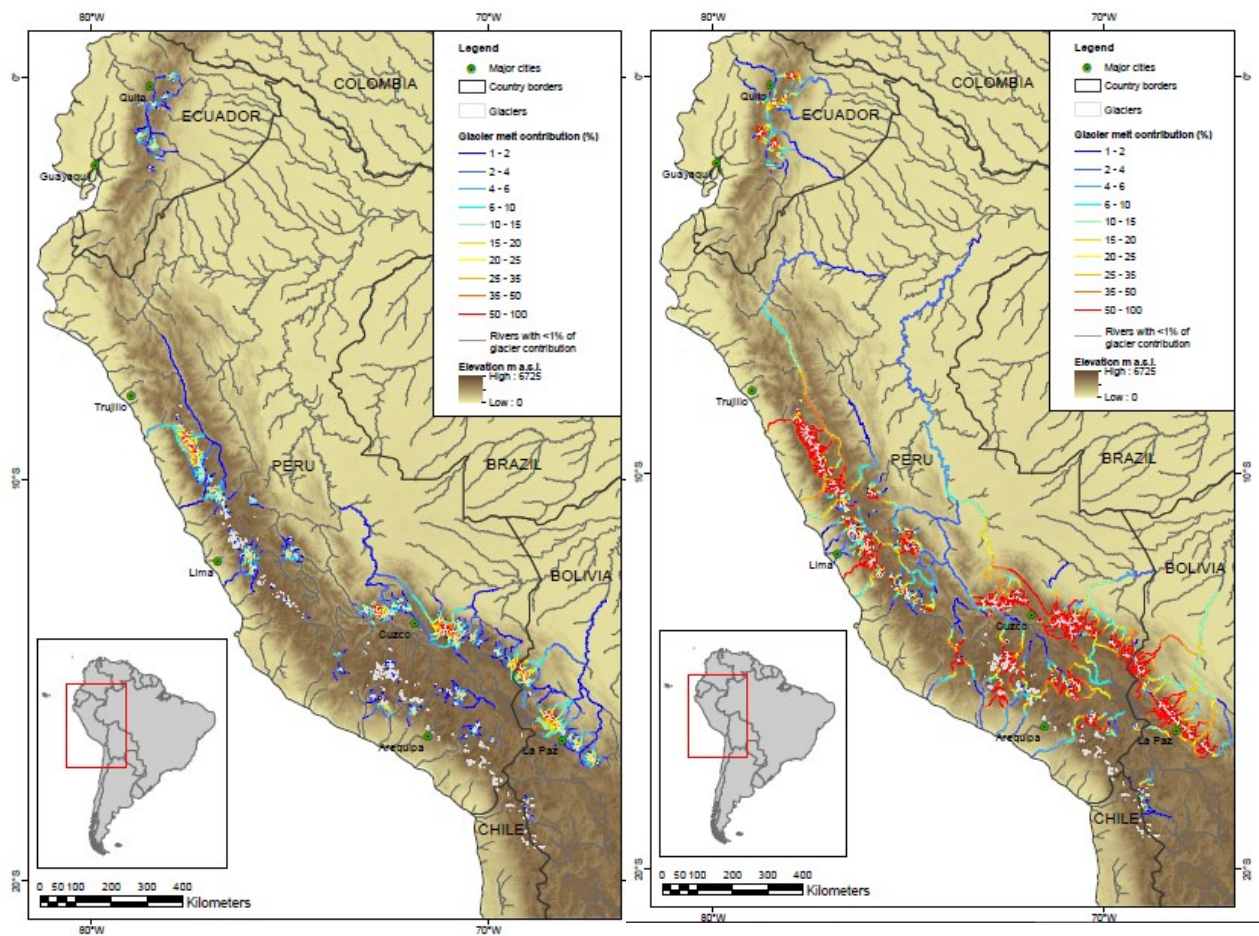


Figure 1.4 Contribution de l'eau de fonte des glaciers au débit des rivières dans les Andes tropicales (a : valeur moyenne pour une année normale, b : valeur mensuelle maximale pour une année de sécheresse). La couleur de bleue (1-2%) à rouge (50-100%) représente la contribution de la fonte des glaciers au débit de la rivière.

Source : Buytaert *et al.* (2017), matériel supplémentaire p. 4 et 7

Tout comme dans l'HKH, l'apport des glaciers est logiquement plus important pour les sites à proximité des glaciers. La figure 1.4a montre un apport qui diminue rapidement vers 1-2% après une courte distance. Cependant, la figure 1.4b présente la contribution mensuelle maximale durant une année de sécheresse

qui s'élève à plus de 50% pour plusieurs rivières, ce qui révèle l'importance que peuvent avoir les glaciers dans le maintien d'un débit de ruissellement minimal nécessaire au fonctionnement du socioécosystème.

Cette conclusion est aussi celle qu'expriment des chercheurs travaillant dans les Andes centrales. En effet, Bravo *et al.* (2017) ont étudié la contribution d'un des plus gros glaciers des Andes Centrales du Chili à l'eau de son bassin versant. Ils ont noté que seulement 2% de l'eau du bassin pouvait être attribuée à la fonte du glacier, mais que pendant l'été, ce pourcentage s'élevait à 10-13%. En somme, l'importance des glaciers dans les socioécosystèmes des Andes passe surtout par leur propriété d'emmagasiner les précipitations et de les libérer lentement, mais incessamment, ce qui assure la continuité des rivières au fil des variations du climat.

1.3 Biodiversité

La biodiversité des montagnes est une composante du socioécosystème qui interagit avec les glaciers à travers l'eau de fonte. En effet, tel qu'abordé dans la section précédente, la glace et la neige ont une influence sur la dynamique hydrologique en proximité des chaînes de montagnes et à son tour, l'eau remplit plusieurs rôles au sein des écosystèmes aquatiques, humides et terrestres. Elle est non seulement une ressource pour les êtres vivants, mais aussi un facteur de connectivité qui permet ou empêche la dispersion de la matière, de l'énergie et des organismes (Sponseller *et al.*, 2013). De plus, en haute montagne, les glaciers ont influencé les communautés végétales et animales régionales en façonnant le relief des environs au fil du temps et en jouant un rôle dans l'isolement des populations (Antonelli *et al.*, 2018). Aussi, l'eau de fonte qu'ils apportent aux écosystèmes a une variabilité de débit, une température, une turbidité et une chimie particulière (Vuille *et al.*, 2018) ce qui a mené au développement d'une biodiversité régionale hautement adaptée (Füreder *et al.*, 2001). La relation entre l'hydrologie des glaciers et la biodiversité environnante peut s'observer depuis l'échelle microscopique où la vie microbienne des cours d'eau, à la base d'un réseau trophique complexe, s'est adaptée aux conditions particulières qu'amène une rivière alimentée par des glaciers (Battin *et al.*, 2016). Ainsi connectées, des modifications dans l'hydrologie des glaciers ont une influence sur la structure de ces communautés (Wilhelm *et al.* 2013) et se répercutent dans les niveaux supérieurs du réseau déjà sensibles directement aux paramètres de l'eau glaciaire (Cauvy-Faunié *et al.*, 2016; Milner *et al.*, 2017; Giersch *et al.*, 2017).

Les écosystèmes terrestres aussi sont connectés aux glaciers, spécialement ceux qui se trouvent à l'interface avec le milieu aquatique. Le cas des tourbières de haute montagne dans les Andes dont le régime hydrique est soutenu en majeure partie par l'eau de fonte des glaciers illustre cette relation proche

(Benavides *et al.*, 2013). Ces écorégions, appelées *bofedales* en espagnol ou encore *jok'os* en aymara, la langue autochtone de la région, sont des foyers de grande richesse spécifique et d'endémisme (Herrera *et al.*, 2015). Certains de ces milieux humides se retrouvent même dans des aires protégées, comme dans le cas du parc national Huascarán au Pérou (Polk *et al.*, 2017).

Les *bofedales* ont une importance écologique, sociale et économique pour les habitants des Andes. D'abord, ils agissent comme un second réservoir, après les glaciers, qui retient l'eau et la laisse s'écouler régulièrement, caractéristique qui diminue le stress hydrique des populations en période sèche (Célleri, 2010). Les *bofedales* sont aussi une source de fourrage pour les animaux d'élevage comme le lama et les alpagas et pour ceux qui sont sauvages comme les vigognes et les guanacos (AIGACAA, 2001). De plus, en tant que tourbières, les *bofedales* sont d'importants puits de carbone (Segnini *et al.* 2010) grâce à leur espèce clé, *Oxychloe andina*, une plante herbacée qui pourrait absorber le carbone plus vite que la sphaigne de l'hémisphère Nord (Earle *et al.* 2003).

Cette liste de services écosystémiques que prodiguent les milieux humides des Andes pourrait aussi bien s'appliquer à ceux de haute altitude de l'Hindou Kouch-Himalaya (Sharma *et al.*, 2015). En effet, on y retrouve des prairies humides, des tourbières, des marais et des lacs situés au-delà de la limite des arbres qui sont alimentés directement par les glaciers et qui remplissent des fonctions similaires dans le socioécosystème (Chatterjee *et al.*, 2010). Ces sites abritent une végétation composée majoritairement d'herbacées et de petits arbustes, ce qui en fait des endroits de choix pour les besoins de l'élevage (Sharma *et al.*, 2015; Chatterjee *et al.*, 2010). La richesse spécifique y est faible, mais l'endémisme est élevé (Chatterjee *et al.*, 2010). Leur importance comme habitat pour les oiseaux migrateurs a permis la protection de plusieurs zones par la Convention de Ramsar (O'Neill, 2019).

Les milieux humides en altitude des Andes et de l'Himalaya ne sont que deux exemples de la multitude d'écorégions qui sont en relation, de près ou de loin, avec les glaciers. En fait, les Andes tropicales ont été identifiées par Myers *et al.* (2000) comme un des 25 *hotspots* de biodiversité dans le monde où la conservation doit être une priorité. La région de l'Indo-Burma, dont une partie est comprise dans l'Himalaya s'inscrit aussi à ce palmarès. Au total, il se trouve dans l'HKH 60 écorégions distinctes dont 12 ont été jugées prioritaires pour la conservation par l'initiative *The Global 200* en raison de leurs caractéristiques exceptionnelles et de leur représentativité de la diversité d'habitat sur la planète (Chettri *et al.*, 2008; Olson & Dinerstein, 2002). Cette grande diversité d'écorégions suit le gradient d'humidité allant du semi-désert subtropical au nord-ouest aux steppes épineuses au sud-est. La différence d'humidité se présente aussi de part et d'autre des montagnes qui agissent comme des barrières face aux

vents de la mousson. Ainsi, les forêts denses du versant sud s'opposent aux steppes du plateau tibétain (Schickhoff., 2005).

En plus de la faune qui habite les écorégions des Andes et de l'Himalaya de moins haute altitude, il se trouve aussi des animaux près des glaciers et même certains qui les utilisent (Rosvold *et al.*, 2016). C'est le cas par exemple de *Diuca speculifera*, un oiseau dont la particularité est qu'il niche directement sur les glaciers du Pérou (Hardy & Hardy, 2008). En résumé, les glaciers et l'eau qui en provient sont intégrés au paysage et soutiennent des milieux naturels qui ont évolué au fil de la dynamique glaciaire. À son tour, l'environnement naturel est utilisé et modifié par les sociétés humaines qui dépendent des ressources qui s'y trouvent et des services écosystémiques qu'ils en retirent.

1.4 Agriculture et besoins domestiques

Dans les deux régions étudiées, les humains vivent à proximité des glaciers et interagissent avec eux depuis longtemps. Dans certains villages des Andes, la culture de patates, de quinoa, d'ulluco et d'oca s'étend jusqu'à une altitude de 4000 m et les terres d'encore plus haute altitude sont utilisées pour nourrir les animaux domestiques qui peuvent brouter jusqu'à la limite de la neige (Young & Lipton, 2006). Dans ces communautés, souvent autochtones, l'irrigation est pratiquée depuis plusieurs siècles (Chevallier *et al.*, 2011). Les habitants des montagnes utilisent aussi les ressources de la biodiversité, par exemple le bois pour faire du feu, qui peuvent être intimement liées aux glaciers tel qu'abordé dans la section 1.3. Buytaert *et al.* (2017) ont couplé les modèles qui estiment la contribution des glaciers aux cours d'eau avec des données de besoins locaux en eau dans les Andes tropicales. De cette manière, ils ont calculé que 391 000 utilisateurs et 398 km² de terres irriguées dépendaient à plus de 25% de l'eau des glaciers. En temps de sécheresse, cependant, ce seraient plutôt 3,92 millions de personnes et 2096 km² de terre agricole qui compteraient sur les glaciers pour au moins le quart de leur approvisionnement. Aussi, les Andes forment une barrière orographique aux vents chargés en humidité ce qui crée dans la région des zones très arides. Dans ces endroits secs, l'eau des glaciers tient une importance majeure pour remplir les besoins des populations locales (Mark *et al.*, 2015). En plus du lien qui unit les établissements ruraux des Andes aux glaciers, les centres urbains sont aussi en relation directe avec eux. En effet, les capitales de la Bolivie (La Paz), de l'Équateur (Quito) et du Pérou (Lima), ont été construites à proximité des glaciers qui alimentent en partie les rivières d'où les villes s'approvisionnent en eau potable (Soruco, 2008; Villacís, 2008 Chevallier *et al.*, 2011).

Dans l'Hindou Kouch-Himalaya, le lien entre l'eau des glaciers et la sécurité alimentaire de millions de personnes est établi (Immerzeel, 2010). On peut observer cette relation en se tournant vers les plaines du bassin de l'Indus et du Gange qui se sont transformées au fil des années en immenses terres agricoles. Selon Aggarwal (2004), ces plaines fournissent du riz et du blé à près d'un milliard de personnes. Les systèmes d'irrigation et la technologie ont permis une augmentation de la productivité de la région, mais celle-ci dépend toujours de ses sources d'eau naturelles, les rivières Indus et Ganges. Tel qu'abordé dans la section 1.2, la fonte des glaciers alimente ces cours d'eau et contribue donc à la production de nourriture. Leur apport est surtout remarquable dans les périodes où les précipitations sont basses et dans les années où la mousson a été particulièrement faible (Thayyen *et al.* 2010). À ce moment, l'eau des glaciers vient combler une partie de la demande, ce qui assure une régularité de la production agricole au fil des saisons et des années. Biemans *et al.* (2019) ont estimé que la nourriture produite seulement grâce à l'eau de fonte dans les bassins de l'Indus et du Gange équivalait à une diète équilibrée pour 36 millions de personnes. À cela s'ajoutent les habitants qui vivent directement dans les montagnes, dont plus de 48 millions de fermiers pour qui la dépendance à l'eau des glaciers est encore plus substantielle (Biemans *et al.*, 2019).

1.5 Énergie et industrie

Tel que vu dans la section 1.2, la contribution des glaciers à l'eau des rivières peut être considérable pour certains cours d'eau. À travers cet apport, la cryosphère joue un rôle dans la sphère économique du socioécosystème d'abord par son apport à l'agriculture, mais aussi en grande partie à travers le potentiel hydroélectrique qu'elle procure. D'un côté, l'hydroélectricité peut être une source de revenus pour les pays concernés, ce qui peut mener à l'amélioration des conditions de vie de leurs habitants. L'exploitation de ce potentiel peut aussi conduire à un accès plus répandu à l'électricité et ainsi contribuer à la sécurité énergétique des communautés rurales. De l'autre côté, la construction de barrages peut amener une foule de problèmes environnementaux et perturber le socioécosystème en exacerbant les inégalités. Quoi qu'il en soit, la possibilité de production d'énergie qu'offrent les hautes montagnes des Andes et de l'HKH, où l'eau descend avec vélocité, a été reconnue depuis longtemps et plusieurs des pays des régions étudiées profitent de cette ressource. Par exemple, dans les Andes, les gouvernements de l'Équateur, du Pérou et de la Bolivie misent largement sur l'hydroélectricité pour combler leur demande énergétique dans le futur (Finer & Jenkins, 2012). Dans l'HKH, on retrouve la Chine qui est le pays avec la plus grande puissance hydroélectrique installée au monde (IHA, 2020). Il y a aussi le Bhoutan dont le territoire est entièrement

dans l'HKH et qui produit déjà, grâce à l'eau des montagnes, 100% de son électricité de manière renouvelable et en exporte même aux pays voisins (Kumar, 2014). Malgré le grand potentiel qu'offrent les deux régions, seulement une faible proportion est exploitée. En effet, non seulement il existe de graves préoccupations environnementales concernant les barrages, mais il y a également plusieurs barrières technologiques, financières et institutionnelles qui freinent l'avancée de l'hydroélectricité dans les deux chaînes de montagne à l'étude (Meier *et al.*, 2011; Vaidya, 2012). De plus, des tensions sociales et des questions relatives aux droits sur l'eau peuvent émerger lors de projets impliquant une large portion de territoire où les communautés autochtones revendiquent la propriété de leurs terres ancestrales (Meier *et al.*, 2011). Des communautés de l'HKH ont aussi contesté des projets hydroélectriques dans leur chaîne de montagnes tandis que leurs intérêts divergeaient de ceux des promoteurs (Dukpa *et al.*, 2019). En ce sens, l'hydroélectricité est loin d'amener seulement des bénéfices, mais elle occupe tout de même une place importante de la sphère économique des deux régions.

En effet, malgré les multiples contraintes et les problématiques qu'elle peut occasionner, l'hydroélectricité est en plein essor dans les Andes et dans l'HKH. Ces opportunités de développement ont comme base les ressources hydriques qui peuvent être intimement liées à la dynamique de fonte des glaciers. Ainsi, à travers le potentiel hydroélectrique qu'ils procurent, les glaciers sont reliés à la composante économique du socioécosystème. Dans ce domaine, l'eau des glaciers alimente aussi les besoins en eau des industries qui travaillent dans les deux régions. Par exemple, dans l'HKH, le tourisme est en pleine croissance et apporte emplois et revenus. Ce secteur est appelé à demander de plus en plus d'électricité et d'eau dans les années à venir (Dhakal *et al.*, 2019). Dans les Andes, l'eau est nécessaire à l'industrie minière toujours en expansion ce qui fait des compagnies transnationales des acteurs puissants dans la gestion de la ressource hydrique (Carey *et al.*, 2014). Leurs activités peuvent être des sources de richesse pour les communautés locales, mais elles peuvent aussi être désastreuses pour le bien-être des habitants lorsque l'eau dont ils dépendent est accaparée. Ces exemples montrent que l'eau des glaciers peut contribuer au développement du socioécosystème, mais que de multiples forces peuvent orienter la direction de ce progrès vers des retombées bénéfiques ou néfastes. En d'autres mots, la condition des glaciers des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya influence la composante économique des socioécosystèmes et celle-ci est déterminante dans la vie des habitants des montagnes.

1.6 Culture et spiritualité

L'aspect culturel et spirituel est souvent négligé par la science conventionnelle occidentale qui étudie de son œil matérialiste les lieux d'intérêt écologique comme les Andes et l'HKH (Allison, 2015). Cependant, pour adopter une approche holistique qui tente de brosser un portrait des interconnexions dans le socioécosystème, cette dimension ne saurait être ignorée. En effet, les glaciers des Andes et de l'HKH sont au centre de croyances et de traditions qui ont parfois une origine très ancienne, mais qui évoluent aussi au fil des changements que vit le milieu. La relation spirituelle et culturelle des peuples des montagnes avec les glaciers est hétérogène. Il est important d'apprécier la diversité des visions locales dans l'étude des stratégies d'adaptation parce que d'une part, cela aide à comprendre ce qu'impliquent les changements pour les communautés, et d'autre part, parce que ces conceptions du monde peuvent jouer un rôle dans la résolution des problématiques associées aux changements. Il est impossible de couvrir l'intégralité des représentations spirituelles locales rencontrées à travers le large territoire que couvrent les deux chaînes de montagnes dont traite cet essai, mais quelques exemples aideront à saisir comment l'imaginaire qui entoure les glaciers et les traditions qui en découlent se manifestent comme éléments déterminants dans la dynamique des socioécosystèmes de chaque région.

Rhoades *et al.* (2008) racontent les récits et les perceptions locales d'une communauté autochtone en Équateur. Ils relatent que les habitants du village de Cotacachi appellent le volcan au pied duquel ils vivent Mama Cotacachi. Pour eux, la montagne aux traits maternels a une personnalité qui lui est propre et sa forme est décrite comme le serait un corps humain. Les autres montagnes de la région ont elles aussi un nom ainsi qu'une histoire et les habitants racontent les relations intimes qui unissent ces divinités de pierre. Les glaciers se trouvant posés sur leurs « dos » font partie intégrante de ces légendes. Dans ce contexte mythique, les changements qu'ils peuvent subir sont interprétés chez les locaux par des explications spirituelles. Des similarités peuvent être reconnues avec la vision de plusieurs peuples à travers l'Amérique. Les croyances des peuples quechuas des Andes péruviennes rapportée par Allison (2015) en sont un autre exemple. Les habitants de cette région considèrent les glaciers comme étant les ponchos blancs des *Apus*, les divinités des montagnes. Ici aussi, les modifications que subissent les glaciers ont une explication spirituelle et le recul des glaciers est un signe du départ des *Apus*. Les glaciers occupent une place importante dans les croyances quechuas et chaque année, environ 70 000 d'entre eux se rendent en pèlerinage au bassin glacial de Sinakara. Là-haut, la tradition voulait que les hommes récoltent des blocs de glace du glacier dont les propriétés magiques sont multiples. Toujours au Pérou et sur une note plus culturelle, la glace des glaciers est utilisée depuis longtemps pour concocter la *raspadilla*, un

dessert sucré populaire (Dunbar & Marcos, 2012). Traditionnellement, des hommes avaient la lourde tâche de grimper les montagnes pour rapporter des blocs de glace et approvisionner les vendeurs de *raspadilla* au village. La pratique date d'avant l'arrivée des Européens à l'époque où les saveurs ajoutées à la glace provenaient des plantes indigènes. Bien que maintenant plusieurs utilisent de la glace manufacturée, il subsiste toujours des endroits qui gardent en vie la culture de la collecte de glace en altitude.

Du côté de l'Hindou Kouch-Himalaya, des sociétés bouddhistes du Népal et du Bhoutan expliquent les événements climatiques défavorables comme étant l'œuvre des divinités qui s'offensent de la pollution spirituelle propagée par les humains (Allison, 2015). Il n'y a pas si longtemps, pour plusieurs Sherpas, le fait de grimper une montagne était interdit puisque cela pouvait fâcher les divinités qui y vivent. Ce tabou a changé depuis, mais plusieurs croient toujours qu'il est nécessaire d'apaiser les dieux pour assurer une montée sans risque (Allison, 2015). En Inde, les grandes rivières sont considérées sacrées dans la religion hindoue et les fidèles qui s'y baignent se retrouvent purifiés (Agoramoorthy, 2015). Le Gange, représentation du Dieu Shiva, est le cours d'eau le plus élevé dans la sacralité et qui possède le plus grand pouvoir d'assainissement moral. Y est associée une multitude de rites et de célébrations dont l'origine remonte à loin. Ainsi, par leur apport à ces rivières, les glaciers contribuent à animer la vie spirituelle de la région. On dégage de ces exemples qu'à partir de la représentation sacrée des glaciers découle un ensemble de coutumes, de pratiques et d'interdictions qui ont une influence sur la façon dont les communautés réagissent au changement.

Les dimensions culturelles et spirituelles viennent s'ajouter aux composantes des socioécosystèmes des Andes et des chaînes Hindou Kouch et Himalaya dont l'interaction avec les glaciers a été discutée plus tôt dans le chapitre 1. En résumé, il a été question de la manière dont les glaciers sont des entités physiques dynamiques qui répondent aux changements dans leur environnement. Cette relation influence le débit de l'eau des rivières des deux régions étudiées et donne aux glaciers une fonction régulatrice au sein du système hydrologique qui lui-même est connecté aux écosystèmes naturels environnants. Ces milieux abritent des communautés humaines qui utilisent l'eau glaciaire pour répondre à leurs besoins primaires et économiques, notamment par le biais de l'agriculture, de l'hydroélectricité, du tourisme et de l'industrie minière. La proximité de longue date entre les humains et les glaciers des Andes et de l'HKH a mené à la création d'un lien spirituel et culturel profond qui témoigne du caractère indissociable des multiples éléments qui composent le socioécosystème. Dans ce contexte, un changement rapide dans le bilan de masse des glaciers déclenche une cascade d'événements qui force les deux régions à s'adapter et à se

redéfinir. Le chapitre qui suit traite de cette situation alors qu'un recul des glaciers est observé depuis quelques décennies.

CHAPITRE 2

Le recul des glaciers

Le chapitre 1 présente les socioécosystèmes de l'Hindou Kouch-Himalaya et de la cordillère des Andes comme des tous dynamique dont les glaciers font partie intégrante. Cependant, depuis quelques années, des changements rapides se produisent dans les montagnes en question et le système est forcé de s'adapter hâtivement. Le chapitre 2 aborde les changements que vivent les deux régions, avec comme point de départ et élément central, le phénomène du recul des glaciers. Ses causes anthropiques sont d'abord expliquées, puis la discussion s'ouvre sur la manière dont plusieurs facteurs sociaux, économiques et politiques accentuent les pressions qui transforment le visage du socioécosystème.

2.1 Causes du recul des glaciers

Durant notre époque, l'Holocène, les glaciers du monde ont connu de grandes fluctuations de masse qui ont causé leur recul et leur avancement (Solomina *et al.*, 2015). Plus près de nous, la dernière période marquée d'un avancement général des glaciers s'est produite durant le Petit âge glaciaire d'entre 1300 et 1850, durant lequel nos ancêtres ont observé une baisse de température. À la fin de cette période, la majorité des glaciers dans le monde ont basculés vers un processus de recul, c'est-à-dire qu'ils perdent plus de masse qu'ils en accumulent sur une période prolongée (Zemp *et al.*, 2015). Vers 1850, les activités humaines n'avaient pas encore une grande responsabilité dans ce basculement, mais au fil des années, la part des causes anthropiques dans la fonte des glaciers a grandement augmenté à mesure que les humains se sont mis à avoir un impact grandissant sur leur environnement, notamment à travers l'utilisation d'énergies fossiles. Marzeion *et al.* (2014) ont estimé que pour la période entre 1850 et 2010, $25 \pm 35 \%$ de la fonte des glaciers était causé par des activités humaines, mais que ce pourcentage s'élevait à $69 \pm 24\%$ en considérant seulement la période entre 1991 et 2010. Ainsi, le recul des glaciers du monde s'accélère par l'action de l'humain et la cryosphère de l'Hindou Kouch-Himalaya et des Andes ne fait pas exception à cette situation (Bolch *et al.*, 2019; Rabatel *et al.*, 2013).

2.1.1 Réchauffement climatique d'origine anthropique

Le phénomène d'origine anthropique qui contribue le plus à accélérer la fonte des glaciers est le réchauffement climatique causé par l'émission de gaz à effet de serre (GES). Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2018), l'humain aurait, par ses émissions de CO₂ et

autres GES déjà causé un réchauffement de 1°C (entre 0,8 °C et 1,2 °C) par rapport aux températures préindustrielles (années 1850-1900). Puisque l'humain continue de rejeter ces gaz dans l'atmosphère, le climat continuera d'être modifié. Dans son dernier rapport d'évaluation (RE5) (2014), le GIEC présente quatre scénarios des possibles évolutions dans les émissions humaines de GES des prochaines années (voir figure 2.1). Ils vont du RCP 2.6 (*Representative Concentration Pathway*), correspondant à une rapide diminution des émissions, au RCP 8.5 qui représente une situation où les émissions augmenteraient de beaucoup au cours du 21^e siècle. Les scénarios 4.5 et 6.0 sont intermédiaires.

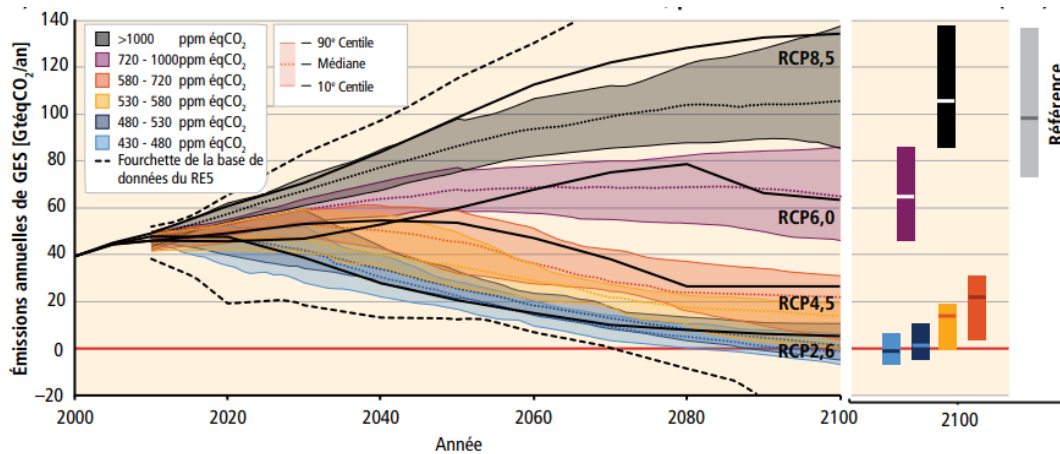


Figure 2.1 Profils d'évolution des émissions de GES entre 2000 et 2100, pour tous les scénarios étudiés (RE5).

Source : GIEC (2014) p. 92

Le niveau d'augmentation de température de la planète dépend du chemin que l'humanité décidera de suivre dans les prochaines années ainsi que le montre le tableau 2.1 tiré du rapport spécial du GIEC sur les océans et la cryosphère (2019) qui met à jour les prévisions du RE5.

Tableau 2.1 Projections du changement de température moyenne à la surface par rapport à la période préindustrielle (1850-1900) pour les quatre scénarios du RE5

Scénario	Court terme: 2031-2050		Fin du siècle: 2081-2100	
	Moyenne (°C)	Intervalle probable (°C)	Moyenne (°C)	Intervalle probable (°C)
RCP2.6	1,6	1,1 à 2,0	1,6	0,9 à 2,4
RCP4.5	1,7	1,3 à 2,2	2,5	1,7 à 3,3
RCP6.0	1,6	1,2 à 2,0	2,9	2,0 à 3,8
RCP8.5	2	1,5 à 2,4	4,3	3,2 à 5,4

Source : GIEC (2019), p. 8

Traduction libre

Au cours de la 21^e conférence des parties (COP21) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) les pays membres ont décidé, en signant l'Accord de Paris, de se fixer chacun des cibles nationales de réduction d'émission de GES afin de limiter le réchauffement bien en dessous de 2°C. Toutefois, le rapport spécial du GIEC portant sur les impacts d'un réchauffement de 1,5°C (2018) montre que même si ces cibles sont atteintes, elles ne sont pas assez ambitieuses pour empêcher la température de monter au-delà de 2°C.

Cette augmentation de la température ambiante mène directement à une accélération de la fonte des glaciers par un plus grand transfert de chaleur de l'air à la surface. Également, un autre effet majeur du réchauffement de l'air est qu'il favorise la tombée des précipitations sous forme de pluie au lieu de la neige (Vuille *et al.*, 2008). Tel que présenté dans le chapitre un, la couche de neige blanche sur la surface du glacier est importante dans l'augmentation de l'albédo qui diminue l'absorption de rayons solaires. Au contraire, la pluie diminue l'albédo et accélère la fonte. Plus directement, les précipitations en pluie ne s'accumulent pas et ne peuvent donc pas contribuer à compenser l'ablation du glacier. Les transformations dans les glaciers observées aujourd'hui sont une réponse retardée au climat changeant du 20^e siècle. Pour cette raison, même en réduisant drastiquement les émissions de gaz à effet de serre dans un avenir rapproché (RCP2.6), les glaciers dans le monde devraient tout de même perdre entre 11 et 25% de leur masse (GIEC, 2019). Cependant, en suivant la trajectoire opposée où l'effet de serre est amplifié (RCP 8.5), ce serait plutôt une masse de 26 à 47% qui serait perdue (GIEC, 2019).

Les glaciers de l'HKH et des Andes ne sont pas à l'abri de ce sort, mais les impacts du réchauffement global sur ceux-ci dépendent de comment il se traduira dans le système climatique régional et local. La grande étendue que couvrent les deux régions, leur topographie extrême et leur environnement hétérogène rend difficile de prévoir les changements à venir (Krishnan *et al.*, 2019). Dans l'HKH, Krishnan *et al.* (2019) relèvent que le réchauffement durant les 50 dernières années a été de 0,2 °C par décennie. Leurs modèles prédisent, pour le RCP 4.5, un réchauffement régional entre 1,7 et 2,4 °C à court terme (2036-2065) et entre 2,2 et 3,3 °C à long terme (2066-2095). Pour le scénario RCP 8.5, on assisterait plutôt dans l'HKH à une augmentation de 2,3 à 3,2 °C à court terme et 4,2 à 6,5 °C à long terme (Krishnan *et al.*, 2019). Dans les Andes tropicales, Vuille *et al.* (2015) calculent un réchauffement de 0,13 °C par décennie durant la période de 1950 à 2010. En suivant un scénario RCP8.5, ce chiffre pourrait monter à 0,3°C (Vuille, 2018, cité dans GIEC, 2019). Dans les Andes centrales, Zazulie *et al.* (2017) relèvent un réchauffement pour la période 1980–2005 d'environ 0,3 °C par décennie en été et de 0,4 °C en hiver. Leurs prédictions pour la

période 2006-2100 sont un réchauffement de 0,2 °C par décennie pour un scénario RCP 4.5 et de 0,5 °C pour RCP 8.5 (Zazulie *et al.*, 2018).

Les changements de précipitations ont aussi une grande influence sur les glaciers, mais ils sont plus difficiles à prévoir à cause de la grande variabilité régionale et locale. Une tendance vers une augmentation des précipitations se dessine dans l'HKH tandis que les Andes devraient connaître une diminution (Hock *et al.*, 2019). Pour l'HKH ce phénomène pourrait avoir pour effet de diminuer le rôle de régulateur du cycle hydrique que jouent les glaciers en augmentant la dépendance du socioécosystème aux précipitations. Dans les Andes, si les précipitations diminuent en même temps que l'apport d'eau glaciaire, cela pourrait donner lieu à une diminution du débit des rivières.

2.1.2 Émission d'aérosols

Les pressions anthropiques sur les glaciers ne se limitent pas à l'émission de gaz à effet de serre. Certaines activités humaines produisent des particules qui se déposent sur la surface des glaciers et en diminuent l'albédo. Cela fait en fait en sorte que le glacier absorbe plus de radiations solaires et se réchauffe plus rapidement. Une de ces particules qui accélère particulièrement la fonte des glaciers est le carbone noir. Il s'agit d'un polluant de l'air qui est émis entre autres lors de la transformation des hydrocarbures et lors de la combustion incomplète de la biomasse dans les usages domestiques (Kurokawa, 2013). La région de l'Hindou Kouch-Himalaya est particulièrement touchée par l'effet du carbone noir parce qu'elle se retrouve entre les deux pays qui en émettent le plus, la Chine et l'Inde (Bond *et al.*, 2007). Une grande partie des émissions vient de la combustion domestique de biomasse, mais la part du transport routier et de l'industrie a augmenté dans les dernières années (Kurokawa, 2013). Les vents apportent aussi la pollution des usines à charbon, des usines de briques et de la culture sur brûlis (Bolch *et al.*, 2019). Après un court séjour dans les airs, le carbone noir est ramené au sol par les précipitations et se mélange à la neige. Cet ajout modifie les propriétés réflexives de la surface et mène à une fonte plus rapide par l'absorption de radiations solaires de courtes longueurs d'onde. À mesure que la couche de surface fond, les impuretés hydrophobes peuvent rester à la surface et se retrouver plus concentrées ce qui amplifie la diminution de l'albédo (Flanner *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2009a). Xu *et al.* (2009a) ont montré que la quantité de carbone noir qui se retrouve dans la neige du plateau tibétain est suffisante pour en affecter significativement l'albédo. Dans le même ordre d'idée, Yasunari *et al.* (2010) ont estimé que le dépôt de carbone noir sur un glacier au Népal pouvait diminuer l'albédo de 2 à 5,2% ce qui peut se traduire en une augmentation du ruissellement annuel de 11.6 à 33.9%.

Un autre effet du carbone noir pourrait être un réchauffement local de l'atmosphère. En effet, durant le séjour du carbone noir dans l'air, il est aussi une particule absorbante de la lumière visible (Ramanathan & Carmichael, 2008). Les rayons absorbés augmentent la température de l'air et cette énergie peut accélérer la fonte des glaciers par transfert direct de chaleur. Cependant, cette relation est plus compliquée qu'il ne paraît car l'absorption de la radiation solaire par le carbone noir peut aussi causer un effet d'assombrissement de la surface (Ramanathan & Carmichael, 2008). Dans ce cas, la quantité de rayons qui atteint le glacier est plus faible. De plus, il est souvent émis en même temps que d'autres polluants qui eux ont des propriétés réflexives face aux rayons du soleil. Ces aérosols empêchent l'énergie d'atteindre la surface et agissent donc à l'inverse du carbone noir en refroidissant la planète (Andreae *et al.*, 2005). En d'autres mots, le forçage radiatif de l'atmosphère par les aérosols anthropiques dépend de la composition des émissions et des conditions climatiques locales. Pour cette raison, l'effet du carbone noir au sol sur l'albédo de la surface explique mieux pourquoi il accélère la fonte des glaciers. Le carbone noir n'est pas la seule particule qui peut modifier l'albédo de la surface des glaciers. Quelconque débris ou poussière minérale peut avoir un effet semblable, mais selon les propriétés de cet agent, son rôle dans la fonte peut s'avérer complexe. En effet, d'une part, une fine couche de débris sur le glacier peut diminuer de beaucoup l'albédo de la surface, ce qui accélère la fonte (Adhikary *et al.*, 2000). D'autre part, si la couche est assez épaisse, elle peut isoler le glacier de l'air ambiant et diminuer le transfert de chaleur sensible (Warren, 1984; Adhikary *et al.*, 2000). L'humidité contenue dans les débris et les conditions climatiques locales ont aussi une influence sur les conséquences d'une couche de débris sur un glacier, à savoir si elle ralentit ou accélère la fonte (Nicholson, L. & Benn, 2006). Ce double effet est source d'incertitude dans l'approche à avoir face aux activités humaines qui augmentent l'accumulation de débris sur la surface des glaciers. Dans les Andes, par exemple, des communautés ont accusé les compagnies minières d'avoir fait disparaître les glaciers de leur région par la mise en suspension de poussière minérale dans l'air (Khadim *et al.*, 2016). Ces dernières rétorquent que la perturbation que causent les mines sur les glaciers est minimale comparée à l'effet du climat (Arenson *et al.*, 2015). Toutefois, cette réponse ne prend pas en compte le fait qu'une modification du ruissellement des glaciers, même si elle est négligeable en temps normal, peut s'avérer critique en période de sécheresse. Ce point de vue ne considère pas non plus l'intégralité du rôle des glaciers dans le socioécosystème, qui pourraient par exemple tenir une place centrale dans la culture locale. Dans ce dernier cas, une couche de débris sur le glacier pourrait avoir un impact qui va au-delà de sa modification physique.

2.2 État de la situation

2.2.1 Perte de masse observée

L'étude du recul ou de l'avancement des glaciers peut se faire en se basant sur les données annuelles de leur masse et de leur surface. Ces mesures peuvent être faites sur le terrain à l'aide de tiges plantées dans la zone d'ablation et de trous creusés dans la zone d'accumulation (Bolch *et al.*, 2019). L'altitude de la ligne d'équilibre entre les zones d'accumulation et d'ablation peut aussi être comparée entre les années pour observer le déplacement du glacier. Les mesures peuvent également être prises à distance et puisque la plupart des glaciers sont difficiles d'accès, l'utilisation d'images aériennes et satellites est de plus en plus favorisée. De nouvelles méthodes émergent pour étudier les modifications des glaciers telles que l'utilisation des valeurs de variation de la gravité, de l'élévation de la surface, ou encore des modèles qui prennent en compte les paramètres du climat (Bolch *et al.*, 2019).

Les différences climatiques de chaque région et le stade de recul des glaciers font en sorte qu'ils se retirent à des vitesses différentes. Il y en a même certains qui sont en processus d'avancement, même s'il s'agit d'une minorité. Bolch *et al.* (2019) ont rassemblé les études concernant les bilans de masse et de surface glaciaire des glaciers de l'HKH, ce qui donne un aperçu de la tendance de leur modification depuis les dernières années (tableau 2.2). L'unité m w.e./année (*meter water equivalent*) correspond au volume d'eau obtenu de la fonte de la neige ou de la glace par année divisé par la surface du glacier (Hock, 2010). En d'autres mots, elle témoigne de la modification de l'épaisseur du glacier sur toute sa longueur et permet donc de comparer la vitesse de fonte de différents glaciers (Hock, 2010).

Tableau 2.2 Taux de modification de la masse et de la surface des glaciers de l'HKH entre 1970 et 2010 avec le nombre d'études considérées entre parenthèses

Région	Bilan de masse (m w.e./ année)		Changement de la surface glaciaire (%/année)	
	~1970-2000	~2000-2010	~1970-200	~2000-2010
Hindou Kouch	-	-0,30 (5)	-0,79 (1)	+0,01 (1)
Himalaya Occidentale	-0,33 (5)	-0,50 (11)	-0,38 (26)	-0,34 (4)
Himalaya Centrale	-0,39 (10)	-0,42 (14)	-0,41 (29)	-0,37 (5)
Himalaya Orientale	-0,17 (1)	-0,66 (10)	-0,55 (7)	-0,81 (3)

Modifié de : Bolch *et al.* (2019), p. 225

Traduction libre

Le tableau 2.2 montre que se dessine une tendance de perte de masse et de surface partout à travers l'Himalaya et que plusieurs études supportent cette affirmation. Pour ce qui est de l'Hindou Kouch, il y a peu de recherche qui permette de déterminer la vitesse des changements dans les glaciers même si une diminution de leur longueur est observée (Bolch *et al.*, 2019). Le tableau 2.2 montre aussi une augmentation du taux de perte de masse et de surface plus prononcée pour l'Himalaya Orientale que dans le reste de la chaîne de montagnes. Malgré la vitesse de modification plus stable observée dans l'Himalaya Occidentale et centrale, les glaciers de la région sont tout de même en processus de recul. À titre de comparaison, la figure 2.2 élaborée par Rabatel *et al.* (2013) montre la tendance des glaciers des Andes tropicales.

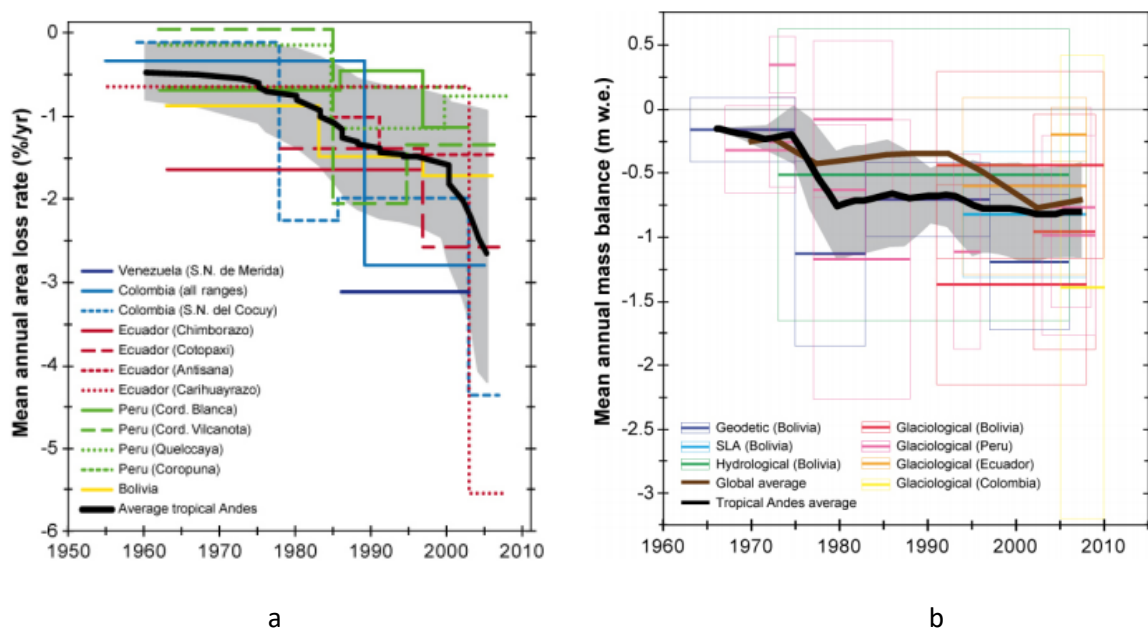


Figure 2.2 Taux de modification des glaciers des Andes tropicales (a : Changement de la surface glaciaire, b : Bilan de masse). La ligne épaisse correspond au taux calculé tandis que la boîte pâle qui l'entoure correspond à l'incertitude et équivaut à ± 1 écart-type. La ligne noire est la moyenne pour les Andes tropicales. a : L'axe vertical est le pourcentage moyen annuel de perte de superficie. Les couleurs et formes de ligne correspondent aux différentes études qui ont été menées dans des glaciers spécifiques des pays des Andes. b : L'axe vertical est le bilan de masse moyen annuel. Les couleurs correspondent aux valeurs pour les glaciers de divers pays calculés avec diverses méthodes.

Source : Rabatel *et al.* (2013), p.88 et 91

La figure 2.2a montre un taux de perte de superficie moyen qui va en s'accroissant au fil des années dans les Andes. Selon la figure 2.2b, les glaciers des Andes tropicales ont un taux moyen de perte de masse proche de 0,75 m w.e. par année ce qui est plus élevé que celui de chaque partie de l'HKH. De plus, ils ont atteint ce taux depuis les années 80, ce qui implique un recul rapide depuis longtemps. Ces résultats ne font toutefois pas consensus. Dussailant *et al.* (2019) ont quant à eux calculé un taux moyen de perte de

masse de $0,42 \pm 0,24$ m w.e. par année pour les deux dernières décennies. En rajoutant les bilans de masses des glaciers en Patagonie ($-0,78 \pm 0,25$ m w.e. yr⁻¹) et dans les Andes centrales ($-0,28 \pm 0,18$ m w.e. yr⁻¹) ils estiment que les glaciers de la cordillère dans son ensemble perdent $0,72 \pm 0,22$ m w.e. par année.

Les scientifiques ne sont pas les seuls à avoir constaté le recul des glaciers dans l'Hindou Kouch-Himalaya et les Andes. En effet, les communautés humaines établies depuis longtemps dans les montagnes sont les premiers témoins des changements des dernières années qui s'opèrent dans le paysage. Par exemple, Bury *et al.* (2011) ont rapporté les perceptions des habitants de Yanamaray dans les Andes qui vivent la disparition des glaciers de leur région. Les citoyens racontent que les montagnes étaient blanches autrefois, mais qu'elles noircissent maintenant d'année en année puisque la roche se retrouve découverte. Pour eux, le recul des glaciers est « strong and obvious »² (Bury *et al.*, 2011, p. 195). Postigo (2014) rapporte que des éleveurs âgés d'un village péruvien se souviennent du temps où l'extrémité d'un glacier se rendait jusqu'à leur hutte. Maintenant, les glaciers se sont retirés à haute élévation et les éleveurs se plaignent d'avoir perdu des terres humides utiles aux besoins du bétail. De la même manière, Byg & Salick (2009) ont interrogé les habitants de six villages tibétains et la presque totalité des villageois dit avoir remarqué une diminution de la taille des glaciers. Un homme note au passage que: « The mountains are not as beautiful anymore, and they do not protect people as they used to »³ (Byg & Salick, 2009, p. 165).

2.2.2 Perte de masse prévue

Dans l'avenir, la vitesse de recul des glaciers dépendra de la force des pressions qui sont responsables de leur fonte (voir section 2.1). La figure 2.3 modifiée de GIEC (2019) montre l'évolution projetée de la perte de masse des glaciers des régions à l'étude selon différents modèles climatiques.

² Fort et évident (traduction libre)

³ Les montagnes ne sont plus aussi belles qu'avant, et elles ne protègent plus la population comme elles le faisaient auparavant. (traduction libre)

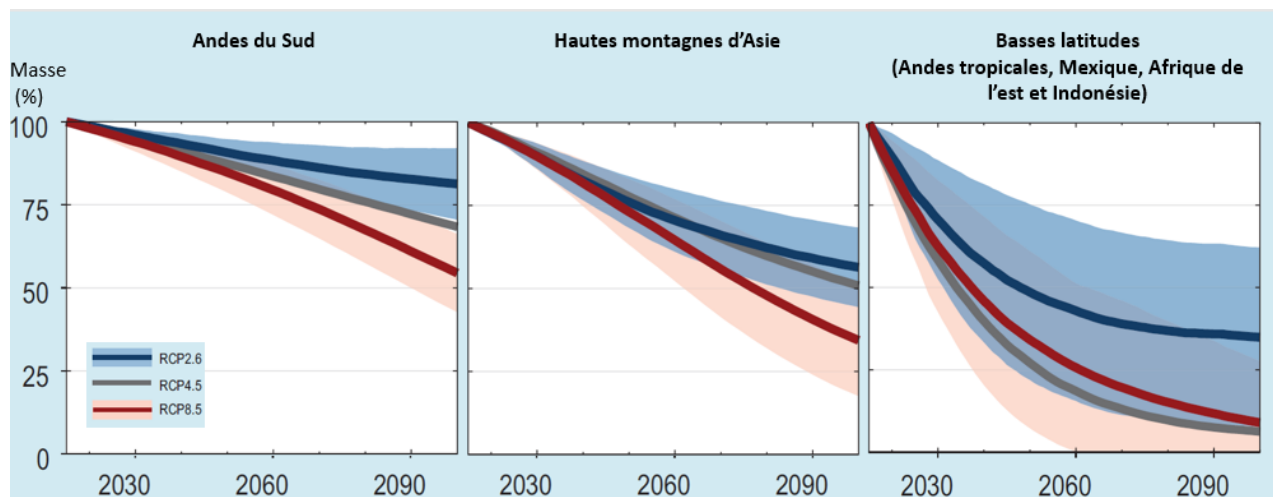


Figure 2.3 Évolution projetée de la masse des glaciers entre 2015 et 2100 relativement à leur masse en 2015 (100%). Les projections sont basées sur les scénarios RCP du GIEC. Les lignes épaisses représentent la moyenne de 46 à 88 projections basées sur quatre à six modèles. La région ombragée correspond à ± 1 écart-type.

Modifié de : GIEC (2019), p.144

Traduction libre

On observe que, malgré l'incertitude du graphique des basses latitudes due en partie au nombre de régions considérées, la masse des glaciers des Andes tropicales devrait continuer de diminuer beaucoup plus vite que celle des glaciers de l'HKH et des Andes du Sud. Il se dégage aussi que partout les glaciers pourraient perdre un important pourcentage de leur masse d'ici 2100.

2.2.3 Changements dans le cycle hydrologique

La conséquence la plus directe du recul des glaciers est la modification de leur apport à l'eau des rivières et donc de la perte de leur rôle régulateur. À mesure que la fonte des glaciers s'accélère, l'eau qu'ils libèrent est d'abord de plus en plus importante. Ensuite, il arrive un point critique où, après avoir atteint un maximum de ruissellement, les glaciers deviennent trop petits pour fournir la même quantité d'eau. À partir de ce moment, leur eau de ruissellement diminue jusqu'à ce que le glacier disparaisse. Une des différences majeures qui existe entre la situation de l'Hindou Kouch-Himalaya et celle des Andes est le stade du recul de leurs glaciers. Dans le cas des Andes tropicales, une étude de Huss & Hock (2018) montre que la majorité des glaciers auraient déjà atteint le point critique de leur eau de ruissellement et que l'eau qu'ils fournissent aux rivières serait donc déjà en train de diminuer depuis quelques années. En comparaison, dans l'HKH, les chercheurs prévoient que la plupart des glaciers atteindront ce seuil aux environs de 2050. Cela implique que l'eau de ruissellement des glaciers de l'HKH est présentement en augmentation. Pour ce qui est des Andes centrales, leur limite de basculement fait l'objet de moins

d'étude, mais Ragettli *et al.* (2016) prévoient qu'un glacier important de cette zone devrait l'atteindre vers 2030. Selon Huss & Hock (2018), dans le sud des Andes, le moment critique vers une diminution de l'eau de fonte est plutôt variable selon les glaciers, mais il semble que dans la majorité des cas, ce stade n'ait pas encore été atteint.

L'augmentation, puis la diminution de l'eau de fonte qui ruisselle par les rivières apportent des conséquences pour le socioécosystème. Ces répercussions sont discutées dans les sections suivantes. Dans chaque région, elles s'articulent de manière différente selon les facteurs socioéconomiques propres à chacune ainsi qu'en réponse à leurs particularités climatiques. Néanmoins, il est possible de retrouver des similarités dans la situation des deux socioécosystèmes qui permettront un partage des solutions créatives qui y sont appliquées pour assurer l'adaptation aux changements vécus et à venir.

2.3 Facteurs de stress pour les communautés

Les changements que subissent les glaciers ont des répercussions sur la vie des êtres vivants qui vivent à proximité. Dans plusieurs cas, le changement agit comme un agent stressant qui force les communautés à s'adapter pour survivre et pour retrouver leur équilibre au sein du socioécosystème. Plus rarement, il peut arriver que les nouvelles conditions représentent une opportunité dont quelques-uns arriveront à tirer profit. La présente section discute des diverses manifestations du stress auquel font face les populations locales et qui découlent du recul des glaciers.

2.3.1 Sécurité alimentaire et besoins en eau

Les communautés isolées à haute élévation sont les plus touchées par la modification de la contribution d'eau glaciaire aux rivières. Dans les Andes où la quantité d'eau disponible aux populations est déjà en baisse, certains villages peinent à accéder au minimum d'eau nécessaire à l'irrigation des cultures. Des municipalités ont réagi en imposant un rationnement de l'eau qui a eu comme conséquence de rendre impossible la production agricole en période sèche, fragilisant du même coup la sécurité alimentaire et économique des habitants (Bury *et al.*, 2011).

Pour ce qui est de l'Hindou Kouch-Himalaya, même si la diminution de la contribution de l'eau glaciaire aux rivières est prévue pour un futur un peu plus éloigné, après avoir dépassé le point critique de la fonte, la menace d'une baisse de disponibilité d'eau pèsera tout de même sur les populations. Immerzeel *et al.* (2010) ont estimé la modification du nombre de gens qui pourront être nourris grâce à l'eau des rivières de l'HKH dans le futur à partir des valeurs de modification du débit. Vers 2050, on observerait une

diminution de $34,5 \pm 6,5$ millions de personnes qui peuvent être nourries à travers l'utilisation de l'eau du Brahmapoutre, $26,3 \pm 3,0$ millions pour l'Indus, $7,1 \pm 1,3$ pour le Yangtsé et $2,4 \pm 0,2$ millions pour le Gange. La pratique de l'élevage aussi peut se retrouver affectée par le recul des glaciers. En effet, dans l'HKH comme dans les Andes, des milieux humides qui produisaient un fourrage riche se sont asséchés (Smadja *et al.*, 2015; Postigo, 2014).

Les impacts des changements dans la cryosphère sur l'agriculture et l'élevage s'ajoutent à l'effet plus direct des changements climatiques. Par exemple, en plus de l'augmentation de la demande pour la production alimentaire, les cultures elles-mêmes pourraient demander une plus grande quantité d'eau tandis que la température augmente et provoque plus d'évapotranspiration (Yu *et al.*, 2013). L'augmentation de la température pourrait aussi faire en sorte que les maladies du bétail se propagent plus rapidement et de nouveaux ravageurs pourraient apparaître (Skarbø et VanderMolen, 2016; Shaoliang *et al.*, 2012). En contrepartie, le réchauffement climatique peut offrir la possibilité aux communautés des montagnes d'étendre leurs cultures plus haut en altitude. Dans les Andes, les conditions devenues plus favorables en hauteur dans la montagne ont permis à certains de cultiver de nouvelles terres et de compenser les pertes de productivité observées en basse altitude (Skarbø & VanderMolen, 2016). Certaines cultures sont aussi plus productives avec un climat plus chaud tandis que d'autres nécessitent plus de périodes froides (Alfthan *et al.*, 2018; Schoolmeester *et al.*, 2016). Le résultat final du changement climatique sur la vie des agriculteurs dépendra de leur capacité à adapter leurs pratiques aux nouvelles conditions.

Finalement, il est essentiel de rappeler que le stress hydrique qui découle du recul des glaciers est surtout important en période de sécheresse. En effet, par le passé, les glaciers assuraient un débit minimal lorsque les précipitations étaient faibles, mais la réduction imminente de leur taille menace leur capacité de jouer ce rôle.

2.3.2 Écosystèmes

La section 1.3 établissait la connexion entre l'eau glaciaire et les écosystèmes de haute montagne. Dans un contexte où les glaciers subissent des modifications rapides, ces changements se répercutent dans l'environnement naturel (Milner *et al.*, 2017). Les écosystèmes aquatiques et humides sont les premiers touchés, car la modification de la contribution de l'eau glaciaire aux lacs, aux rivières et aux terres immergées change les conditions physico-chimiques du milieu (Milner *et al.*, 2017). La composition du reste des communautés végétales alpines peut aussi être altérée par une modification de l'humidité du sol occasionnée par un régime de fonte nouveau (Winkler *et al.*, 2018). De plus, le recul des glaciers permet

la colonisation de nouveaux habitats par les plantes (Morueta-Holme *et al.*, 2015). Zimmer *et al.* (2018) ont étudié la succession dans les Andes dans le contexte des changements climatiques. Ils remarquent qu'il se produit un décalage entre la vitesse rapide des changements qui génèrent de nouveaux habitats disponibles et les contraintes de la dispersion des différentes plantes des alentours. Il résulte de ce processus une altération des communautés alpines. La fonte des glaciers peut aussi mener à la formation ou à l'agrandissement de lacs qui pourront abriter la faune et la flore aquatique (Raina & Petr, 1999). L'apport de cette eau est alors temporaire puisque les glaciers devraient éventuellement passer le point de basculement où leur eau de fonte commence à diminuer. Le Bhoutan offre un exemple de ces changements de l'écosystème. En effet, une augmentation de la croissance de la végétation alpine a été observée au fil du réchauffement climatique. Cette situation pourrait contribuer à réduire l'érosion du sol et à améliorer la capacité d'emmagasinement d'eau du sol. Toutefois, il est aussi observé que les arbustes se répandent rapidement et empiètent sur les prairies herbacées ce qui peut compliquer la tâche des éleveurs qui les utilisent (Wangchuk & Wangdi, 2018). De la même manière, en Bolivie, les *bofedales* du parc national de Samaja montrent des signes de dégradation tandis que les juncacées typiques de ces milieux sont peu à peu remplacées par des poacées en réponse aux changements hydrologiques (Yager *et al.*, 2019). En conséquence, les activités pastorales sont affectées. Ces deux exemples illustrent comment les modifications dans les dynamiques glaciaires peuvent modifier les milieux naturels et les services écosystémiques qu'ils prodiguent.

2.3.3 Risque de vidange brutale des lacs glaciaires

Lorsque les glaciers se retirent, il peut arriver qu'ils laissent derrière eux un lac composé de l'eau de fonte. Souvent, ce lac est retenu par une moraine, c'est-à-dire un amas de débris rocheux qui avait été poussé par le glacier durant son avancée. Puisque la moraine est faite de sol friable et instable, il y a un risque qu'elle cède et que le lac glaciaire se déverse abruptement. Ces événements de vidange brutale de lac glaciaire (VBLG) peuvent être dévastateurs pour les peuplements en aval. En effet, ils peuvent causer la destruction de maisons, d'infrastructures hydroélectriques et de terres agricoles (Bajracharya et Mool, 2009). Dans l'HKH, Lutz *et al.* (2015) ont rassemblé une sélection d'études sur les lacs glaciaires et identifient un total de 204 lacs potentiellement dangereux sur les 8790 qui se trouvent dans la région. La menace des VBLG est aussi présente dans les Andes où les glaciers sont en recul depuis longtemps et ont laissé derrière eux des lacs glaciaires instables. Par exemple, Cook *et al.* (2016) ont identifié 25 lacs dans les Andes boliviennes qui pourraient potentiellement mettre en péril la sécurité de milliers d'habitants de

la région. Des événements de VBLG récents ont aussi été rapportés dans le reste des Andes tropicales, dans les Andes centrales et en Patagonie (Vilímek *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2018; Harrison *et al.*, 2006). L'accélération de la fonte fait augmenter le nombre et la grandeur des lacs glaciaires ce qui accroît le risque de VBLG (Bajracharya *et al.*, 2007). Bajracharya *et al.* (2008) estiment qu'un VBLG se produit une fois tous les 3 à 10 ans dans l'Himalaya, mais cette fréquence pourrait augmenter au fil du recul des glaciers (Bajracharya & Mool, 2009).

2.3.4 Économie

La section 1.5 accorde beaucoup d'importance à l'hydroélectricité qui a appuyé le développement des pays de l'Hindou Kouch-Himalaya et des Andes, mais qui est à la fois une source d'inquiétude pour les locaux. L'incertitude qui pèse dans ce sujet risque d'être amplifié par les changements à venir dans la dynamique des glaciers. Le débit de l'eau des rivières, dont une partie dépend de la fonte des glaciers, est influencé par les changements climatiques. Tel que présenté dans la section 2.1, pour certains bassins versants, l'eau devrait augmenter pendant encore plusieurs années, tandis que pour d'autres, elle est sur le point de diminuer et dans certains cas, les cours d'eau s'assèchent depuis déjà longtemps. Dans ce contexte, l'investissement en hydroélectricité dépend de la capacité à prédire les changements à venir (Lutz *et al.*, 2016). Aussi, l'augmentation de la probabilité et de la gravité d'événements extrêmes, entre autres les VBLG, sont des menaces pour les infrastructures hydroélectriques comme les centrales, les barrages, les routes et les lignes de transmission (Lutz *et al.*, 2016).

De plus, le recul des glaciers peut avoir un impact sur l'économie locale à travers les problèmes qu'il engendre pour le tourisme. En effet les glaciers sont l'attraction principale de certaines régions et constituent une source de revenus pour les communautés locales qui procurent des services de guide, des repas et de l'artisanat aux touristes. Dans les Andes, où les glaciers ont atteint un stade de recul avancé, les opportunités touristiques diminuent. Par exemple, dans la Cordillera Blanca au Pérou, l'accès au glacier Pastoruri a été fermé en 2007 afin de limiter la dégradation de sa surface par les touristes, ce qui accélérerait la fonte (Bury *et al.*, 2011). Cet événement a eu comme conséquence de couper une importante source de revenus pour les habitants de la région. En Bolivie, le glacier Chacaltaya était une destination touristique très prisée depuis l'ouverture de sa station de ski en 1939. La fonte rapide du glacier dans les années 80 et sa disparition complète en 2009 ont forcé l'industrie à adapter son offre touristique (Kaenzig *et al.*, 2016). En Chine, la fonte du glacier Baishui No. 1 menace de diminuer la valeur esthétique du paysage, ce qui réduit les ressources touristiques (Wang *et al.*, 2010). Au Népal, les activités touristiques qui utilisent

les rivières, par exemple le rafting, pourraient être affectées par la modification des débits d'eau (Nyaupane & Chhetri, 2009).

Au-delà des dommages directs à l'économie qui découlent du recul des glaciers, il faut aussi compter le coût de toutes les mesures qui devront être mises en place pour contrer l'effet des multiples agents stressants qu'affronte la population. Des solutions existent pour assurer l'adaptation des communautés, mais elles devront être appuyées par un financement suffisant.

2.3.5 Société et culture

La section 1.6 présentait comment des communautés des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya ont évolué en intégrant leur environnement et ses glaciers à leur société, à leur culture et à leur spiritualité. Dans ce contexte, les changements que subissent les glaciers peuvent avoir une conséquence directe sur le mode de vie, les rites et l'identité des habitants. Pour reprendre les exemples de la section 1.6, les résidents de Cotacachi racontent de nouvelles histoires qui font intervenir la personnalité des montagnes pour expliquer leur imminente disparition (Rhoades *et al.*, 2008). Au Pérou, les quechuas qui effectuaient le pèlerinage au bassin glacial de Sinakara et avaient la tradition de ramener des blocs de glace pour en partager les effets curatifs ont constaté le recul rapide des glaciers. Depuis, ils ont mis fin à cette pratique et ont même assigné des gardes qui empêchent la population de rapporter des morceaux de glacier pour éviter d'accélérer leur disparition. De ce fait, Allison (2015) rapporte que le déséquilibre du climat a mené à une inversion de la relation entre ce peuple et les glaciers de leur région ; les habitants sont passés de dévots implorant la bénédiction de puissants esprits des montagnes aux soignants de divinités moribondes. Il existe des communautés dans les Andes qui vivent à une proximité telle des glaciers qu'ils ne peuvent s'imaginer survivre sans leur présence. Dans le village de Pinchollo au Pérou, par exemple, une grande partie de l'eau provient de la fonte et les habitants en remercient le protecteur de leur montagne, leur *Apu*. Stensrud (2016) rapporte les préoccupations d'un ancien de la communauté qui constate les changements de son milieu : « If the glacier disappears, there is no life anymore; there is no village anymore. The mountain supports us »⁴ (Stensrud, 2016, p. 77). Les problématiques de pénuries d'eau qui ont émergées dans les dernières années modifient le rapport des communautés à l'eau qui était auparavant une ressource intarissable ou du moins qui se rendait disponible si les rituels appropriés étaient observés. Dans des villages des Andes, les autorités doivent maintenant calculer l'utilisation d'eau

⁴ Si les glaciers disparaissent, il n'y a plus de vie; il n'y a plus de village. La montagne nous supporte (traduction libre)

(et s'équiper technologiquement en conséquence) pour pouvoir la répartir (Stensrud, 2016). Les habitants doivent aussi faire valoir leurs intérêts face à celui des compagnies, souvent étrangères, qui installent dans la région des industries qui nécessitent beaucoup d'eau (Stensrud, 2016).

Les croyances des habitants de l'Hindou Kouch-Himalaya sont aussi ébranlées à la suite des changements dans l'environnement glaciaire. Par exemple, les villages près du mont Kawakarpo en Chine s'inquiètent du recul rapide de leur glacier et cherchent des explications. Une personnalité religieuse importante de la région pointe du doigt les étrangers qui visitent les sites sacrés sans montrer le respect et l'humilité nécessaire (Allison, 2015). En Inde, le débit de l'eau du Gange a changé dans les dernières années et il pourrait diminuer si la tendance de recul des glaciers se poursuit. Pour les habitants qui participent à la pratique millénaire de se purifier dans la rivière, la perspective de ne plus pouvoir s'y baigner comme autrefois inquiète (Drew, 2011). Certains refusent d'admettre que le fleuve sacré puisse être influencé par des conditions environnementales changeantes et font remarquer que si le Gange devait arrêter de couler, ce serait l'annonce de la fin du monde (Drew, 2011).

Au niveau de la société, à mesure que les conditions agricoles sont modifiées, de même le sont les relations sociales qui ont été tissées autour du mode de vie rural. Par exemple, en Bolivie, un système de troc s'était établi entre les membres de communautés autochtones de basses et de hautes altitudes qui produisaient chacune des aliments adaptés aux conditions de leur élévation (McDowell & Hess, 2012). Les changements récents du climat ont poussé certains à abandonner cette pratique tandis que d'autres y accordent une importance accrue (McDowell & Hess, 2012). Dans les endroits où la fonte des glaciers a diminué la productivité des récoltes, on observe des mouvements d'émigration des habitants qui vont chercher ailleurs de meilleures conditions (Brandt *et al.*, 2016; Prasain, 2018). Plusieurs se rendent vers les villes et délaissent le mode de vie rural qui, pour les plus jeunes, est devenu synonyme de pauvreté (Alata *et al.*, 2018). Ces déplacements modifient la démographie des peuples des montagnes.

Ces exemples de changements socioculturels et de remodelage des croyances ne sont pas que des réponses aux modifications de l'environnement. Ils ont aussi été accélérés entre autres par la mondialisation, les nouvelles technologies, les médias et le tourisme (Wang *et al.*, 2019). En effet, les composantes du socioécosystème sont liées entre elles par de multiples interactions et les forces de changement ne se résument pas aux seuls agents environnementaux. La prochaine section propose d'examiner comment le contexte socioéconomique et politique module la réponse au changement des communautés des deux régions à l'étude par une description des facteurs qui interviennent dans la capacité d'adaptation.

2.4 Facteurs de vulnérabilité

Les sections précédentes présentent comment les modifications dans la dynamique des glaciers forcent les membres du socioécosystème à s'adapter pour éviter de subir des dommages ou pour arriver à tirer profit d'opportunités nouvelles. Toutefois, certains facteurs sociaux, économiques et politiques font obstacle à une réponse adéquate des communautés humaines et les rendent vulnérables aux pressions des agents stressants. La présente section aborde comment les conditions particulières des habitants de l'Hindou Kouch-Himalaya et des Andes peuvent limiter leur capacité d'adaptation au recul des glaciers.

2.4.1 Ressources individuelles

Un des éléments déterminants qui permet l'adaptation des communautés est l'accès aux ressources qui permettent de répondre au changement. Dans le cas contraire où la population dispose de peu de moyens pour faire face à de nouvelles conditions, elle se retrouve exposée à subir des dommages.

En Asie du Sud, là où se trouve l'Hindou Kouch-Himalaya, le tiers de la population vit dans la pauvreté (Ahmed & Suphachalasai, 2014). Certains pays ont connu un développement économique fulgurant dans les dernières années, mais souvent, les régions montagneuses sont laissées derrière et profitent peu des retombées (Gerlitz *et al.*, 2012). Ainsi, des inégalités économiques se creusent entre les habitants des montagnes et ceux des basses terres. Cette situation a cours aussi dans les Andes où l'on retrouve plusieurs villages qui vivent dans la pauvreté extrême (McDowell & Hess, 2012; Bury *et al.*, 2011). En outre, on remarque que les communautés autochtones et les minorités religieuses, dont plusieurs vivent dans les montagnes, bénéficient de moins de privilèges économiques que les populations urbaines et majoritaires (Gerlitz *et al.*, 2012). En Bolivie par exemple, l'exclusion intentionnelle des groupes autochtones de la vie bureaucratique a fait en sorte que plusieurs ne possèdent pas de papiers d'identité ni de titres de propriété (McDowell & Hess, 2012). De ce fait, ils ne peuvent pas obtenir de prêts à la banque et avoir les mêmes opportunités économiques que les autres.

Un autre facteur déterminant dans l'incapacité adaptative est l'inégalité des genres. En effet, dans la majorité des sociétés du monde, le genre joue un rôle dans le pouvoir et l'accès aux ressources. Dans cette dynamique, les femmes en milieu rural sont le groupe le plus pauvre, et avec le plus faible taux de scolarisation (FAO, 2012). Resurrección *et al.* (2019) ont étudié la situation des femmes dans les pays de l'HKH et concluent qu'elles sont affectées de manière disproportionnée par les changements climatiques. Les chercheuses expliquent cette différence par la persistance de normes socioculturelles qui font perdurer la distribution inégale des droits, des ressources et du pouvoir. Par exemple, dans les villages de

la région du Sikkim au nord de l'Inde, les filles doivent prioriser les tâches ménagères avant leur éducation et lorsqu'une crise sévit, elles sont les premières à être retirées de l'école pour aider le foyer (Barua *et al.*, 2014). Les barrières du patriarcat se font aussi sentir dans les Andes. Par exemple, Gray (2010) a conduit des recherches sur les relations entre la migration et le genre dans les montagnes équatoriennes et note que dans la région étudiée, les femmes ne sont presque pas représentées au sein des preneurs de décision et que très peu d'entre elles effectuent un travail rémunéré ce qui est pourtant le cas de la moitié des hommes.

L'augmentation de la population ajoute aussi une pression sur le mode de vie rural pratiqué en montagne puisque la superficie de terre n'est pas illimitée. Cela force la nouvelle génération des habitants de l'HKH à chercher du travail rémunéré au lieu de poursuivre les activités agricoles familiales (Wang *et al.*, 2019). Souvent, les emplois disponibles pour ces migrants n'offrent pas de bons salaires (Hoermann & Kollmair, 2009). Cette même problématique a cours dans les Andes. Par exemple, au Pérou et en Bolivie, les coutumes d'héritage des terres ont mené à leur fragmentation puisqu'à la mort du père, les enfants se séparent la terre équitablement (López-i-Gelats, 2015; McDowell & Hess, 2012). Ils se retrouvent donc avec une terre toujours plus petite au fil des générations et il devient difficile d'y nourrir une famille. L'écosystème aussi subit une pression à la suite de la densification de l'usage des terres puisqu'elle mène souvent au surpâturage (Mishra *et al.*, 2001).

Les terres agricoles montrent également des signes de dégradation découlant de l'intensification des activités humaines. Par exemple, les plaines irriguées par l'eau des rivières de l'HKH se sont rapidement développées au cours des dernières années pour répondre à la demande croissante en nourriture de la région (Aggarwal *et al.*, 2004). Cette amplification de la production a mené à un appauvrissement des sols qui nécessitent toujours un plus grand ajout de fertilisant. De plus, des pratiques non durables d'irrigation ont mené à la salinisation de la terre (Aggarwal *et al.*, 2004). Aussi, la montée de l'agriculture de masse a eu comme conséquence de réduire la diversité génétique des cultures ce qui à court terme a permis d'augmenter le rendement, mais qui diminue la résilience des cultures puisque des variétés mieux adaptées aux changements sont perdues. (Aggarwal *et al.*, 2004). Ces conditions fragilisent le système agricole de l'HKH et cette vulnérabilité laisse moins de marge de manœuvre pour l'adaptation aux changements climatiques à venir qui modifieront la température, les précipitations et le débit d'eau des rivières. De même, la transition des cultures de subsistance vers les cultures commerciales rend les producteurs vulnérables à la variabilité du marché. Ce même phénomène est observé dans les Andes (McDowell & Hess, 2012).

2.4.2 Ressources collectives

En plus des ressources individuelles qui ne sont pas toujours suffisantes pour assurer la résilience, il arrive que les installations et équipements de la collectivité qui pourraient soutenir l'adaptation manquent. Dans certaines régions, en Bolivie par exemple, les écoles rurales sont de piètre qualité. Les cours sont souvent en espagnol et les ressources pour aider à l'apprentissage des élèves de langue autochtone sont insuffisantes (McDowell & Hess, 2012). La corruption peut aussi affaiblir la capacité des communautés à s'adapter au changement puisqu'il arrive que les fonds qui devaient servir à construire et réparer les infrastructures indispensables comme les routes, les ponts et les installations d'eau potable soient détournés (McDowell & Hess, 2012). D'ailleurs, la difficulté de construire des routes en montagne et le risque élevé de catastrophe naturelle qui les fragilisent ont fait en sorte que les communautés de l'HKH se retrouvent isolées des centres urbains et des autres villages (Jodha, 2005). D'un côté cet isolement peut agir comme une protection contre les problèmes qu'amène la mondialisation croissante, mais de l'autre côté, il empêche de tirer profit de ses retombées positives et peut limiter les possibilités d'adaptation.

Ensuite, l'Hindou Kouch-Himalaya comporte plusieurs régions où des conflits ont fragilisé les populations. Par exemple, il se trouve le Kashmir où s'affrontent l'Inde et le Pakistan pour le contrôle de la zone et le Tibet où l'envahissement par la Chine en 1949 a laissé plusieurs séquelles (Mohan, 1992; Human Rights Watch, 2010). De leur côté, les Andes se retrouvent au centre de pays qui ont connu plusieurs périodes d'instabilité politique qui ont restreint les possibilités de développer des institutions solides capables de supporter adéquatement les populations (Solimano, 2005).

Pour finir, dans certaines régions de l'Hindou Kouch-Himalaya, les inondations ont forcé des familles à quitter leur foyer et à s'établir dans des villages voisins. Ce phénomène ajoute de la pression sur les services de base des municipalités qui ne sont pas nécessairement équipés pour les accueillir et souvent, les nouveaux arrivants n'ont pas de quoi s'établir de façon permanente (Mallick *et al.*, 2019). Ainsi ils se retrouvent encore une fois vulnérables aux événements climatiques extrêmes.

2.4.3 Gouvernance

La question de la gouvernance de l'eau et du milieu naturel est centrale dans la discussion des facteurs qui influencent les capacités d'adaptation. Même dans les régions qui ne connaissent pas une diminution des ressources en eau, si cette eau n'est pas bien répartie, une partie de la population peut tout de même en manquer (Biggs *et al.*, 2013).

Ojha *et al.* (2019) remarquent que dans l'HKH, malgré des efforts récents pour impliquer les localités dans le processus décisionnel, la majorité de la gouvernance environnementale est centralisée. Cette situation met de l'avant des solutions du haut vers le bas qui ne sont pas nécessairement adaptées aux besoins particuliers des habitants des montagnes. Les auteurs relèvent des facteurs qui rendent difficile l'atteinte d'une gouvernance juste du milieu naturel. D'abord, les communautés des montagnes sont loin des centres où se prennent les décisions, ce qui fait qu'elles ne disposent pas toujours d'une représentation suffisante pour faire valoir leurs intérêts. Ensuite, la diversité ethnique et culturelle rend difficile la formulation de politiques consensuelles. De plus, la chaîne de montagnes est située à la frontière de plusieurs pays et provinces ce qui complique l'application de mesures qui touchent les ressources naturelles transfrontalières (Shrestha & Ghatte, 2016). Finalement, la propriété des terres sur lesquelles habitent les citoyens n'est pas toujours bien encadrée légalement et peut être la source de conflits (Ojha *et al.*, 2019). Par exemple, en Afghanistan les institutions ont été affaiblies par de nombreuses années de guerre et peinent à gérer adéquatement l'utilisation des ressources en eau (Ojha, 2019). Dans ce même ordre d'idée, le Bhoutan manque de ressources humaines pour assurer une bonne coordination des différents paliers de gouvernements et cela se répercute dans la gestion de l'eau. Le manque de coordination est une problématique vécue par la plupart des pays de l'HKH, surtout en ce qui a trait au partage des responsabilités et des bénéfices entre les communautés en aval et celles en amont (Shrestha & Ghatte, 2016).

Les difficultés de la gestion de l'eau peuvent être accentuées par l'arrivée d'entreprises étrangères dans la région. Dans les Andes, les compagnies minières sont devenues des acteurs majeurs dans les décisions concernant l'utilisation de la ressource hydrique. Dans certaines localités elles sont même devenues les responsables de son allocation à la population (Sosa & Zwarteveen, 2012). De la même manière, le développement touristique de l'HKH soulève des préoccupations quant au partage juste de l'eau (Cole & Sinclair, 2002).

En résumé, les conséquences du recul des glaciers font intervenir une foule de facteurs sociaux, économiques et politiques qui déterminent les possibilités de réponse des populations. Maintenant que le portrait de la situation est brossé, il convient d'orienter la discussion vers les solutions qui permettraient aux socioécosystèmes des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya de poursuivre une transition harmonieuse vers un nouvel état d'équilibre.

CHAPITRE 3

Évaluation de l'utilité de mesures d'adaptation

Afin de faire face à la fonte des glaciers qui s'ajoute aux difficultés de situations socio-économiques précaires, les communautés humaines des Andes et de l'Himalaya ont mis en place des actions pour s'adapter aux conditions changeantes. La définition de l'adaptation aux changements climatiques qui guide cet essai est celle de Moser & Ekstrom (2010) :

« Adaptation involves changes in social-ecological systems in response to actual and expected impacts of climate change in the context of interacting nonclimatic changes. Adaptation strategies and actions can range from short-term coping to longer-term, deeper transformations, aim to meet more than climate change goals alone, and may or may not succeed in moderating harm or exploiting beneficial opportunities. » (Moser & Ekstrom, 2010, p. 22026).⁵

Cette définition est préférée à celle du GIEC car il s'agit de celle utilisée par les travaux de McDowell *et al.* (2019) sur lesquels la méthodologie des chapitres 3 et 4 est basée. Aussi, cette définition fait intervenir le concept de système socio-écologique qui est la ligne directrice de l'essai. L'adaptation en tant que réponse à des pressions qui interagissent entre elles et qui ne sont pas seulement climatiques permet d'élargir l'éventail de solutions possibles pour améliorer les conditions du socioécosystème.

Dans son rapport spécial sur les océans et la cryosphère, le GIEC (2019) reconnaît que la recherche sur l'adaptation en haute montagne glaciaire est un domaine relativement nouveau et qu'il y a des manques d'information à combler. Notamment, le transfert de connaissances entre les régions se fait rare. Pourtant, les communautés et les organismes qui les soutiennent travaillent depuis plusieurs années à trouver des solutions ingénieuses pour réduire les dommages et profiter de nouvelles opportunités face à l'accélération de la fonte des glaciers. Dans l'intention de contribuer à combler ce manque de partage du savoir, les chapitres 3 et 4 se veulent un premier pas dans la mise en lumière de bonnes pratiques appliquées dans la cordillère des Andes et dans les chaînes Hindou Kouch et Himalaya et dans la recherche d'éléments intéressants qui pourraient être exportés.

⁵ L'adaptation implique des changements dans les systèmes socio-écologiques en réponse aux impacts actuels et attendus du changement climatique dans un contexte d'interaction avec des changements non climatiques. Les stratégies et les actions d'adaptation peuvent aller de l'adaptation à court terme à des transformations plus profondes et à plus long terme. Elles visent à atteindre plus que les seuls objectifs du changement climatique et peuvent ou non réussir à modérer les dommages ou à exploiter les opportunités bénéfiques (traduction libre).

Ce travail reprend la base de données de McDowell *et al.* (2019), qui ont extrait des mesures d'adaptation de la littérature sur les chaînes de montagnes du monde. À partir de ces informations, une évaluation superficielle fait ressortir un ensemble d'initiatives qui présentent des caractéristiques avantageuses en appliquant une grille d'évaluation multicritère inspirée de l'index IUPA développé par Debels *et al.* (2009). Le chapitre 3 présente en détail la méthodologie appliquée pour réaliser cet exercice et le chapitre 4 discute des mesures mises de l'avant par l'évaluation et des leçons qu'il est possible d'en tirer dans l'espoir d'augmenter la capacité adaptative des peuples des Andes comme de l'Hindou Kouch-Himalaya.

3.1 Méthode

3.1.1 Extraction de mesures d'adaptation

McDowell *et al.* (2019) ont effectué une revue de littérature systématique des actions d'adaptation observées dans les montagnes glaciaires du monde. Y sont incluses toutes les publications parues entre juin 1992 et décembre 2017 dans les journaux scientifiques révisés par les pairs et dans la littérature grise qui font référence aux changements climatiques, à l'adaptation et aux glaciers. Après l'application de critères d'exclusion précis sur les 5646 documents initialement sortis des moteurs de recherche, l'équipe de McDowell a rassemblé 170 publications à analyser dans leurs travaux. De ces textes, les chercheurs ont extrait plusieurs informations au sujet des méthodes d'adaptation à l'aide d'un questionnaire de trente questions. Les résultats de cette analyse sont rassemblés dans une table Excel où sont documentées 690 mesures d'adaptation aux effets des changements climatiques mises en place par divers acteurs à travers le monde. La base de données de McDowell et collaborateurs est utilisée dans cet essai pour la recherche de mesure qui suivent les bonnes pratiques dans les Andes et dans l'HKH et qui pourront alimenter la discussion sur un possible transfert des connaissances d'une région à l'autre⁶.

Les 690 mesures ont été filtrées pour ne garder que celles qui concernent le sujet de l'essai : l'adaptation à la fonte des glaciers dans les Andes et dans l'HKH. Le tableau 3.1 résume le filtrage des documents de référence et des mesures qu'elles contiennent. D'abord, à partir des 170 documents contenus dans l'étude de McDowell et collaborateurs, 125 sont conservées puisqu'elles proviennent des régions à l'étude dans l'essai. Ensuite, dans le but de cadrer l'évaluation autour du thème de l'essai, seules les mesures qui répondent aux changements dans les glaciers ou dans la couverture de neige sont gardées. En plus, afin

⁶ La base de données est sous licence CC-BY-NC 3.0 ce qui permet de la modifier et de construire à partir de son matériel. Le crédit de l'extraction des mesures et de leur première évaluation revient entièrement à McDowell et son équipe et le présent essai n'est pas endossé par les chercheurs. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>

d'inclure aussi le sujet de la vidange brutale des lacs glaciaires, les mesures répondant aux événements extrêmes en rapport à l'hydrologie font aussi partie de l'analyse de l'essai. Cette élimination est basée sur l'information extraite par les auteurs au sujet des causes climatiques qui ont motivé chaque réponse adaptative. Finalement, neuf documents ont été retirés de l'évaluation pour des raisons diverses; par exemple, certaines étaient de moins bonne qualité selon McDowell *et al.* (2019) et d'autres étaient introuvables. À la suite de ce processus d'exclusion, une table Excel de 397 mesures contenues dans 99 documents a été constituée en conservant les informations originales des auteurs sous une nouvelle structure.

Tableau 3.1 Résumé du tri des mesures

Étape d'exclusion	Mesures restantes	
Base de données de McDowell <i>et al.</i> (2019)	170 documents 690 mesures	
Chaîne de montagne	Andes	HKH
Seulement les régions à l'étude	63 documents	62 documents
	229 mesures	291 mesures
Lien avec les glaciers	61 documents	47 documents
	215 mesures	199 mesures
Autres raisons (ex. : qualité)	55 documents	44 documents
	202 mesures	195 mesures

3.1.2 Évaluation des mesures

L'objectif des chapitres 3 et 4 étant de mettre en lumière des mesures d'adaptation prometteuses pour faire face à la fonte des glaciers, une première évaluation sommaire de chacune des 397 actions est effectuée. La méthodologie appliquée pour ce triage est inspirée de celle de l'Index d'Utilité des Pratiques d'Adaptation (IUPA) développé par Debels *et al.* (2009). Il s'agit d'une grille multicritère flexible qui permet d'obtenir une valeur unique pour chaque mesure qui peut ensuite être comparée. Dans l'application normale de la grille, l'évaluateur attribue à toutes les initiatives d'adaptation une note de 0 à 10 pour chaque critère selon le degré auquel elle y répond. Les notes de chaque critère sont ensuite multipliées par une valeur d'importance du critère établi préalablement par l'utilisateur. La dernière étape consiste à faire la somme des notes pondérées pour obtenir une valeur unique pour chaque mesure. L'avantage de

l'outil IUPA est qu'il propose, tout en permettant les modifications, un ensemble de critères reconnus par des experts de l'adaptation. Ainsi, la méthode développée par Debels *et al.* (2009) permet une évaluation rapide d'actions d'adaptation qui peut être une première étape pour faire ressortir des mesures à haut potentiel. Dans cet objectif, la méthodologie appliquée ici s'inspire de l'IUPA pour effectuer un criblage d'un grand nombre de mesures et ainsi attirer l'attention sur un sous-ensemble qui présente des caractéristiques intéressantes à reproduire ailleurs. L'idée générale d'attribuer une note unique à chaque mesure est conservée, mais puisque le but est principalement de mettre en lumière des mesures aux retombées bénéfiques et non d'évaluer précisément l'ensemble des mesures, la méthode est grandement simplifiée. Ainsi, la majorité des critères de l'IUPA sont repris tels quels, mais ils ont tous le même poids et le score à attribuer ne peut être que 1 ou 0 (les quatre derniers critères font exception à cette règle) selon si la mesure remplit ou non le critère. Cette simplification est nécessaire dans le contexte où les 397 mesures proviennent de 99 sources différentes, qui ne contiennent pas toutes la même quantité d'information au sujet de la pratique d'adaptation extraite. Dans le cas où ces informations sont peu abondantes, l'évaluateur ne peut faire une appréciation complète de la mesure. L'attribution d'un score binaire permet de contourner ce problème puisque l'évaluateur s'en remet aux chercheurs qui ont décrit la mesure. S'il y a mention dans le texte de référence de la satisfaction du critère, un point est attribué à la mesure pour ce critère. Si au contraire, il n'y a aucune description de la mesure qui permet de croire qu'elle satisfait à un critère, cette dernière ne reçoit aucun point. À travers ce processus, les mesures qui sont les plus amplement détaillées dans le texte de référence auront plus de chance d'obtenir des points tandis que celles qui sont abordées en surface seulement auront de la difficulté à satisfaire aux critères. Le résultat de ce processus de criblage donne un ensemble de mesures dont les retombées sont intéressantes et qui sont suffisamment détaillées dans le document source. Cet assortiment d'idées innovatrices pour faire face à la fonte des glaciers dans les Andes et dans l'HKH permettra d'en tirer des leçons et d'entamer une réflexion sur la possibilité de les reproduire dans l'autre chaîne de montagnes. La figure 3.1 montre la grille multicritère utilisée pour l'évaluation des mesures.

Enregistrement automatique Évaluation des mesures d'adaptation Recherche Benjamin Labbé

Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage Aide Partager Commentaires

Coller Calibri (Body) 12 A⁺ A⁻ Standard Mise en forme conditionnelle Insérer Supprimer Format

Police Alignement Nombre Styles Cellules Édition Idées Confidentialité

AM3

	D	E	G	AC	AK	AM	AN	AO	AP	AR	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BF
1		Renseignements				Évaluation																Total	
2	Mesures	Titre du document de référence	Auteur	Population vulnérable selon McDowell <i>et al.</i>	Effets de l'adaptation selon McDowell <i>et al.</i>	Réduction des dommages	Accès à de nouvelles opportunités	Retombées négatives au niveau social	Retombées négatives au niveau écologique	Faible coût	Flexibilité	Participation de la population cible et bon niveau d'autonomie de décision et d'action	Persistance des retombées du projet	Solution fondée sur la nature	Reproductibilité	Incorporation des savoirs locaux et/ou traditionnels	Accent mis sur les femmes autochtones	Accent mis sur la population autochtone	Accent mis sur les moins nantis et/ou les migrants	Renforcement de la coopération entre les parties prenantes	Intégration au sein des politiques en place		Commentaires
3	ADAPTs project (travail préparatoire)	A Stepwise, Participatory Ad	Lasage	8	8																	0	
4	Barrages de réservoir	A Stepwise, Participatory Ad	Lasage	8	1																	0	
5	Système d'irrigation goutte à goutte à faible coût	A Stepwise, Participatory Ad	Lasage	8	1																	0	
6	Changer la fréquence d'irrigation	A Stepwise, Participatory Ad	Lasage	8	7																	0	
7	Protéger les forêts en aval	A Stepwise, Participatory Ad	Lasage	8	7																	0	
8	Introduire des cultures plus économes en eau	A Stepwise, Participatory Ad	Lasage	8	2																	0	
9	Systèmes de récupération d'eau sur les toits	A Stepwise, Participatory Ad	Lasage	8	7																	0	
10	Changer pour des cultures commerciales	Accessing adaptation: Multi	McDow	4	2,4																	0	
11	Migrer vers les villages à proximité pour travailler	Accessing adaptation: Multi	McDow	4	2,4																	0	
12	Utiliser le système Ayni	Accessing adaptation: Multi	McDow	4	1																	0	
13	Pretarder la plantation jusqu'à ce que l'irrigation so	Accessing adaptation: Multi	McDow	4	7																	0	
14	Irrigation de nuit	Accessing adaptation: Multi	McDow	4	7																	0	
15	Évaluation participative de la vulnérabilité	Accessing adaptation: Multi	McDow	4	8																	0	
16	Diversification du bétail, de la terre et du travail av	Adaptation Strategies of An	Lopez-	4	2,4																	0	
17	Étendre la gestion du bétail avec le troc de viande	Adaptation Strategies of An	Lopez-	4	7																	0	
18	Déclaration de zones de sécheresse	Adaptive capacity in a Chile	Clarvis,	8	7																	0	
19	Fournir un financement et des subventions aux f	Adaptive capacity in a Chile	Clarvis,	8	7																	0	
20	Améliorer le système de données sur l'eau	Adaptive capacity in a Chile	Clarvis,	8	7																	0	
21	Le projet de construction de barrages Aconagua	Adaptive capacity in a Chile	Clarvis,	8	7																	0	
22	Transfert de Eau à l'Étude de particu	Adaptive capacity in a Chile	Clarvis,	8	7																	0	

Andes HKH 62%

Figure 3.1 Capture d'écran illustrant la table Excel conçue pour l'évaluation superficielle des mesures

3.2.3 Critères d'évaluation

La majorité des critères utilisés dans l'évaluation sont repris de l'IUPA tels quels ou en sont une modification. Le tableau 3.2 résume les changements mineurs qu'ils ont subis pour les adapter aux objectifs de l'étude. Ensuite, les lignes directrices suivies par l'évaluateur pour chaque critère sont expliquées dans cette section. Pour certains critères, comme l'accomplissement des objectifs, l'évaluateur se base directement sur l'information extraite par McDowell *et al.* (2019). Pour d'autres, comme ceux en rapport avec l'accent sur les populations vulnérables, l'évaluateur s'inspire de la classification de McDowell *et al.* (2019), mais il tire ses propres conclusions sur le degré de satisfaction des critères. Finalement, pour le reste des critères, l'évaluation relève seulement de l'évaluateur. Dans le cas de certains critères vagues pour lesquels une trop grande responsabilité d'interprétation n'est pas souhaitable, par exemple celui qui concerne le faible coût de la mesure, un point est attribué seulement si l'auteur du texte source fait référence explicitement au critère dans sa description. Dans le cas contraire où le critère s'appuie sur des concepts auxquels l'évaluateur peut s'accrocher, par exemple les solutions fondées sur la nature, le jugement de l'évaluateur peut permettre l'attribution d'un point même si la référence au critère est seulement implicite dans le document source.

Tableau 3.2 Critères utilisés dans l'évaluation et leur équivalent dans l'index IUPA de Debels *et al.* (2009)

Critères de l'IUPA ¹ (Debels <i>et al.</i> , 2009)	Critères modifiés pour le criblage des mesures dans les Andes et l'HKH	Points attribués
Coût total	Faible coût	+1
Flexibilité	Flexibilité	+1
Niveau d'autonomie	Participation de la population cible et bon niveau d'autonomie d'action et de décision	+1
Participation de la population cible		
Continuité dans le temps	Persistance des retombées du projet	+1
Niveau de protection environnementale	Solution fondée sur la nature	+1
Reproductibilité	Reproductibilité	+1
Incorporation de savoirs locaux et traditionnels	Incorporation des savoirs locaux ou traditionnels	+1
Attention accordée aux groupes vulnérables	Accent mis sur les femmes	+1
	Accent mis sur les communautés autochtones	+1
	Accent mis sur les moins nantis et les migrants	+1

Tableau 3.2 Critères utilisés dans l'évaluation et leur équivalent dans l'index IUPA de Debels *et al.* (2009) (suite)

Critères de l'IUPA ¹ (Debels <i>et al.</i> , 2009)	Critères modifiés pour le criblage des mesures dans les Andes et l'HKH	Points attribués
Intégration	Intégration au sein des politiques en place et collaboration avec projets similaires	+1
∅	Renforcement de la coopération entre les parties prenantes	+1
Accomplissement des objectifs	Réduction des dommages	+2
	Accès à de nouvelles opportunités	+2
	Retombées négatives au niveau social	-2
	Retombées négatives au niveau écologique	-2
Temps d'implantation	∅	∅
Proportion de bénéficiaires	∅	∅
Niveau de résilience	∅	∅

Faible coût

L'évaluation du coût des mesures d'adaptation figure au sein des critères de l'IUPA. Dans le cadre de la comparaison de mesures appliquées dans des localités aux multiples contextes socioéconomiques il n'est pas utile de tenter de fixer des indicateurs standardisés pour évaluer clairement le coût des actions adaptatives. Ici, l'évaluateur se contente de recenser si les auteurs qui décrivent la mesure font mention explicite d'une solution à faible coût pour ses bénéficiaires, auquel cas un point est attribué. Afin d'éviter une trop grande responsabilité d'interprétation pour l'évaluateur, lorsque le faible coût n'est pas mentionné dans le texte, aucun point n'est accordé.

Flexibilité

Ce critère fait référence à si la mesure peut être modifiée pour s'adapter à des conditions changeantes. Dans le contexte où le socioécosystème est un ensemble complexe qui peut réagir de multiples manières aux diverses pressions et même répondre de façon imprévisible à des tentatives d'adaptation, la flexibilité dans l'approche est indispensable. Seules les mesures décrites explicitement par les auteurs comme étant flexibles ou un synonyme reçoivent un point pour limiter l'interprétation subjective de l'évaluateur. Les actions qui sont décrites comme étant des mesures « sans regret » c'est-à-dire qui apportent des bénéfices même en l'absence de la fonte des glaciers sont aussi considérées comme étant flexibles.

Participation de la population cible et bon niveau d'autonomie d'action et de décision

Ce critère témoigne de l'implication des habitants exposés aux conséquences de la fonte des glaciers dans la mise en place et la prise en charge des mesures d'adaptation. L'engagement de la population dans la lutte aux changements climatiques avait déjà été reconnu comme nécessaire lors de la formulation de la convention-cadre sur les changements climatiques selon laquelle les parties doivent encourager : « La participation publique à l'examen des changements climatiques et de leurs effets et à la mise au point de mesures appropriées pour y faire face. » (Nations Unies, 1992, p.11). Depuis, plusieurs outils ont été développés pour inclure les communautés dans l'adaptation et les chercheurs travaillent à contourner les multiples défis que cela impose (Few *et al.*, 2007). En reconnaissance de l'importance de ce principe, il fait partie des critères de l'évaluation.

Pour ce qui est des idées qui viennent de l'extérieur de la communauté, par exemple celles qui sont formulées par des organisations internationales, des chercheurs ou des fonctionnaires, les habitants doivent avoir leur mot à dire dans la manière dont les mesures sont planifiées et implantées pour qu'un point soit attribué. Pour ce qui est des mesures imaginées et mises en place directement par la communauté, elles doivent être le résultat d'un effort d'adaptation commun et non d'une réponse spontanée des foyers ou des individus pour qu'un point soit accordé. Par exemple, un ensemble de familles qui migre pour échapper à la menace des inondations ne reçoit pas de point pour ce critère, tandis que l'attribution par le conseil du village de nouvelles terres hors de la zone inondable pour ces familles se mérite un point. Cette précision permet d'éviter de trop mettre de l'avant des mesures réactives et individuelles qui, sans être nécessairement moins efficaces, se prêtent moins bien à la reproduction dans d'autres contextes, ce que l'essai tente d'explorer.

Persistance des retombées du projet

Si le texte de référence mentionne que les mesures sont des solutions valables à long terme, un point est attribué. Cela est valide autant pour un projet de longue date dont les retombées sont évaluées que pour des mesures projetées, mais qui incorporent un élément de durabilité dans le temps dans la planification.

Solution fondée sur la nature

L'index IUPA propose un critère pour le niveau de protection environnemental de l'action d'adaptation. Ce critère a été modifié pour plus de clarté dans l'évaluation et pour mettre de l'avant une approche de plus en plus reconnue (Seddon *et al.*, 2020) pour ses bénéfices, les solutions fondées sur la nature. Selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) les solutions fondées sur la nature sont des :

« actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité». (UICN France, 2018, p.6).

À la différence des autres critères, l'attribution d'un point ne se limite pas à si les auteurs font mention explicite que la mesure répond au critère puisque le concept de solution fondée sur la nature est large et comprend plusieurs aspects auxquels les mesures peuvent toucher en partie. Dans ce sens, l'évaluateur interprète avec souplesse si la mesure se rapproche d'une approche basée sur la nature sans nécessairement satisfaire tous les principes de l'UICN. Par exemple, les mesures qui appliquent une restauration des écosystèmes, des infrastructures vertes, une gestion durable des ressources qui met l'accent sur la régénération naturelle ou les solutions intégratives qui prennent en compte la santé des milieux naturels tout en visant l'amélioration des conditions de vie humaines se voient attribuer un point.

Reproductibilité

Si le texte de référence décrit qu'il serait possible de reproduire la pratique dans d'autres contextes, la mesure se voit attribuer un point pour ce critère. Peu d'auteurs font mention de cette caractéristique, mais elle compte tout de même au sein des critères importants puisque sa présence dans le texte contribue directement à l'atteinte d'un des objectifs de l'essai qui tente de déceler des mesures potentielles à appliquer ailleurs.

Incorporation des savoirs locaux ou traditionnels

Ce critère provenant de IUPA est un thème qui reçoit de plus en plus d'attention des organisations qui œuvrent dans le domaine de l'adaptation (CCNUCC, 2013). Il s'agit de reconnaître que l'intérêt des scientifiques pour les changements climatiques ne date que de quelques dizaines d'années tandis que les communautés locales sont souvent restées à l'écoute des variations de leur environnement depuis des temps anciens et ont développé une grande quantité de connaissances à son sujet. Pour cette raison, si l'incorporation des savoirs locaux ou traditionnels est mentionnée dans le texte de référence ou si la mesure s'inspire clairement de pratiques qui viennent des générations précédentes, un point est attribué pour ce critère.

Accent mis sur les femmes

IUPA propose un critère pour l'attention accordée aux groupes vulnérables. Ils rassemblent dans cette catégorie : les femmes, les immigrants, les pauvres, les enfants et les personnes âgées. À cette liste pourraient aussi s'ajouter les populations autochtones. Ces groupes peuvent être victime de discrimination et d'un système qui les mets à l'écart, ce qui réduit leurs possibilités d'adaptation efficace

à la fonte des glaciers. Puisqu'il est possible pour un groupe d'entrer dans plusieurs catégories et ainsi de devoir affronter encore plus d'entraves à l'adaptation, le critère de vulnérabilité de l'IUPA est ici divisé en trois, dont un concerne les femmes. Cette manœuvre permet aussi d'accorder plus de points aux mesures qui considèrent les facteurs de vulnérabilité dans leur démarche. Ainsi, une action qui met l'accent sur les femmes autochtones moins nanties recevrait 3 points dans les critères de vulnérabilité. McDowell *et al.* (2019) avaient déjà extrait quelles populations vulnérables étaient adressées dans les documents. L'évaluateur s'est inspiré des conclusions de leur étude, mais, pour quelques mesures, son interprétation diverge de celle des auteurs. De ce fait, il s'est gardé la liberté d'attribuer sa propre note pour les critères de vulnérabilité puisqu'il ne vise pas le même objectif que les chercheurs dans son évaluation.

Accent mis sur les communautés autochtones

Les effets des changements climatiques représentent un grand risque pour plusieurs communautés autochtones qui peut être amplifié par le fait qu'ils ont depuis longtemps été marginalisés et défavorisés par les politiques nationales (Nilsson, 2008). Dans plusieurs cas, ils sont d'autant plus sensibles aux changements environnementaux par le lien culturel qui les unit au territoire. Cela dit, les peuples autochtones ne sont pas seulement vulnérables, ils sont aussi résilients et il y a beaucoup à apprendre de la manière dont ils ont réussi à faire face à l'adversité depuis tant de générations. Pour ces raisons, les mesures qui sont formulées spécifiquement pour ou par des communautés autochtones reçoivent un point pour ce critère.

Accent mis sur les moins nantis et les migrants

Le chapitre 2 comportait une section détaillant comment l'adaptation pouvait être limitée par un manque de ressources ou une répartition inégale des ressources. Les mesures qui accordent une attention particulière à la situation de ceux qui ont le moins de moyens matériels reçoivent un point.

Renforcement de la coopération entre les parties prenantes

Ce critère n'est pas dans l'ensemble de base de IUPA, mais Debels *et al.* (2009) le donnent en exemple d'un critère qui peut être ajouté par l'évaluateur. Puisqu'il a été démontré que les liens sociaux sont déterminants dans la capacité adaptative des communautés (Adger, 2010), le critère a été ajouté dans l'évaluation. Il est entendu par renforcement de la coopération, que la mesure permet à la communauté ou aux organisations qui y sont directement impliquées de consolider les liens qui existent entre ses membres d'une manière qui ajoute à la capacité adaptative du groupe. En d'autres mots, les pratiques pour lesquelles les textes de référence rapportent une augmentation du capital social d'une communauté, c'est-à-dire le renforcement du réseau qui leur permettra de se mobiliser dans la prise en charge de leur

adaptation en tant que groupe, se voient attribuer un point. Dans le cas où cette retombée n'est pas mentionnée explicitement, mais qu'elle apparaît suffisamment évidente, le point est accordé. Les mesures qui ont comme effet la réduction des conflits entre les parties prenantes sont aussi considérées dans ce critère.

Intégration au sein des politiques en place et collaboration entre les paliers de gouvernement

Ce critère provenant de l'IUPA se base sur le principe selon lequel les actions d'adaptation devraient être soutenues par et intégrées dans des stratégies à plus grande échelle pour que les retombées puissent rejoindre plus de bénéficiaires et assurer la pérennité de la pratique. Dans le cadre du criblage des mesures, les initiatives pour lesquelles les auteurs mentionnent le soutien utile par une politique, une stratégie, un programme ou une institution, gouvernementale ou non, se voient attribuer un point. Lorsque la mesure correspond à la politique elle-même, un point est attribué s'il est mentionné qu'elle s'intègre bien aux autres structures de niveau supérieur, inférieur ou égal. Par exemple, une mesure dont l'idée provient d'un atelier de consultation de la communauté organisé par une ONG locale et financée par un programme du gouvernement dans le cadre de sa stratégie nationale de lutte aux changements climatiques se verrait attribuer un point pour ce critère.

Accomplissement des objectifs

L'accomplissement des objectifs figure comme critère unique dans l'index IUPA. Dans le but de mettre en lumière prioritairement des mesures qui ont fonctionné et afin d'utiliser efficacement le travail de McDowell *et al.* (2019), ce critère est ici divisé en quatre et reçoit plus de points. En effet, McDowell *et al.* (2019) ont déjà classé les mesures en fonction de si les textes de référence mentionnent des preuves suffisantes sur l'effet de l'adaptation. Pour le criblage des mesures de l'essai, les huit catégories de ces auteurs deviennent les quatre critères suivants : réduction des dommages, accès à de nouvelles opportunités, retombées négatives au niveau social, retombées négatives au niveau écologique (voir tableau 3.3).

Tableau 3.3 Critères pour l’accomplissement des objectifs et les catégories d’effets dont ils proviennent

Effets de l’adaptation selon McDowell <i>et al.</i> (2019) ¹	Critères pour l’accomplissement des objectifs dans l’évaluation	Points accordés
Réduction des dommages	Réduction des dommages	+2
Accès à de nouvelles opportunités	Accès à de nouvelles opportunités	+2
Transformation		
Distribution inégale des « gagnants » et des « perdants »	Retombées négatives au niveau social	-2
Mauvaise adaptation - Sociale		
Mauvaise adaptation- Écologique	Retombées négatives au niveau écologique	-2
Les effets de l’adaptation ne sont pas discutés	∅	0
N/A (pour les travaux préparatoires)	∅	0

¹Traduction libre

En vue de simplifier la méthode, la distribution inégale des retombées est classée comme une situation de retombées négatives au niveau social. Pour attribuer la note pour ces critères, l’évaluateur se base directement sur l’analyse de McDowell *et al.* (2019), c’est-à-dire sur la catégorie d’effet qui lui a été attribuée. Il y a possibilité qu’une mesure ait plusieurs effets auquel cas elle reçoit les points associés à chaque catégorie d’effet. Les mesures se trouvant dans les catégories où il n’y a pas d’effet ou que ceux-ci ne sont pas discutés n’obtiennent pas de point. Les mesures qui se retrouvent dans les catégories « réduction des dommages » ou « accès à de nouvelles opportunités » se voient attribuer 2 points. Celles qui figurent parmi les catégories « retombées négatives au niveau social » ou « retombées négatives au niveau écologique » ont une note de -2 points. Cette exception à la règle d’un point par critère sert à s’assurer de faire ressortir en priorité des mesures pour lesquelles les retombées positives ont été démontrées. Cela dit, l’idée générale de la méthode est de mettre en valeur les mesures qui ont déjà eu un succès vérifié, mais en laissant aussi la possibilité que les bonnes idées qui n’ont pas encore été implantées ou évaluées formellement puissent tout de même recevoir une note suffisante grâce aux autres critères pour figurer parmi les pratiques potentielles à exporter dans l’autre chaîne de montagnes. Par exemple, si McDowell *et al.* (2019) ont classé une mesure comme ayant des effets de réduction des dommages et de création de nouvelles opportunités, mais qu’elle ne satisfait à aucun autre critère, elle obtiendra tout de même une note de 4. En revanche, une mesure dont les effets n’ont pas été évalués, mais dont la planification satisfait tous les autres critères, obtiendrait une note finale de 12.

Les rares mesures qui ont eu comme effet de transformer substantiellement le socioécosystème reçoivent deux points pour l'accès à de nouvelles opportunités puisqu'ils ont un potentiel fort de provoquer un changement durable et qu'ils ont un caractère novateur intéressant à approfondir. Il s'agit aussi de reconnaître que face aux grands défis de l'avenir, de grands changements seront nécessaires.

Temps d'implantation, proportion de bénéficiaires et niveau de résilience

Les critères IUPA concernant le temps d'implantation et la proportion de bénéficiaires ont été éliminés pour simplifier la grille puisqu'ils n'étaient pratiquement jamais mentionnés dans les textes de référence. Le critère de niveau de résilience n'est pas inclus dans l'évaluation puisqu'il demanderait beaucoup plus d'information que ce que contiennent les sources et parce que plusieurs des critères considérés sont déjà des facteurs qui favorisent la résilience.

3.2. Limites de la méthode

3.2.1 Subjectivité dans l'évaluation de sources hétérogènes

Une limite évidente de la méthode est la grande variabilité dans le type d'information qui se trouve dans les documents de référence. Parfois, les mesures d'adaptation sont très détaillées tandis que dans d'autres sources, les pratiques d'adaptation ne sont pas le point focal de la recherche et l'initiative est seulement nommée. Puisqu'il est difficile de tirer des leçons de mesures qui ne sont pas décrites, même si elles peuvent être bonnes, la méthodologie fait en sorte de les écarter de la discussion. Cela dit, l'information abordée de multiples manières dans les sources impose aussi une importante responsabilité d'interprétation à l'évaluateur qui ne possède que des lignes directrices générales pour trancher si la mesure satisfait à un critère particulier ou non. Il résulte de cette situation que l'évaluation et la note attribuée à chaque mesure, bien qu'elles permettent d'alimenter la discussion sur les leçons apprises des bonnes pratiques, peuvent difficilement être utilisées à d'autres usages qui nécessiteraient une procédure plus objective et standardisée.

3.2.2 Évaluation superficielle

Le résultat de l'évaluation donne une liste de mesures d'adaptation qui présentent des caractéristiques intéressantes. Cependant, elles ne peuvent pas être interprétées comme étant les meilleures mesures. D'abord, pour faire une réelle évaluation des mesures, il aurait fallu permettre l'attribution d'un degré d'atteinte des critères comme dans l'utilisation normale de l'IUPA. Ainsi, une mesure qui satisfait très bien quelques critères pourrait être mise devant une autre qui satisfait très faiblement tous les critères. De la

même manière, pour une évaluation complète, tous les critères ne devraient pas avoir la même importance et ce poids devrait être attribué en fonction du contexte local. Cela dit, l'évaluation complète aurait été impossible face à l'immense variabilité dans la quantité et la pertinence de l'information de chaque source. Pour cette raison, la méthode choisie est suffisante pour atteindre l'objectif de dégager des leçons apprises sur les mesures d'adaptation dans les Andes et l'Hindou Kouch-Himalaya, même si une évaluation complète aurait pu avoir des applications plus étendues.

3.2.3 Ensemble de mesures considérées

Une autre limite de la méthodologie est qu'elle est appliquée seulement sur les mesures extraites par McDowell *et al.* (2019). Cela fait en sorte que les mesures mentionnées dans des documents datant d'après décembre 2017 ne sont pas analysées. Aussi, il y a des mesures qui se trouvent ailleurs que dans des articles contenant les mots-clés de McDowell *et al.* (2019). De plus, la plus grande limite qu'impose le fait de se concentrer sur les mesures de ces chercheurs est qu'ils n'ont considéré dans la littérature grise que les organisations intergouvernementales à mandat international comme le PNUD, l'UICN et la FAO. En conséquence, d'importants documents d'organisations régionales comme ICIMOD dans l'HKH et CONDESAN dans les Andes ne sont pas inclus dans l'évaluation (McDowell *et al.*, 2019). Il s'agit d'un compromis à faire pour conserver l'aspect systématique des travaux de McDowell *et al.* (2019) et pour respecter les contraintes de temps pour la production de cet essai.

CHAPITRE 4

Mesures d'adaptation avantageuses

4.1 Résultats

Le résultat principal du processus d'évaluation est une note attribuée à chacune des 397 mesures d'adaptation. Afin de centrer la discussion sur les pratiques qui sont suffisamment décrites dans les documents de référence et qui possèdent des caractéristiques intéressantes à répliquer, seules les mesures ayant obtenu quatre points ou plus sont approfondies dans la discussion. Ce sous-ensemble correspond à 46 initiatives dans les Andes et à 24 dans l'Hindou Kouch-Himalaya. La petite proportion de mesures qui ont obtenu une note de quatre ou plus sur une possibilité de 16 points peut s'expliquer par le fait que la plupart des mesures extraites des documents sources concernent des réponses réactives et individuelles face à la fonte des glaciers tandis que l'évaluation cherche à faire ressortir des mesures planifiées collectivement. De plus, 76 mesures dans l'HKH et 68 dans les Andes ont obtenu une note de 0 ou moins ce qui s'explique par le fait qu'un grand nombre d'initiatives sont seulement mentionnées dans les textes de référence et non détaillées. L'important nombre de mesures extraites pouvait laisser croire que l'adaptation dans les deux montagnes à l'étude était largement couverte par la recherche, mais les résultats de l'évaluation superficielle suggèrent qu'il reste des manques à combler. À partir des classifications de McDowell *et al.* (2019), on constate que l'écrasante majorité des mesures sont appliquées aux secteurs de l'agriculture et de l'élevage avec 174 initiatives associées à ces domaines. De ce total, la moitié provient de chaque région à l'étude ce qui reflète la similarité des problématiques auxquelles elles font face. On note tout de même que les Andes ont plus de mesures que l'HKH dans le secteur de l'eau (68 contre 37), ce qui rappelle comment le recul des glaciers dans les Andes est à un stade plus inquiétant. Parmi les composantes des socioécosystèmes touchées par la fonte des glaciers abordées aux chapitres 1 et 2, l'aspect culturel est celui qui fait l'objet du plus petit nombre de mesures avec seulement cinq au total pour les deux régions. Les tableaux 4.1 et 4.2 présentent les mesures à fort potentiel mises en lumière par l'évaluation et dont l'idée générale sera abordée dans la discussion. Ces initiatives sont rassemblées par type afin de structurer la réflexion sur les motifs qui se dégagent du classement.

Tableau 4.1 Classement des mesures d'adaptation mises en place dans les Andes (1 de 3)

Identification	Mesure d'adaptation	Réduction des dommages	Accès à de nouvelles opportunités	Retombées négatives au niveau social	Retombées négatives au niveau écologique	Faible coût	Flexibilité	Participation de la population	Persistance des retombées	Solution fondée sur la nature	Reproductibilité	Incorporation des savoirs traditionnels	Accent sur les femmes	Accent sur les autochtones	Accent sur les moins nantis	Renforcement de la coopération	Intégration au sein des politiques	Total	Référence
1A	Adaptation fondée sur les écosystèmes: pratiques de gestion durable des pâturages	2	2	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	13	UICN, 2015
2A	Projet d'adaptation fondé sur les écosystèmes : gestion durable de l'eau et des prairies	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	9	UICN, 2014
3A	Projet ECOAN - étendre le réseau de conservation, développement de serres, diversification de l'économie à travers le tourisme	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	7	Doughty, 2016
4A	Gestion intégrée et durable	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	7	Lee <i>et al.</i> , 2014
5A	Surveiller et conserver la riche biodiversité des variétés de patate indigènes	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	7	Lee <i>et al.</i> , 2014
6A	Appliquer le système traditionnel Ayni	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	6	McDowell <i>et al.</i> , 2012
7A	Établir une base de données intégrée régionale sur les ressources naturelles, le climat et la vulnérabilité	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	6	Lee <i>et al.</i> , 2014
8A	Intégrer les différents systèmes d'alerte précoce existants	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	6	Lee <i>et al.</i> , 2014
9A	Aligner les cadres légaux et institutionnels nationaux et régionaux pour composer avec les effets du changement climatique	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	6	Lee <i>et al.</i> , 2014
10A	Construction de petites structures pour stocker l'eau et la distribuer et améliorer l'infrastructure et la gestion des zones irriguées	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	6	Lee <i>et al.</i> , 2014
11A	Concevoir et implémenter des pratiques intégrées de gestion des ravageurs et des systèmes de surveillance	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	6	Lee <i>et al.</i> , 2014
12A	Production agricole diversifiée à différentes altitudes grâce à une forte structure organisationnelle traditionnelle (Ayllus)	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	6	Banque mondiale, 2011
13A	Les producteurs locaux sont représentés par une association de producteurs hautement organisée qui fait le lien entre les produits locaux et les marchés régionaux et nationaux	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	6	Banque mondiale, 2011
14A	Projet de gestion du sol et de l'eau qui se concentre sur la gestion intégrée des ressources en eau à travers les paiements pour les services environnementaux	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	6	PNUD, 2015
15A	Gestion intégrée, durable et participative des micro-bassins hydrographiques vulnérables au changement climatique	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	6	Banque mondiale, 2009
16A	Activités de boisement et de reboisement dans les micro-bassins versants sélectionnés	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	6	Banque mondiale, 2009
17A	ADAPTs project (travail préparatoire)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	5	Lasage <i>et al.</i> , 2015

Légende: sections de discussion					
Adaptation fondée sur les écosystèmes	Gestion traditionnelle ou durable	Initiatives créatives	Science	Transformation	Technologie

Tableau 4.1 Classement des mesures d'adaptation mises en place dans les Andes (Suite, 2 de 3)

Identification	Mesure d'adaptation	Réduction des dommages														Total	Référence	
		Accès à de nouvelles opportunités	Retombées négatives au niveau social	Retombées négatives au niveau écologique	Faible coût	Flexibilité	Participation de la population	Persistance des retombées	Solution fondée sur la nature	Reproductibilité	Incorporation des savoirs traditionnels	Accent sur les femmes	Accent sur les autochtones	Accent sur les moins nantis	Renforcement de la coopération			Intégration au sein des politiques
18A	Introduire des cultures plus économes en eau	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	5	Lasage <i>et al.</i> , 2015
19A	Évaluation participative de la vulnérabilité	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	5	McDowell & Hess, 2012
20A	Concevoir et implémenter des techniques agricoles et des pratiques pour les systèmes d'élevage, incluant des pâturages améliorés et la conservation du fourrage	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	5	Lee <i>et al.</i> , 2014
21A	Plan d'action Changement Climatique (2012-2016)	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	5	Anguelovski <i>et al.</i> , 2014
22A	Mouvement constant entre le pâturage, l'eau et le travail	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	5	Banque mondiale, 2011
23A	Diversification du bétail pour réduire le risque d'un marché et d'un climat variable	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	5	Banque mondiale, 2011
24A	CIDA - éducation et formations pour améliorer la capacité à adresser les enjeux liés à la gestion durable de l'eau en milieu rural	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	5	Banque mondiale, 2009a
25A	Gestion communautaire des bassins versants clés dans les forêts	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	5	PNUD, 2015
26A	Le programme commun pour l'intégration des écosystèmes et l'adaptation au changement climatique	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	Schoolmeester <i>et al.</i> , 2016
27A	Climate Change and Environment in the Social and Economic Cohesion Sector (ANDESCLIMA)	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	5	Schoolmeester <i>et al.</i> , 2016
28A	Adaptation des technologies de gestion agricole aux conditions du changement climatique.	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	5	Banque mondiale, 2009b
29A	Adaptation des technologies de gestion du bétail aux conditions du changement climatique	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	5	Banque mondiale, 2009b
30A	Développement d'un système de surveillance des micro-bassins versants pour les indicateurs relatifs au changement climatique	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	5	Banque mondiale, 2009b
31A	Investissements dans la conservation des sols et des pâturages pour promouvoir la conservation et la rétention de l'eau	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	5	Banque mondiale, 2009

Légende: sections de discussion					
Adaptation fondée sur les écosystèmes	Gestion traditionnelle ou durable	Initiatives créatives	Science	Transformation	Technologie

Tableau 4.1 Classement des mesures d'adaptation mises en place dans les Andes (Suite, 3 de 3)

Identification	Mesure d'adaptation	Réduction des dommages	Accès à de nouvelles opportunités	Retombées négatives au niveau social	Retombées négatives au niveau écologique	Faible coût	Flexibilité	Participation de la population	Persistance des retombées	Solution fondée sur la nature	Reproductibilité	Incorporation des savoirs traditionnels	Accent sur les femmes	Accent sur les autochtones	Accent sur les moins nantis	Renforcement de la coopération	Intégration au sein des politiques	Total	Référence
32A	Établissement du parc spirituel Vilcanota	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	FAO, 2011
33A	Barrages de réservoir	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	Lasage <i>et al.</i> , 2015
34A	Système d'irrigation goutte à goutte à faible coût	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	Lasage <i>et al.</i> , 2015
35A	Élection d'un attributeur d'eau (regidor)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	4	Stensrud, 2016
36A	Étude des facteurs de résilience comme travail préparatoire	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4	Aldunce <i>et al.</i> , 2016
37A	Projet pilote utilisant l'approche de l'adaptation d'écosystème dans le cadre de la Water and Nature Initiative (WANI)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	4	UICN, 2010
38A	Migration pour travailler dans les mines	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	Banque mondiale, 2011
39A	Le Programa de Riego Asociativo/Bono al Riego procure des subventions aux petits fermiers pour l'irrigation ou le drainage	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	Banque mondiale, 2009a
40A	Implementer des pratiques d'agroforesterie	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4	PNUD, 2015
41A	Introduction du système de pâturage en rotation	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	FAO, 2013
42A	Le projet Conexión Biocaribe qui augmente la sécurité alimentaire par la mise en place de systèmes agroforestiers, l'enrichissement des forêts et la restauration des forêts riveraines.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	4	FAO, 2017
43A	Mise en place de stations de recherche et de projets de recherche pour la surveillance des impacts du changement climatique sur la biodiversité	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	Schoolmeester <i>et al.</i> , 2016
44A	Projet PRAA	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	Schoolmeester <i>et al.</i> , 2016
45A	Prévoir l'évolution des masses glaciaires à court, moyen et long terme et mettre en relation le ruissellement, l'hydrologie et les écosystèmes.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	4	Banque mondiale, 2013
46A	Le processus décisionnel traditionnel Aynoka	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	4	Banque mondiale, 2008b

Légende: sections de discussion					
Adaptation fondée sur les écosystèmes	Gestion traditionnelle ou durable	Initiatives créatives	Science	Transformation	Technologie

Tableau 4.2 Classement des mesures d'adaptation mises en place dans l'Hindou Kouch-Himalaya

Identification	Mesure d'adaptation	Indicateurs													Total	Références			
		Réduction des dommages	Accès à de nouvelles opportunités	Retombées négatives au niveau social	Retombées négatives au niveau écologique	Faible coût	Flexibilité	Participation de la population	Persistance des retombées	Solution fondée sur la nature	Reproductibilité	Incorporation des savoirs traditionnels	Accent sur les femmes	Accent sur les autochtones			Accent sur les moins nantis	Renforcement de la coopération	Intégration au sein des politiques
1H	Adaptation fondée sur les écosystèmes : conservation en agriculture	2	2	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	13	UICN, 2015
2H	Adaptation fondée sur les écosystèmes : moyens de subsistance alternatifs	2	2	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	13	UICN, 2015
3H	Le système Dzumsa	2	2	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	Ingty, 2017
4H	Le pastoralisme transhumant dans son ensemble	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	7	Gentle & Thwaites, 2016
5H	Les systèmes traditionnels Thiti et nasho	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	7	Gentle & Thwaites, 2016
6H	Partage des pâturages au sein de la communauté	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	6	Fu <i>et al.</i> , 2012
7H	Réglementer l'agriculture et les droits de pâturage pour permettre la reconstitution des écosystèmes	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	6	Ingty, 2017
8H	Créer des conseils forestiers et un comité forestier villageois	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	6	Maikhuri <i>et al.</i> , 2017
9H	Le passage à une mobilité saisonnière des pâturages	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5	Fu <i>et al.</i> , 2012
10H	Cultiver du fourrage pour l'hiver	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5	Fu <i>et al.</i> , 2012
11H	Construction d'un système d'irrigation complexe pour fournir de l'eau à partir de la tête de la rivière	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	Spies, 2016
12H	Stockage et cultivation de fourrage	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5	Ingty, 2017
13H	Pastoralisme nomade	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5	Ingty, 2017
14H	Introduction de cultures en hautes altitudes	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5	Ingty, 2017
15H	La prévision traditionnelle des inondations et l'utilisant les connaissances locales	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5	Dewan, 2015
16H	Emprunts auprès des voisins	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	5	Dewan, 2015
17H	Programme AKRSP : <<Les femmes, un catalyseur du changement environnemental>>	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5	FAO, 2011
18H	Technologie de l'agriculture de pente (SALT) pour la conservation des sols	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5	FAO, 2014
19H	Construire de petits hangars à bétail	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	Fu <i>et al.</i> , 2012
20H	Activités de stockage pour se préparer à l'hiver	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	Fu <i>et al.</i> , 2012
21H	Développement participatif (travail préparatoire)	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4	Christmann <i>et al.</i> , 2015
22H	Établir des îlots de graines clôturés pour des semences naturelles annuelles	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	Christmann <i>et al.</i> , 2015
23H	Construction de glaciers artificiels	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	Clouse, 2014
24H	Construire une stupa de glace pour stocker l'eau	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	4	Clouse, 2017

Légende: sections de discussion

Adaptation fondée sur les écosystèmes	Gestion traditionnelle ou durable	Initiatives créatives	Science	Transformation	Technologie
---------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------	---------	----------------	-------------

4.2 Discussion

Les tableaux 4.1 et 4.2 font ressortir des ensembles de mesures dont la description dans les textes de référence répond à plusieurs critères vus comme étant propices à une adaptation efficace. L'analyse de ces groupes vise à tirer des leçons générales qui puissent inspirer les pratiques futures des communautés dans les Andes et dans l'Hindou Kouch-Himalaya. Lorsqu'au fil du texte une mesure des tableaux 4.1 ou 4.2 est mentionnée, le numéro d'identification auquel elle se rapporte est indiqué entre parenthèses (ex. : 4A, 25A, 29H). En isolant des cas de réussite et en explorant comment les divers intervenants sont arrivés à contourner les obstacles sur leur route, l'expertise peut être partagée et les stratégies d'adaptation peuvent être améliorées dans les deux chaînes de montagnes. Une attention est aussi portée à la fin au cas des types de mesures qui n'ont pas obtenu assez de points à l'évaluation pour figurer aux tableaux dans l'objectif de révéler certaines faiblesses dans les stratégies d'adaptation des deux régions et de dégager les domaines où il manque encore de l'information.

4.2.1 L'approche fondée sur les écosystèmes

Autant dans les Andes que dans l'Hindou Kouch-Himalaya, les mesures qui ont obtenu le plus de points lors de l'évaluation sont celles qui concernent l'adaptation fondée sur les écosystèmes (1A, 2A, 1H et 2H). Dans les deux régions, ces mesures sont issues du *Global Ecosystems-based Adaptation in Mountains Programme*. Il s'agit d'un partenariat entre l'UICN, le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). Dans les Andes, les projets visent surtout à favoriser la gestion durable de l'eau et des pâturages pour améliorer les conditions d'élevage, tandis que dans l'HKH les actions sont concentrées sur l'agriculture durable et les moyens de subsistance alternatifs. Le document de référence décrit les retombées de ces projets dans le but de démontrer les bienfaits de l'approche fondée sur les écosystèmes. Cette approche se définit comme étant l'utilisation de la biodiversité et des services écosystémiques comme stratégie d'adaptation (UICN, 2015). Elle peut inclure la gestion durable, la conservation et la restauration des écosystèmes dans le cadre d'une stratégie d'adaptation globale qui tient compte des multiples avantages sociaux, économiques et culturels pour les communautés locales (UICN, 2015). On peut considérer qu'il s'agit d'un cas particulier de solution fondée sur la nature (UICN France, 2018).

L'approche de l'UICN (2015) pour l'adaptation fondée sur les écosystèmes suit les principes développés par Andrade *et al.* (2011) selon lesquels elle doit :

- « 1) Promouvoir une approche multisectorielle
 - 2) Opérer à de multiples échelles géographiques
 - 3) Intégrer des structures de gestion flexibles
 - 4) Maximiser les bénéfices avec des objectifs de développement et de conservation
 - 5) Être basée sur la meilleure science disponible et sur le savoir local
 - 6) Apporter des bénéfices à la population, spécialement aux plus vulnérables.
 - 7) Être participative, culturellement appropriée et inclure les enjeux d'équité et de genre. »
- (Andrade *et al.*, 2011 cité dans UICN, 2015, Traduction libre)

On comprend vite pourquoi des mesures qui suivent ces principes ont satisfait à un haut nombre de critères à l'évaluation et se retrouvent donc au sommet des tableaux 4.1 et 4.2 ; les principes et les critères sont pratiquement pareils. Les initiatives de ANDESCLIMA (27A) et de la *Water and Nature Initiative* (37A) appuient ce constat puisqu'elles ont obtenu un bon nombre de points grâce au fait qu'elles concernent l'adaptation fondée sur les écosystèmes et ce, bien qu'elles soient peu décrites dans les documents sources. En fait, on remarque que les mesures récentes qui proviennent de la littérature grise, c'est-à-dire des rapports d'organisations internationales comme la Banque mondiale, la FAO ou l'UICN mettent de plus en plus des approches qui ressemblent aux critères de l'évaluation. L'incorporation de ces bonnes pratiques dans la conception et l'implémentation des initiatives d'adaptation est un premier pas important, mais toujours faut-il qu'elles soient appliquées de manière adéquate. La méthode d'évaluation utilisée dans cet essai ne permet pas d'en juger et puisque les mesures sont décrites par les organisations mêmes qui les mettent en place ou qui les financent, il y a un risque qu'elles embellissent les retombées de leur programme. Cela dit, rien n'empêche d'explorer tout de même les mesures intéressantes qu'elles ont mises en place et d'en tirer des leçons. Dans le cas de l'approche fondée sur les écosystèmes de l'UICN, les projets au Pérou et au Népal mis en lumière ici ont permis plusieurs apprentissages que l'organisation rassemble dans le document source (UICN, 2015). En résumé, elle soutient l'importance de :

- Sensibiliser la population aux multiples bénéfices de l'adaptation fondée sur les écosystèmes puisqu'ils ne sont pas toujours évidents à première vue et que les retombées sont souvent à plus long terme.
- Faire des compromis dans l'approche en la jumelant avec des mesures plus conventionnelles non fondées sur les écosystèmes, et commencer avec des mesures sans regret pour obtenir quelques retombées rapides qui permettent de garder l'intérêt dans les projets.
- Travailler à l'échelle des bassins versants, car cette perspective se marie bien au concept de service écosystémique. Cette leçon est particulièrement importante dans la problématique de la fonte des glaciers puisque les divers acteurs impliqués sont liés par la même eau.

- Mélanger les savoirs scientifique et traditionnel pour faire émerger de nouvelles idées bénéfiques. Par exemple, au Pérou, le programme a permis de réparer et d'améliorer des canaux qui étaient utilisés avant la colonisation hispanique pour la gestion de l'eau. Au Népal, des étangs qui servaient autrefois de réservoir d'eau ont été adaptés aux nouvelles conditions grâce à une technologie qui réduit l'évaporation.
- Intégrer les projets dans les politiques nationales et régionales. Puisque l'approche fondée sur les écosystèmes vise des retombées à long terme, les projets doivent être soutenus par un système solide qui va perdurer plus longtemps que l'implication de l'organisme dans les localités.
- Réaliser des analyses de coûts et de bénéfices pour prioriser des mesures, mais aussi pour évaluer le coût du scénario où aucune solution n'est appliquée. Ces informations permettent de montrer aux preneurs de décision que l'action proposée est profitable.
- Tirer profit des organisations de gestion de ressources naturelles déjà existantes comme point d'entrée pour les concepts d'adaptation fondée sur les écosystèmes. Les aires protégées sont des endroits favorables pour aborder l'adaptation fondée sur les écosystèmes, car elles possèdent souvent déjà des mécanismes pour appuyer ce type d'initiative. Les succès obtenus peuvent ensuite être montrés en exemple pour une application de l'approche à une échelle plus large dans le pays. Les projets de l'UICN dans les Andes et dans l'HKH font partie de ces cas où les mesures ont été mises en place dans des aires protégées ou dans les zones tampons adjacentes.

On remarque ensuite que plusieurs des mesures qui restent à discuter aux tableaux 4.1 et 4.2 pourraient en fait se rapporter à des initiatives d'adaptation fondée sur les écosystèmes si elles faisaient partie d'une stratégie intégrée à plus large échelle. Par exemple, même s'il n'est pas reconnu comme tel, le travail de l'organisme ECOAN (3A) qui vise le développement communautaire par la conservation des forêts se rapproche nettement de la méthode de l'UICN. Il en va de même pour les mesures qui suivent dans le classement et même si elles sont associées à d'autres types de mesure pour orienter la discussion, il n'en demeure pas moins qu'elles abordent certains principes de l'approche fondée sur les écosystèmes puisqu'elles répondent à plusieurs critères de l'évaluation. En d'autres mots, une des retombées principales de l'évaluation des mesures est l'appréciation de l'approche fondée sur les écosystèmes comme cadre prometteur à l'augmentation de la capacité d'adaptation des communautés des Andes et de l'HKH. Par conséquent, il sera bon de garder en tête la stratégie de l'UICN alors que les sections qui suivent poursuivent l'exploration plus concrète des mesures ressorties du classement et des enseignements qu'il est possible d'en tirer.

4.2.2 Les institutions traditionnelles de gestion durable des ressources naturelles

Un autre motif qui ressort des tableaux 4.1 et 4.2 est la forte présence de mesures qui établissent ou renforcent des structures de gestion durable des ressources naturelles. Dans le contexte de la fonte des glaciers, les institutions de gestion de l'eau seront particulièrement importantes, mais celles qui gèrent les autres ressources ont aussi un rôle à jouer dans la capacité adaptative. La majeure partie des initiatives de gestion qui se retrouvent au classement sont des systèmes traditionnels qui s'assurent depuis longtemps que les membres de la communauté puissent répondre à leurs besoins sans que la pérennité des ressources soit mise en danger. Par exemple, dans les Andes, les peuples aymaras ont pu développer une agriculture très diversifiée en tirant avantage des conditions particulières de différentes altitudes grâce à un système de gouvernance, l'*Ayllu* (12A), qui rassemble plusieurs familles sur un territoire partagé (Banque Mondiale, 2011). De plus, certains utilisent encore l'*Aynoka* (46A), un processus de prise de décision agricole où les membres décident ensemble des cultures qui devraient être plantées, à quelle période et à quel endroit (Banque Mondiale, 2008a). La production est ensuite réalisée individuellement, mais chacun peut débiter sa saison avec les meilleures informations et en sachant que la planification a été réalisée dans l'intérêt de tous. Dans l'HKH, les Dokpas et les Lachenpas utilisent toujours un système de gouvernance traditionnel, la *Dzumsa* (3H), qui consiste en une assemblée annuelle de représentants élus dont la tâche principale est la gestion des ressources naturelles (Ingty, 2017). Elle a aussi la charge de résoudre les conflits et de mobiliser la population vers des enjeux communs. En place depuis 200 ans, ce système a appuyé la population en appliquant une foule de mesures qui priorisent les bénéfiques à long terme de la collectivité au lieu des intérêts à court terme de quelques-uns. La *Dzumsa* a par exemple imposé un calendrier agricole et fait la promotion de la mise en jachère des terres (Ingty, 2017). De la même manière, la communauté Gurung dans l'HKH respecte toujours le système pastoral *Thiti* (5H). Cette institution traditionnelle gère les activités d'élevage entre autres en percevant des taxes aux utilisateurs des terres communautaires et en réinjectant ces fonds dans la communauté à travers des programmes sociaux et des projets de développement local (Gentle & Thwaites, 2016).

En plus de ces institutions plus officielles, certaines communautés observent toujours des pratiques sociales traditionnelles qui elles aussi peuvent contribuer à la capacité adaptative. Par exemple, l'*Ayni* (6A) est un mécanisme social de réciprocité chez des peuples autochtones des Andes selon lequel les familles et les individus aident les membres de la communauté qui en ont besoin et ils recevront à leur tour une aide au moment venu (McDowell & Hess, 2012). Cette pratique peut s'avérer indispensable en temps de

crise. Dans l'HKH, on retrouve le système *Nasho* (5H) selon lequel les habitants qui possèdent quelques animaux d'élevage les confient à un berger qui en prend soin et qui leur redonne une partie de l'argent lors de la vente (Gentle & Thwaites, 2016). Les bergers sont alors invités à faire brouter leurs troupeaux sur les terrains des agriculteurs ce qui fertilise leurs sols (Gentle & Thwaites, 2016). Ainsi, chaque partie ressort gagnante de cette association informelle et les liens entre les membres de la communauté sont renforcés, ce qui améliore la capacité adaptative.

Bien que ces systèmes de gestion eussent fait leurs preuves durant de nombreuses années, l'arrivée de nouvelles pressions sur le socioécosystème a fait en sorte qu'elles ont été affaiblies ou délaissées. Par exemple, l'essor du tourisme dans l'Himalaya a eu pour effet de fragmenter les communautés. La *Dzumsa* souhaiterait profiter de cette industrie en l'accordant avec ses principes de durabilité, mais leurs moyens sont limités tandis que les habitants sont de plus en plus attirés par les profits rapides que procurent les entreprises privées (Ingty, 2017). L'idée n'est pas de considérer les anciennes structures comme étant nécessairement la solution idéale pour l'adaptation, puisqu'il peut exister plusieurs bonnes raisons de les avoir remplacées. Cependant, elles permettaient tout de même de s'assurer que le développement se fasse dans l'intérêt de la communauté. Sans elles, des mesures d'adaptation nouvelles pourraient apporter des retombées mal réparties ou non durables qui risquent d'aggraver la situation. Par exemple, au Pérou, des ingénieurs sont arrivés à abaisser le niveau du lac Parón pour prévenir sa vidange brutale accidentelle (Carey *et al.*, 2012). Cette intervention a laissé sur place un ensemble de canaux et de vannes qui permet de contrôler les débits d'eaux et au fil du temps, une multinationale a réussi à s'emparer des installations et à accaparer l'eau pour alimenter ses activités hydroélectriques (Carey *et al.*, 2012). Pour cette raison, un retour des structures traditionnelles de gestion qui assumaient le rôle de distribution équitable des retombées pourrait accompagner les solutions pratiques et technologiques pour une véritable amélioration de la capacité adaptative. La réactualisation des modes de gestion traditionnels est du ressort de la communauté, mais les organismes locaux et internationaux peuvent y contribuer en apportant un soutien financier et une expertise scientifique qui informe des meilleures pratiques (Agrawal, 2008). Le gouvernement peut aussi favoriser leur retour en les reconnaissant officiellement et en les intégrant au processus de conception et d'implémentation de politiques (Ingty, 2017). Une retombée supplémentaire qui pourrait découler du renforcement des institutions de gestion durable est le support qu'il pourrait fournir à la préservation des méthodes d'élevage traditionnelles. En effet, plusieurs mesures aux tableaux 4.1 et surtout 4.2 font référence à des pratiques comme la mobilité des éleveurs entre pâturages pour leur

laisser le temps de se régénérer (4H, 5H, 6H, 7H, 9H, 10H, 12H, 13H, 19H, 20H et 22A). Pour favoriser un retour de ces modes d'élevage, il doit y avoir une structure qui les supporte (Gentle & Thwaites, 2016).

Lorsqu'il n'y a pas d'institution déjà en place dans la communauté qui pratique la gestion durable, les agents externes peuvent aussi introduire ces notions pour changer les façons de faire. Le classement des mesures des Andes présente quelques cas d'introduction de nouvelles pratiques (10A, 11A, 20A, 31A, 40A et 42A) comme la gestion intégrée des ravageurs (11A) et l'amélioration des infrastructures de gestion des terres irriguées (10A). Dans ces deux exemples, le processus de priorisation décrit par Lee et collaborateurs (2014) qui a mené à la proposition des solutions d'adaptation a aussi souligné la nécessité d'améliorer les systèmes de gouvernance des ressources naturelles pour permettre l'application des actions concrètes.

En résumé, l'évaluation a permis de mettre en lumière des systèmes traditionnels durables qui ont supporté les populations depuis très longtemps autant dans l'Hindou Kouch-Himalaya que dans les Andes. Ces modes de gestion offrent des voies possibles pour encadrer la mise en place de mesures d'adaptation nouvelles ou réactualisées qui pourraient contribuer à la résilience des communautés des deux chaînes de montagnes.

4.2.3 Les initiatives créatives

On retrouve dans les tableaux 4.1 et 4.2 quelques mesures qui se démarquent par leur caractère unique ou novateur. Devant la persistance des problématiques associées à la fonte des glaciers dans les Andes et dans l'Hindou Kouch-Himalaya, il existe une nécessité d'apporter de nouvelles solutions qui dépassent les réponses conventionnelles, lesquelles se sont montrées insuffisantes.

Les infrastructures de réserve de glace

Une initiative d'adaptation pour répondre à la fonte des glaciers dans l'HKH qui a récemment attiré l'attention des médias est la construction de glaciers artificiels (23H). En bref, il s'agit de retenir l'eau d'une rivière dans un grand bassin à une altitude suffisamment élevée pour qu'elle gèle en hiver. La grosse masse de glace agit alors comme un réservoir qui fond lentement en été, libérant ainsi son eau au moment où les habitants en ont besoin (Clouse, 2014). Il s'agit d'une solution qui tente de rétablir la fonction principale des glaciers dans les socioécosystèmes, sa régulation annuelle du cycle hydrologique. D'autres types d'infrastructures tirant profit de la glace comme réservoir ont été implantées dans la région. L'une d'entre elles est une série de murets de pierre construits haut dans les montagnes qui empêche la neige d'être soufflée par le vent vers un autre bassin versant. Il résulte de cette mesure une plus grande accumulation de neige du côté de la montagne qui alimente en eau de fonte le village (Clouse, 2016). Une autre

construction consiste en un amas de glace qui reproduit la forme des *stūpas* (24H), des monuments bouddhiques emblématiques (Clouse, 2016). Ce dernier prototype, dont le fonctionnement est ingénieux mais simple, a le potentiel d’être accueilli favorablement par la communauté puisqu’il peut aussi servir de symbole culturel (voir figure 4.1). À partir de ce constat, les localités peuvent aussi s’en servir comme attrait touristique et profiter de l’engouement pour la lutte aux changements climatiques pour alimenter son développement économique.



Figure 4.1 Cérémonie religieuse autour d’une *stūpa* de glace au Ladakh en Inde.
Source : Clouse (2017), p. 249, Photographie par Jigmet Dadul

Deux des trois types de structures de glace, les *stūpas* et les glaciers artificiels, se retrouvent au classement de l’évaluation puisqu’ils permettent effectivement de réduire les dommages, qu’ils sont issus des connaissances des ingénieurs locaux et qu’ils peuvent être construits en bonne partie avec des matériaux et de la main-d’œuvre trouvés sur place. Néanmoins, avant de discuter du potentiel de reproduire ces constructions dans les Andes, il convient de mentionner qu’elles comportent plusieurs lacunes. D’abord, Clouse (2016) fait remarquer que malgré la description enthousiaste qui en est faite dans les journaux, les structures de glace n’ont pas fonctionné partout. En effet, même si l’implication de la population avait été considérée au préalable comme cruciale à la réussite des projets, l’emballement s’est peu à peu essoufflé dans certains villages et le manque d’entretien a eu raison des constructions. De plus, dans le cas des *stūpas*, des fermiers de villages en aval se sont plaints que l’assemblage des structures en hiver détournait l’eau qui devait leur arriver et les empêchait de remplir eux aussi leurs réserves (Parvaiz, 2018). Bien que l’ingénieur qui a conçu ces inventions assure que l’eau retirée est négligeable, cet incident rappelle l’utilité

d'une approche intégrée à l'échelle du bassin versant qui aurait pu prévenir les tensions et les conflits. Aussi, il ne s'agit que d'une solution à moyen terme puisque les glaciers artificiels et les *stūpas* sont construits à partir de l'eau de fonte des vrais glaciers. Dans l'HKH, la disparition des glaciers n'est pas à prévoir dans un futur proche, mais si cela devait arriver, les glaciers artificiels ne seraient alors d'aucune utilité (Clouse, 2014).

Les structures en glace peuvent sembler une bonne idée à exporter dans les Andes, mais en examinant de plus près la pratique, on remarque que certains points lui font défaut. Cela dit, en corrigeant ces lacunes, ces prototypes innovants pourraient se prêter au contexte des Andes, surtout dans les communautés où il persiste un attachement fort à l'aspect spirituel et culturel des glaciers. Il est certain que le fait de rendre artificiel un symbole naturel sacré pourrait modifier la relation des humains avec leur milieu, mais cette transformation pourrait aussi être bénéfique. Plusieurs peuples andins ont déjà recours à des pratiques traditionnelles qui impliquent des interventions qui modifient le milieu naturel, par exemple l'agrandissement de milieux humides, les *bofedales*, par l'irrigation (Verzija & Quispe, 2013). De ce fait, l'introduction du concept de glacier artificiel dans les Andes ne serait pas nécessairement inconcevable s'il est abordé de la bonne manière et si les projets sont conçus avec et pour la population.

La valorisation des variétés de cultures traditionnelles

La conservation et le suivi de la riche biodiversité des variétés de patates indigènes (5A) se retrouvent au sommet du tableau 4.1. Il s'agit d'une mesure envisagée au Pérou où on estime qu'il se trouve plus de 1200 variétés différentes de patates couvrant une grande gamme de goûts, de couleurs et de formes (Argumedo, 2008). Malgré des motivations culturelles à vouloir préserver cet héritage agricole, les pressions d'un climat changeant et une situation économique difficile rendent la tâche ardue. Pourtant, cette agrobiodiversité peut à son tour contribuer à la capacité adaptative puisqu'elle répartit le risque sur plusieurs cultures (Kahane *et al.*, 2013). Le système agricole dans son ensemble est plus résilient puisqu'il a plus de chance de survivre à un stress externe. Ainsi, l'agrobiodiversité permet au système de répondre naturellement aux pressions de l'environnement avec une moins forte dépendance aux ajouts d'intrants que les monocultures et les cultures introduites non adaptées au climat local (Kahane *et al.*, 2013).



Figure 4.2 Cultivars de patates indigènes du Pérou.

Source : de Haan *et al.* (2010), p.223, Photographie par Stef de Haan

La raison principale qui explique que cette initiative se retrouve aussi haut dans le classement est qu'elle découle d'un processus de priorisation d'actions d'adaptation qui allie savoirs locaux et informations scientifiques en regroupant les fermiers, les ONG, les chercheurs et les représentants du gouvernement dans une recherche de consensus sur les meilleures actions à entreprendre (Lee *et al.*, 2014). Ainsi, puisqu'elle est issue de ce procédé participatif, la conservation des variétés de patates indigènes est une mesure conçue par et pour la population. La source d'où est tirée la mesure ne décrit pas amplement comment elle peut s'articuler concrètement, mais donne un point de départ pour une recherche plus poussée. Il s'avère que des actions de conservation de la diversité agricole ont déjà vu le jour dans les Andes. Par exemple, l'initiative régionale Papa Andina menée par le centre international de la patate tente de favoriser la connexion entre les petits agriculteurs et les marchés (Tobin *et al.*, 2018). L'objectif est de sortir de la pauvreté les communautés les plus vulnérables en valorisant la ressource unique qu'elles possèdent déjà, la diversité génétique de leurs cultures. Pour ce faire, ils ont travaillé à développer la demande pour des patates de toutes les formes et couleurs, ils ont amélioré les capacités de stockage et d'emballage et ont favorisé les relations entre les producteurs et les entreprises (Meinzen-Dick *et al.*, 2009). Toutefois, Tobin *et al.* (2018) remarquent que même si ces actions peuvent améliorer les conditions de vie des producteurs, elles ne garantissent pas nécessairement la conservation de la diversité agricole, puisqu'elles ne visent qu'un sous-ensemble des variétés, celles de meilleure qualité. Pour cette raison, la valorisation de la diversité des cultures ne doit pas se limiter aux outils économiques. Elle peut aussi passer par le renforcement de la reconnaissance éthique et culturelle de la valeur de la biodiversité qui peut être encouragée par des foires agricoles et des réseaux d'échange de semences (Tobin *et al.*, 2018).

Un autre exemple créatif provenant du Pérou et qui vise les mêmes objectifs est le *Parque de la papa*, un territoire consacré à la conservation des pratiques agricoles et culturelles traditionnelles. Le parc est administré par les habitants autochtones eux-mêmes selon le modèle de *l'ayllu* abordé plus haut qui vise l'atteinte d'un bien être durable pour ses membres (Argumedo & Wong, 2010). La désignation de l'espace comme parc dont l'élément central est la diversité de patates et les traditions qui s'y rattachent crée de nouvelles opportunités économiques pour la population, mais en gardant la santé des écosystèmes comme condition au développement. En ce sens, la création du parc constitue une manière innovante d'augmenter la capacité adaptative des habitants des montagnes par la conservation de la diversité des cultures et la génération de nouveaux revenus y étant associés.

La valorisation de cultivars traditionnels par les moyens décrits plus haut est une solution qui pourrait aussi diminuer les risques associés à la fonte des glaciers et aux changements climatiques dans l'Himalaya. En effet, on y retrouve pareillement un système traditionnel qui favorise le développement d'une impressionnante diversité agricole pour répondre aux conditions imprévisibles et qui fait intervenir un lien fort avec la culture (Negi & Maikhuri, 2013). Ces modes de production se sont effrités au passage de la révolution verte qui a mis l'accent sur les monocultures et l'agriculture intensive. De plus, les habitants des montagnes ont longtemps été ignorés dans les politiques agricoles, concentrées sur les plaines, qui devaient les soutenir (Negi & Maikhuri, 2013). Le cas des projets de valorisation de l'agrobiodiversité mis en place dans les Andes offre des exemples inspirants pour bonifier les initiatives de conservation des cultures qui commencent déjà à voir le jour dans l'Hindou Kouch-Himalaya (Sthapit *et al.*, 2003).

4.2.4 Les études de vulnérabilité et la recherche scientifique

Plusieurs mesures des tableaux 4.1 et 4.2 proviennent d'études de vulnérabilité menées au sein des communautés des Andes et de l'HKH. Ces études peuvent à leur tour être considérées comme un travail préparatoire nécessaire avant l'application de mesures plus concrètes et figurer elles-mêmes au classement (7A, 17A, 19A, 36A, 21H). En effet, elles permettent de cibler les besoins des populations et de favoriser la réflexion commune sur les solutions possibles. Certains chercheurs appliquent aussi une méthodologie de priorisation des actions d'adaptation qui fait intervenir le savoir local des habitants dans un cadre établi par des experts. Les conclusions de ces travaux peuvent servir à orienter des stratégies et des politiques ou à donner une impulsion pour entreprendre des projets. D'ailleurs, l'UICN (2015) considère les études de vulnérabilité comme essentielles pour supporter l'approche de l'adaptation

fondée sur les écosystèmes. Il s'agit donc encore une fois de mesures mises en lumière par l'évaluation qui pourraient être associées à ce cadre d'intervention.

Le concept de vulnérabilité a plusieurs définitions, mais il peut se résumer par le degré auquel un système est exposé à un stress, dans quelle mesure il y est sensible et à quel point il a la capacité de s'y adapter (Adger, 2006). La plupart des études de vulnérabilité se font à partir d'entrevues dans les foyers d'une communauté. Les chercheurs récoltent les perceptions des habitants sur leur sensibilité et leur exposition aux effets des changements climatiques ou aux événements environnementaux extrêmes (Lasage *et al.*, 2015; McDowell & Hess, 2012; Christmann, 2015). Ils peuvent aussi considérer les informations socioéconomiques reliées aux familles comme les revenus, le niveau d'éducation, et l'âge pour cibler les causes de la vulnérabilité (Lasage *et al.*, 2015). En d'autres mots, les études de vulnérabilité attirent l'attention sur les facteurs qui diminuent la capacité adaptative des foyers. Quelques études vont plus loin en demandant aux gens les réponses qui sont déjà appliquées pour s'adapter aux changements ou les mesures qui selon eux pourraient être bénéfiques. Ces propositions sont parfois récoltées à travers une série d'ateliers à laquelle participe la population ce qui permet alors d'entreprendre un processus de priorisation des initiatives (Lee *et al.*, 2014). Ces réunions sont une bonne occasion d'inviter des représentants du gouvernement et d'ONG dans la tentative de connecter les parties prenantes. Parfois, l'intégration des initiatives soulevées dans un plan d'action gouvernemental est même une étape incluse dans la méthodologie de l'étude (Lee *et al.*, 2014).

La recherche participative peut aussi avoir comme effet de faire réaliser à la communauté la nécessité d'entreprendre des actions d'adaptations collectives en prévision des conditions futures. En effet, même si souvent les changements et leurs effets sont perçus par la population, cette dernière n'envisage pas nécessairement que la situation va perdurer ou qu'elle pourrait devenir pire (Christmann *et al.*, 2015). Aussi, plusieurs foyers répondent au changement par des solutions individuelles, mais il peut arriver que ces mesures nuisent à la capacité adaptative du groupe (Christmann *et al.*, 2015). Par exemple, dans un village de l'HKH, les habitants se sont mis à diversifier leurs activités ce qui a mené à la négligence des terres communes et risque d'être problématique à long terme (Christmann *et al.*, 2015).

Les études participatives sur la vulnérabilité sont un pont entre les informations académiques et les applications qu'elles peuvent avoir. Certains chercheurs ajoutent à la méthodologie basée sur les entrevues, une étape de recherche préparatoire qui sert à prévoir les changements environnementaux à venir à l'aide de la littérature scientifique et de la modélisation. Ce travail permet d'orienter les discussions avec les participants et de fournir un cadre scientifique qui éventuellement supporte les perceptions des

habitants (Lasage *et al.*, 2015). D'ailleurs, quelques mesures du tableau 4.1 se rapportent à des programmes de recherche scientifique qui visent à prévoir les impacts de la fonte des glaciers (30A, 43A, 44A et 45A). Par exemple, grâce à la collaboration entre un organisme régional, les chercheurs et les gouvernements, un réseau de recherche sur les effets des changements climatiques comprenant 12 stations a pu voir le jour dans les Andes (43A). Il s'agit d'une initiative qui applique au niveau régional le cadre de la *Global Observation Research Initiative in Alpine Environments* (GLORIA) dans le but de fournir des recommandations techniques pour supporter la formulation de mesures d'adaptation (Schoolmeester *et al.*, 2016). La recherche scientifique peut être d'autant plus adaptée au contexte local si elle intègre les connaissances traditionnelles dans la production de nouveaux savoirs. Par exemple, la mesure 15H du tableau 4.2 rappelle comment des communautés autochtones arrivent à prévoir les inondations en observant les changements dans le ciel et le comportement des animaux (Dewan, 2015). Ces connaissances sont précieuses pour guider la formulation de mesures d'adaptation et la recherche participative décrite plus haut est une des multiples manières de les mettre à profit.

En résumé, les études de vulnérabilité et la recherche scientifique sont utiles à la formulation de projets d'adaptation qui prennent en considération les besoins des populations et du milieu naturel. En étant inclus dans une approche qui suit les autres critères de bonnes pratiques, par exemple l'approche fondée sur les écosystèmes, ce type d'évaluation préparatoire a un véritable potentiel d'améliorer la capacité d'adaptation des peuples des Andes et de l'HKH. D'ailleurs, en reconnaissance de son importance, le PNUE a mis en place le programme global de recherche sur la vulnérabilité, les impacts et l'adaptation (PROVIA) qui guide les pratiques dans le domaine.

Dans les tableaux 4.1 et 4.2, il se trouve plus d'études de vulnérabilité dans les Andes que dans l'HKH. Cette situation n'indique pas nécessairement que ce type de recherche est moins réalisé dans l'HKH, mais elle laisse croire que le processus est plus souvent détaillé pour des cas dans les Andes. À la suite de la discussion des bénéfices que peuvent apporter ce type de travail préparatoire, une plus grande quantité d'études de vulnérabilité ne peut être que souhaitable et l'évaluation montre que les Andes possèdent de bons exemples desquels il est possible de s'inspirer.

4.2.5 Les mesures transformatrices

Tel que discuté dans le chapitre 2, les communautés des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya subissent des pressions économiques et sociales qui diminuent leur capacité à pouvoir s'adapter aux effets de la fonte des glaciers. Dans certains cas, ces forces sont tellement enracinées dans les fondements du

socioécosystème qu'un changement radical est nécessaire pour assurer la persistance des peuples marginalisés. Dans leur base de données, McDowell *et al.* (2019) ont noté les mesures pour lesquelles il y avait des preuves que l'adaptation avait mené à une dynamique socioécologique fondamentalement nouvelle. Il y a très peu d'occurrences de cette transformation : sur les 397 mesures évaluées, seulement deux initiatives provenant du même document avaient eu cet effet. Cela dit, dans le contexte où l'on cherche des exemples de pratiques qui puissent augmenter la capacité adaptative des communautés marginalisées, ces mesures qui défont et reconstruisent les liens entre les composantes du socioécosystème méritent qu'on y porte une attention particulière.

L'émancipation des femmes à travers le programme de soutien rural Aga Khan (AKRSP)

Au début des années 80, la fondation Aga Khan, une organisation à but non lucratif, a mis en place un programme pour améliorer les conditions de vie des habitants des montagnes reculées au nord du Pakistan. Dans cette région, la surexploitation des quelques forêts environnantes et la dégradation des terres par une agriculture intensive ont rendu vulnérable la population face aux effets des changements climatiques, dont la fonte des glaciers, car ils ont alors perdu la protection contre les inondations et les ressources durables associées à la forêt (FAO, 2011). Le programme de soutien rural Aga Khan (17H) (AKRSP) s'est attaqué à ces problématiques avec la construction d'infrastructures pour connecter les villages, le renforcement des institutions locales avec une orientation vers le développement durable et d'ambitieux projets de reforestation. Le programme réalise ses activités en mettant de l'avant une gouvernance participative qui passe par l'établissement d'organisations de villages (Settle, 2012). Il a reçu beaucoup d'éloges de la part de la Banque mondiale et de la littérature du développement (Settle, 2012). Son succès lui a valu d'être répliqué dans tout le Pakistan et même dans d'autres pays.

Puisque dans cette région, la majorité des tâches agricoles sont effectuées par des femmes et qu'elles se trouvent donc à l'avant-plan des pressions climatiques, le programme s'est doté d'une stratégie pour améliorer leur condition et combattre les inégalités qu'elles subissent. Ainsi, le AKRSP a mis en place des projets pour faciliter l'accès aux services financiers pour les femmes, l'accès à l'éducation et à la santé. Pour ce faire, ils ont construit au fil des années un réseau d'organisations de femmes qui leur permet de se mobiliser ensemble et qui offre des formations sur plusieurs sujets (Gul, 2004). En reconnaissance du grand rôle que jouent les femmes dans l'adaptation, le AKRSP a lancé au début des années 90 le programme «Women, a Catalyst in Environmental Change»⁷ qui promeut la plantation d'arbres sur le bord

⁷ Les femmes, un catalyseur dans le changement environnemental (traduction libre)

des champs en passant par les organisations de femmes. Les retombées du projet ont été multiples : les pratiques agricoles ont évolué vers une meilleure conservation des sols, les habitants ont pu satisfaire leurs besoins en bois et les femmes ont pu développer une forme de revenu additionnel qui les rapproche de l'indépendance financière (FAO, 2011; Ali *et al.*, 2016). En d'autres mots, les efforts soutenus du programme AKRSP dans la région ont modifié le socioécosystème en favorisant un développement plus durable et égalitaire.

Toutefois, il est nécessaire de prendre un pas de recul avant de proposer de reproduire le AKRSP dans les pays des Andes. En effet, Settle (2012) met en garde contre le paradigme néolibéral que le programme véhicule et le manque de mécanisme qui tient l'organisme responsable de ses actions. La chercheuse reconnaît les retombées positives de AKRSP, mais elle critique le fait qu'il prenne petit à petit la place du gouvernement dans le développement, ce qui l'affaiblit et rompt sa connexion avec le peuple. À travers AKRSP, les communautés deviennent de plus en plus liées aux ONG et aux acteurs privés qui n'ont pas nécessairement le même devoir de responsabilité envers la population qu'un gouvernement élu. On peut alors se demander si les organismes ont plus de comptes à rendre à la population ou à ceux qui financent leurs activités. La fondation Aga Khan par exemple est soutenue financièrement par l'Aga Khan, le chef spirituel milliardaire de la branche musulmane des ismaéliens. Leur programme AKRSP a d'abord été mis en place dans les communautés ismaéliennes avant d'être reproduit ailleurs et Settle fait remarquer que le projet a eu beaucoup de succès initialement grâce au fait que la population avait associé le programme à leurs croyances. Dans les autres régions de confessions différentes, les projets ont eu beaucoup plus de difficulté à fonctionner et il se propage même des rumeurs que les ismaéliens sont injustement avantagés par le programme. Settle (2012) exprime aussi une méfiance envers la gouvernance participative elle-même. Elle constate que l'établissement de systèmes de gestion communautaire vient parfois renforcer les divisions de clans déjà existantes dans une localité et favoriser l'élite qui peut contrôler le processus. De la même manière, un mécanisme de gouvernance participative qui donne la parole aux femmes ne garantit pas qu'elles accéderont soudainement à un pouvoir égalitaire. Souvent, l'inégalité est ancrée plus profondément dans la structure sociale. Cette réflexion force à repenser le reste des mesures discutées dans l'essai. En effet, les initiatives qui permettent une participation de la population cible avec un certain degré d'autonomie étaient mises de l'avant, mais dans pratiquement aucun cas, un mécanisme pour empêcher la prise de contrôle du processus par un groupe dominant n'est détaillé.

Le parc spirituel de Vilcanota

Une autre mesure dont les effets sont de transformer le socioécosystème est l'établissement du parc spirituel de Vilcanota au Pérou (32A) dont l'objectif est la conservation du lien sacré entre la population et la nature par la protection du mode de vie traditionnel et des rites ancestraux (FAO, 2011). Le projet est très similaire à celui du *Parque de la papa* et s'appuie aussi sur les formes de gestion autochtones comme l'*Ayllu* et l'*Ayni*, mais est discuté séparément ici pour souligner la particularité de son approche spirituelle. En effet, la section 1.6 soulignait l'importance du lien culturel et religieux entre les habitants et les glaciers et le parc spirituel de Vilcanota est une des très rares mesures qui vise directement cette composante du socioécosystème. Dans cette communauté au cœur des Andes, les habitants ont à cœur les montagnes et les près de 450 glaciers qu'elles abritent (Tindall, 2014). Ils y pratiquent des cérémonies et leur mode de vie est intrinsèquement lié à l'eau qui en provient. Les pressions extérieures, entre autres climatiques, mais aussi économiques à travers le tourisme et l'extraction de ressources naturelles, menacent la persistance des activités des habitants et du même coup leur identité. L'idée est alors survenue de déclarer la région comme un parc naturel spirituel où le territoire serait géré localement ce qui permettrait en théorie de conserver les revenus du tourisme tout en misant sur un développement qui ne met pas en danger les pratiques traditionnelles. Il s'agit d'une transformation dans le sens où les habitants prennent en main eux-mêmes leur sort et décident de la manière dont ils s'adapteront aux changements climatiques. La trajectoire choisie, celle de la conservation des traditions, est transformatrice puisqu'elle s'oppose au paradigme du développement extractiviste qui commençait à s'introduire dans la cordillère. Cette mesure mérite l'attention, car elle propose la poursuite d'un développement durable, mais en ayant comme point de départ et ligne directrice la conservation de la culture. En reconnaissance des bénéfices que peuvent apporter les lieux sacrés protégés, l'UICN a préparé un document qui offre des lignes directrices pour l'établissement et la gestion de ces aires (Wild & McLeod, 2008).

Il est difficile de juger si l'idée serait exportable dans l'Hindou Kouch-Himalaya, puisque malgré les efforts soutenus de la population de Vilcanota durant plusieurs années, un changement de gouvernement a forcé l'abandon du projet en 2004, peu de temps avant sa déclaration officielle (Tindall, 2014). En dépit du peu d'information qu'il est possible d'en retirer, le projet de parc spirituel fait réfléchir aux possibilités de mettre l'idée en pratique dans l'HKH. On peut y entrevoir un certain potentiel de l'initiative, puisque le tourisme est en plein essor depuis quelques années avec l'amélioration de l'accessibilité de l'alpinisme et de la randonnée en haute montagne (Nepal, 2000). Certains villages accueillent déjà le tourisme religieux du fait qu'ils sont à proximité de lieux sacrés qui attirent le pèlerinage (Ingty, 2017). Cependant, le tourisme

a aussi amené son lot de problèmes environnementaux et sociaux et les bénéficiaires des retombées sont souvent les investisseurs étrangers (Jangra & Kaushik, 2020). Une initiative d'aire protégée comme celle de Vilcanota pourrait adresser ces problématiques et serait l'occasion de renouveler avec l'aspect plus harmonieux du lien entre les habitants et leurs glaciers.

4.2.6 Les solutions technologiques

Un grand nombre de mesures qui concernaient des solutions technologiques ou d'ingénierie n'ont pas fait le classement des tableaux 4.1 et 4.2 car elles ne considéraient pas les critères de l'évaluation dans leur construction. Il est vrai que souvent ces mesures s'attaquent directement au problème et il ne faut donc pas les écarter, mais si elles ne considèrent pas la durabilité, qu'elles ne sont pas flexibles et qu'elles coûtent très cher, les communautés ne seront pas plus avancées dans la poursuite de leur adaptation. Qui plus est, si les solutions techniques ne considèrent pas l'environnement social dans lequel elles sont implémentées, il y a des risques d'introduire de nouvelles dynamiques problématiques comme dans le cas décrit plus haut où des canalisations ont permis le contrôle de la ressource en eau par le groupe dominant (Carey *et al.*, 2012). Néanmoins, il y a aussi la possibilité de concevoir des initiatives d'ingénierie qui tiennent compte de la satisfaction des critères de l'évaluation et dans ce cas les bénéfices peuvent être appréciables. Par exemple, le tableau 4.1 des mesures dans les Andes présente la construction de barrages de réservoir (33A) et l'introduction d'un système d'irrigation goutte-à-goutte à faible coût (34A). Dans ce cas, les barrages ont augmenté la surface irrigable de 5 hectares et le système d'irrigation a au moins doublé le rendement des légumes et de la luzerne (Lasage, 2015). Ces solutions technologiques ont fonctionné grâce au fait qu'elles sont issues d'une approche participative qui s'assure que la population s'approprie réellement le projet. Ainsi, Lasage et son équipe (2015) ont appliqué avec succès une méthode qui fait intervenir :

- La documentation préliminaire par les chercheurs des problèmes auxquels la localité est confrontée et des parties prenantes impliquées.
- Une étude de la vulnérabilité qui comprend des entrevues et de la modélisation hydrographique.
- Le développement de mesures appropriées à travers des réunions avec les parties prenantes.
- L'évaluation de la faisabilité de ces mesures par des experts et des intervenants clés.
- La sélection des mesures et leur implantation.
- L'évaluation des retombées et l'amélioration des mesures.

À chaque étape de ce processus, les parties prenantes sont en interaction et échangent leurs informations et leurs opinions pour arriver à des décisions consensuelles. Cet exemple qui provient des Andes montre que lorsque conçu en tenant compte du contexte local, les solutions technologiques peuvent aussi contribuer à augmenter la capacité adaptative. La Banque mondiale (2009b) présente un autre modèle de mesures technologiques (28A et 29A) visant la productivité agricole qui se retrouvent au tableau puisqu'elles découlent d'un processus participatif de priorisation. Du côté de l'HKH, le village de Minapin fournit un exemple révélateur du potentiel des solutions d'ingénierie lorsque les conditions leur sont favorables (11H). Ayant perdu leur source principale d'irrigation à la suite du recul des glaciers, les habitants ont entrepris la construction d'un réseau complexe de tuyaux pour apporter de l'eau à partir d'une rivière éloignée. Cet immense travail a porté ses fruits, mais il n'aurait pu être accompli sans la combinaison d'une main-d'œuvre volontaire et motivée, d'un leadership local et du support matériel d'un organisme international et du gouvernement (Spies, 2016). Même si l'essai met de l'avant l'approche fondée sur les écosystèmes, ces exemples sont un rappel qu'il y a d'autres options possibles.

4.2.7 Faiblesses des stratégies d'adaptation

L'analyse des mesures des tableaux 4.1 et 4.2 permet de tirer des leçons des cas de réussite, mais il y a aussi beaucoup à apprendre des actions qui n'ont pas obtenu beaucoup de points et de la raison qui explique cette situation. Au-delà du fait que plusieurs mesures n'étaient pas détaillées dans les documents de référence, il y a aussi des motifs dans le type de mesures avec une faible note qui donnent des indices de ce qui pourrait faire défaut dans les stratégies mises en place dans les Andes et dans l'Hindou Kouch-Himalaya.

D'abord, on observe une grande proportion de mesures pratiquées au niveau individuel ou familial en réponse aux conditions climatiques présentes. En contrepartie, il y a moins d'initiatives collectives planifiées en prévention des changements futurs. McDowell *et al.* (2019) arrivent à cette même conclusion au sujet de l'adaptation en haute montagne à travers le monde. Selon les chercheurs, la prépondérance de mesures spontanées qui ne sont pas appuyées par de l'information scientifique robuste met en doute la durabilité de ces initiatives autonomes face à la gravité des changements prévus (McDowell *et al.*, 2019). Cela dit, puisqu'il faut, d'une part, reconnaître que les savoirs traditionnels et locaux peuvent contribuer eux aussi à prévoir les changements à venir et guider l'adaptation et d'autre part, rappeler qu'une idée innovante peut autant émerger du niveau individuel ou familial que du niveau collectif, ces observations ne sont pas inquiétantes. Néanmoins, plusieurs autres conclusions de McDowell *et al.* (2019) sont

appuyées par la réévaluation des mesures réalisée dans le cadre de cet essai et la figure 4.3 appuie certaines des observations des chercheurs.

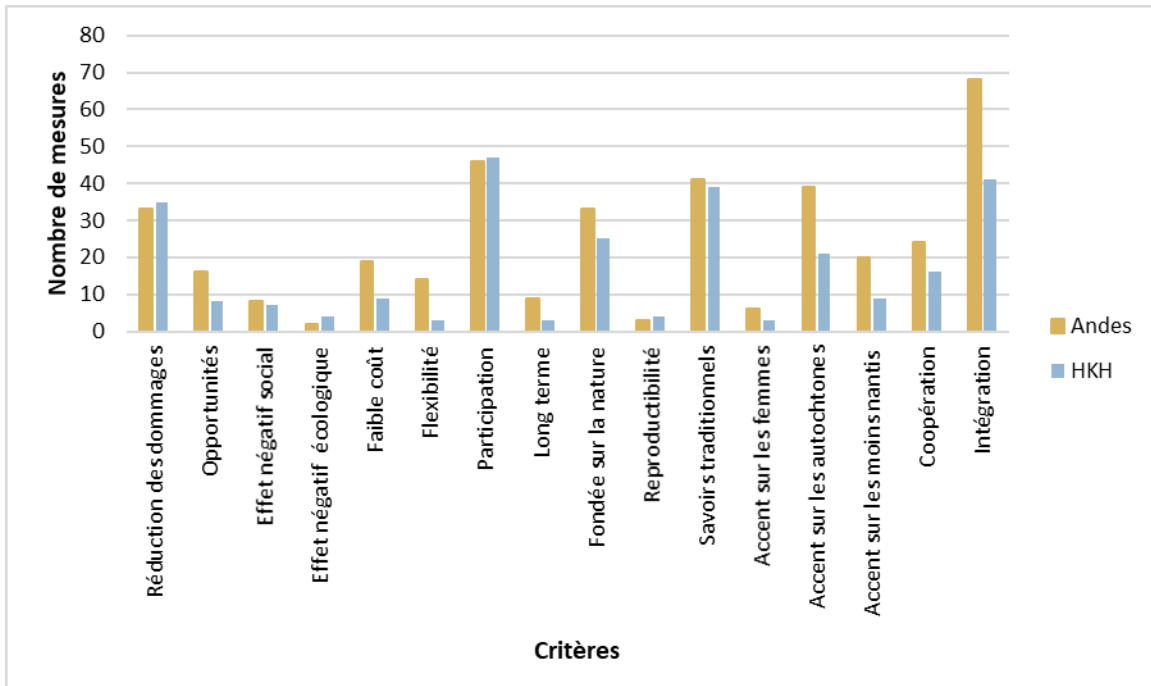


Figure 4.3 Nombre de mesures qui satisfont à chaque critère évalué

Il n’y a pas de différence notable entre les deux régions pour le nombre de mesures qui satisfont à chacun des critères sauf pour celui de l’intégration au sein des politiques en place et la collaboration entre les paliers de gouvernement, qui est nettement plus élevé dans les Andes. Cet écart peut s’expliquer par le fait qu’un plus grand nombre de mesures dans les Andes (113 contre 62) provient de la documentation d’organisations internationales qui ont plus tendance à décrire comment leurs actions s’inscrivent dans la gouvernance locale que les auteurs d’articles scientifiques. Fait plus révélateur de la figure 4.3, on remarque une faible quantité de projets qui incluent l’évaluation à long terme des résultats, ce qui rend difficile l’appréciation de leur efficacité et complique leur reproduction à plus grande échelle. Si on ajoute à ce facteur le fait que ce n’est qu’une petite partie des mesures d’adaptation appliquées dans les Andes et dans l’HKH qui sont décrites dans des publications scientifiques, la transmission des apprentissages est limitée (Huggel *et al.*, 2015). Dans le même sens, la reproductibilité elle-même est très rarement mentionnée explicitement dans les textes de référence, tandis que la fonte des glaciers est une problématique mondiale qui exige d’étendre les succès d’adaptation locaux à une plus large échelle.

Pareillement, dans un contexte où la science sur les impacts locaux du recul des glaciers n'est pas complète, la faible quantité de mesures intentionnellement flexibles est alarmante. Ensuite, l'accent est très peu mis sur les femmes dans la conception d'actions d'adaptation, malgré la reconnaissance grandissante de leur rôle dans la lutte aux changements climatiques par le milieu académique et les organisations internationales (CCNUCC, 2013). L'application de la grille multicritère révèle que seulement neuf mesures remplissent le critère de l'implication des femmes, soit 2% des initiatives des deux régions. Qui plus est, ces points ont été octroyés généreusement et dans aucun cas il n'est mentionné que les femmes ont effectivement pu accéder à une position au moins égale à celle des hommes. En raison des injustices qu'elles ont subies à travers l'histoire et de leur exclusion de la prise de décision, les femmes se retrouvent souvent avec moins de ressources pour s'adapter aux changements climatiques et cela les rend particulièrement vulnérables (Alston, 2013). D'un autre côté, elles sont aussi porteuses d'une irréductible résilience et sont des actrices clés dans la conception des solutions. Dans cet ordre d'idée, même si l'essai met de l'avant l'importance des mesures qui font intervenir des modes de gouvernance ancestraux, la mise en valeur de ces anciens systèmes apporte le risque de renforcer et de normaliser des structures inégalitaires où la femme est mise au second plan (Alston, 2013). Une véritable démarche d'adaptation devrait être sensible aux dynamiques de genre et avoir comme objectif supplémentaire l'élimination des inégalités. Il s'agit d'un concept qui commence à guider les pratiques de plusieurs organisations internationales, mais l'évaluation révèle qu'il y a beaucoup de chemin à faire dans les Andes et dans l'HKH.

Une autre réflexion qui émerge du processus d'évaluation dans son ensemble est le fait que la grande majorité des mesures porte sur les secteurs de l'agriculture et de l'eau. Cette situation n'est pas surprenante; il est normal que les gens visent d'abord à assurer leurs besoins de base. Toutefois, les premiers chapitres brossaient le portrait d'un socioécosystème qui comprend un réseau complexe de liens entre ses diverses composantes. Le fait de laisser de côté une de ces composantes, par exemple la culture, qui ne fait l'objet que de cinq mesures, peut faire en sorte qu'on passe à côté d'opportunités d'instaurer un réel changement qui augmente la capacité adaptative. Plusieurs mesures qui se retrouvent aux tableaux 4.1 et 4.2 concernent les manières d'organiser les communautés. En explorant ces options, il ne faut alors pas oublier que la culture et l'identité qui s'y rattache sont en quelque sorte la colle qui solidifie les liens entre les membres de la société. Souvent, les rites et les traditions construisent un environnement qui favorise la cohésion sociale, laquelle ajoute à la capacité adaptative des peuples (Watson-Jones & Legare, 2016). En outre, l'esprit de collectivité devient essentiel en situation de grande difficulté, après une inondation par exemple, alors que le soutien des voisins peut faire toute la différence (Dewan, 2015).

Il s'agit d'ailleurs d'une pratique qui figure au tableau 4.2 (16H). En ce sens, la préservation et la mise à jour de l'activité culturelle sont indispensables à la durabilité des institutions sociales mises de l'avant par l'évaluation. Malgré le fait que cet aspect soit sous-représenté, les quelques mesures qui l'abordent comme le parc spirituel de Vilcanota et les *stūpas*, de glace offrent des idées inspirantes pour prendre la culture comme point de départ à la transformation adaptative du socioécosystème.

Un autre motif à surveiller est le fait qu'il se trouve un grand nombre de mesures extraites des documents qui portent sur la migration et la recherche de nouvelles sources de revenus, entre autres à travers le tourisme et la vente de cultures commerciales. La plupart de ces réponses ont obtenu peu de points à l'évaluation, mais elles ne sont pas à négliger parce qu'elles changent le visage des sociétés. D'une part, les individus qui s'exilent pour se trouver un travail peuvent envoyer des revenus essentiels à leur famille et le passage à des activités plus rentables économiquement permet d'obtenir des produits manufacturés. Toutefois, la migration pour trouver un emploi fait aussi en sorte que la communauté perd ses travailleurs, ce qui ajoute une pression supplémentaire sur ceux qui restent (Banque mondiale, 2011). Dans le même sens, une orientation vers des activités plus commerciales amène une dépendance envers les marchés qui peuvent être instables et pas toujours accessibles sans un intermédiaire qui retient une partie des profits (McDowell & Hess, 2012). Ce type de réponse adaptative n'est pas nécessairement mauvais puisqu'il permet à certains d'accéder à un meilleur niveau de vie. Cela dit, il est inquiétant qu'aucune mesure analysée n'offre un cadre qui permette de minimiser les retombées négatives de la migration et de l'abandon des activités de subsistance. Par exemple, Orlove (2009) soulève la possibilité pour les organisations externes d'appuyer les familles dans leur relocalisation en leur présentant des options qui leur permettent de continuer à pratiquer les activités pour lesquels elles ont de l'expertise au lieu d'aller chercher un travail mal payé en ville.

Toujours dans la sphère économique, on remarque qu'aucune mesure des tableaux 4.1 et 4.2 ne traite de l'adaptation du secteur hydroélectrique. Le chapitre 1 présentait comment la production d'énergie joue déjà un rôle important dans le développement des deux chaînes de montagnes et décrivait dans quelle mesure elle est liée à la dynamique des glaciers. Les impacts du recul dans ce secteur peuvent être complexes et dépendre du stade de retraite et des conditions locales. Une chose est sûre, les modifications hydrologiques à venir doivent être précisément évaluées et prévues si les pays étudiés veulent tirer profit des rivières de manière durable. Cela dit, l'essai a mis de l'avant l'importance de considérer les diverses composantes des socioécosystèmes. Dans ce sens, les études qui fournissent des informations en vue de projets hydroélectriques devraient aussi inclure les dimensions humaines et environnementales des sites

analysés pour éviter ou minimiser les retombées néfastes. Toutefois, puisqu'aucune mesure de l'évaluation ne fait mention d'une stratégie qui aborde convenablement l'adaptation de l'hydroélectricité à la fonte des glaciers, cela suggère que l'encadrement de ce secteur par les gouvernements est peut-être insuffisant et donc que la considération des réalités locales en amont des projets n'est pas nécessairement mise de l'avant dans le développement. L'historique des deux chaînes de montagnes montre que l'hydroélectricité est souvent source de conflits entre les intérêts locaux et nationaux ou étrangers (Pérez-Rincón *et al.*, 2018; Dukpa *et al.*, 2019). Dans un contexte où la composante hydrologique est appelée à subir des modifications apportant des répercussions multiples, la résolution de cet antagonisme devrait être une priorité.

L'aperçu des faiblesses potentielles dans les stratégies des intervenants des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya complète la démarche de l'essai qui vise la recherche de pistes de solutions pour améliorer la résilience des peuples des hautes montagnes. En ce sens, chaque section de la discussion constitue un regroupement d'idées qui peut alimenter la réflexion sur le sujet.

CONCLUSION

Le recul des glaciers qui s'est accéléré dans les dernières années modifie le paysage des hautes montagnes du monde. Dans les chaînes de montagnes comme les Andes, l'Himalaya et l'Hindou Kouch, des communautés ont développé au fil des siècles une relation forte avec la cryosphère. Le premier objectif de cet essai était de décrire la place qu'occupent les glaciers dans la cordillère des Andes et dans l'HKH. Il a été adressé par un portrait des deux régions sous l'angle du concept de socioécosystème dont les composantes interagissent pour donner un tout plus grand et plus complexe que la somme de ses parties. La décision de placer les glaciers au centre de la description donne un point d'entrée évocateur qui permet d'approfondir un système qui fait intervenir des éléments autant environnementaux, sociopolitiques, physiques et spirituels. La description des socioécosystèmes des Andes et de l'HKH a montré que, comme les glaciers qui existent grâce à un processus dynamique, les communautés humaines et le milieu naturel qu'ils habitent sont aussi des entités résilientes qui se sont adaptées depuis longtemps à des conditions changeantes.

Cela dit, il peut arriver que des pressions particulièrement fortes ou persistantes demandent un effort d'adaptation supplémentaire aux êtres vivants pour éviter de subir des dommages ou pour arriver à tirer profit de nouvelles conditions. Pour certains, le phénomène du recul des glaciers représente cette force de changement, car il a des conséquences qui peuvent menacer jusqu'à la survie et l'identité des communautés. Le second objectif de l'essai était la synthèse des causes du recul des glaciers observé dans les Andes et l'HKH et des changements que cet événement provoque dans les socioécosystèmes. Il a été couvert par une explication de la manière dont le réchauffement climatique global pourrait se traduire dans les systèmes régionaux et des implications de ces changements sur le cycle hydrologique. Ensuite, les impacts du recul des glaciers sur chaque composante des socioécosystèmes ont été expliqués en soulignant au passage les facteurs qui contribuent à limiter la capacité adaptative des peuples des montagnes.

À travers leurs objectifs respectifs, les chapitres un et deux ont permis au lecteur d'avoir un aperçu de la situation que vivent les communautés des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya et de s'être familiarisé avec l'approche conceptuelle proposée. Ces notions ont permis d'introduire les chapitres trois et quatre qui répondent à l'objectif principal de l'essai, c'est-à-dire mettre en lumière et discuter des mesures d'adaptation observées dans les Andes et dans l'HKH qui affichent des caractéristiques prometteuses. Pour accomplir cet objectif, le chapitre trois a détaillé la grille multicritère utilisée pour faire ressortir un ensemble de mesures profitables à partir d'une grande liste d'initiatives. L'explication de la méthodologie

a permis de préciser l'utilité et les limites des apprentissages qui découlent de l'analyse des mesures d'adaptation réalisée au cours de l'essai.

Le chapitre quatre a présenté le classement des mesures d'adaptation qui permet une discussion sur les éléments exportables des initiatives et sur les leçons qui se dégagent de l'expérience de leurs concepteurs. Il ressort de cette analyse que l'approche fondée sur les écosystèmes s'appuie sur des principes similaires aux critères utilisés dans l'évaluation et donc, que ce cadre est prometteur dans la poursuite de l'adaptation des communautés des Andes et de l'HKH. Aussi, puisque la fonte des glaciers pourrait amener une diminution des ressources naturelles, leur gestion efficace et leur répartition équitable seront cruciales dans les années à venir pour combler les besoins de tous. Dans ce contexte, l'essai a mis en lumière des systèmes de gestion et des modes d'élevage traditionnels déjà présents dans les deux chaînes de montagnes à l'étude et qui pourraient être renforcés pour assumer cette fonction. En outre, ces structures de gouvernance pourront se révéler utiles pour assurer la distribution des retombées qui découlent des interventions technologiques d'adaptation. La discussion a aussi présenté des cas où les mesures d'adaptation mises en place ont causé la transformation plus profonde du socioécosystème et dont l'analyse a révélé des caractéristiques à reproduire et d'autres qui devraient être travaillées avant leur exportation. En ce sens, les études de vulnérabilité qui se sont retrouvées au sommet du classement des mesures illustrent la nécessité d'être bien informé sur le contexte local pour arriver à concevoir des solutions éclairées. Plusieurs mesures étaient similaires dans les deux régions, mais certaines initiatives uniques ont permis de donner des exemples concrets sur la manière dont chaque chaîne de montagne pourrait profiter de l'ingéniosité des autres communautés du monde si le transfert des connaissances était facilité. Enfin, l'évaluation des initiatives suggère que de nouvelles études sont nécessaires pour combler les faiblesses des stratégies d'adaptation des Andes et de l'Hindou Kouch-Himalaya, notamment en ce qui concerne les inégalités de genre, l'adaptation culturelle, la mobilité croissante des populations et l'encadrement du développement hydroélectrique.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, vol. 16, no 3, p. 268-281.
- Adger, W. N. (2010). Social capital, collective action, and adaptation to climate change. *Economic Geography*, vol 79, no 4, p. 387-404.
- Adhikary, S., Nakawo, M., Seko, K., & Shakya, B. (2000). Dust influence on the melting process of glacier ice : experimental results from Lirung Glacier, Nepal Himalayas. *IAHS Publications*, no 264, p. 43-52.
- Aggarwal, P. K., Joshi, P. K., Ingram, J. S. & Gupta, R. K. (2004). Adapting food systems of the Indo-Gangetic plains to global environmental change: key information needs to improve policy formulation. *Environmental Science & Policy*, vol. 7, no 6, p. 487-498.
- Agoramoorthy, G. (2015). Sacred rivers: their spiritual significance in Hindu religion. *Journal of religion and health*, vol. 54, no 3, p. 1080-1090.
- Agrawal, A. (2008). *The role of local institutions in adaptation to climate change*. Washington, États-Unis, Banque mondiale, 65 p. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/28274/691280WPOP11290utions0in0adaptation.pdf?sequence=1> (Page consultée le 21 octobre 2020).
- Ahmed, M. & Suphachalasai, S. (2014). *Assessing the costs of climate change and adaptation in South Asia*. Mandaluyong, Philippines, Asian Development Bank, 163 p, <https://think-asia.org/bitstream/handle/11540/46/assessing-costs-climate-change-and-adaptation-south-asia.pdf?sequence=1> (Page consultée le 2 septembre 2020).
- Alata, E., Fuentealba, B. & Recharte, J. (2018). El despoblamiento de la puna: efectos del cambio climático y otros factores. *Revista Kawsaypacha: sociedad y medio ambiente*, no 2, p. 49-68.
- Aldunce, P., Bórquez, R., Adler, C., Blanco, G. & Garreaud, R. (2016). Unpacking resilience for adaptation: Incorporating practitioners' experiences through a transdisciplinary approach to the case of drought in Chile. *Sustainability*, vol. 8, no 905, p. 1-21.
- Alfthan, B., Gupta, N., Gjerdi, H. L., Schoolmeester, T., Andresen, M., Jurek, M. & Agrawal, N. K. (2018). *Outlook on climate change adaptation in the Hindu Kush Himalaya*. Vienne, Arendal et Katmandou, Programme des nations unies pour l'environnement (UNEP), GRID-Arendal et ICIMOD, 96 p. https://gridarendal-websitelive.s3.amazonaws.com/production/documents/:s_document/411/original/MP_HKH_screen.pdf?1544437149 (Page consultée le 22 juin 2020).
- Ali, A., Bano, N. & Dziegielewski, S. F. (2016). Role of AKRSP on gender development: A case study in Pakistan. *Journal of Social Service Research*, vol. 42, no 4, p. 548-555.
- Allison, E. A. (2015). The spiritual significance of glaciers in an age of climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 6, no 5, p. 493-508.

- Alston, M. (2013). Women and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 4, no 5, p. 351-358.
- Andrade, A, Córdoba, R, Dave, R., Girot, P, Herrera-F., B, Munroe, R, Oglethorpe, J, Paaby, P, Pramova, E, Watson, E & Vergar, W. (2011). *Draft Principles and Guidelines for Integrating Ecosystem-based Approaches to Adaptation in Project and Policy Design: a discussion document*. UICN- CEM, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 27p. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2011-064.pdf> (page consultée le 10 novembre 2020).
- Andreae, M. O., Jones, C. D. & Cox, P. M. (2005). Strong present-day aerosol cooling implies a hot future. *Nature*, vol. 435, no 7046, p. 1187–1190.
- Anguelovski, I., Chu, E. & Carmin, J. (2014). Variations in approaches to urban climate adaptation: Experiences and experimentation from the global South. *Global Environmental Change*, vol. 27, p. 156-167.
- Antonelli, A., Kissling, W. D., Flantua, S. G., Bermúdez, M. A., Mulch, A., Muellner-Riehl, A. N., Kreft, H., Linder, H. P., Badgley, C. & Fjeldså, J. (2018). Geological and climatic influences on mountain biodiversity. *Nature Geoscience*, vol. 11, no 10, p. 718-725.
- Arenson, L. U., Jakob, M. & Wainstein, P. (2015). Effects of dust deposition on glacier ablation and runoff at the Pascua-Lama Mining Project, Chile and Argentina. In Lollino, G., Manconi, A., Clague, J., Shan, W., Chiarle, M, *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1* (p. 27-32). Springer.
- Argumedo, A. (2008). The Potato Park, Peru: Conserving agrobiodiversity in an Andean Indigenous Biocultural Heritage Area. In Amend T., Brown J., Kothari A., Phillips A. et Stolton S. (2008). *Protected Landscapes and Agrobiodiversity Values. Volume 1 in the series, Protected Landscapes and Seascapes* (p.45-58). Heidelberg, Allemagne, IUCN et GTZ.
- Argumedo, A. & Wong, B.Y.L. (2010) The ayllu system of the Potato Park (Peru) In Bélair, C., Ichikawa, K., Wong, B.Y. L., et Mulongoy, K.J., Sustainable use of biological diversity in socio-ecological production landscapes. Background to the ‘Satoyama Initiative for the benefit of biodiversity and human well-being.’ Technical Series no 52 (p. 84-90). Montréal, Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique.
- Armstrong, R. L., Rittger, K., Brodzik, M. J., Racoviteanu, A., Barrett, A. P., Khalsa, S.-J. S., Raup, B., Hill, A. F., Khan, A. L. & Wilson, A. M. (2019). Runoff from glacier ice and seasonal snow in High Asia: separating melt water sources in river flow. *Regional Environmental Change*, vol. 19, no 5, p. 1249-1261.
- AIGACAA (Asociación integral de ganaderos en camélidos de los andes altos) (2001) Características y distribución de los bofedales en el ámbito boliviano. La Paz, Bolivie, AAIGACAA, 190 p. http://alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.12.pdf (page consultée le 21 juillet 2020).
- Bajracharya, S. R. & Mool, P. (2009). Glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods in the Mount Everest region, Nepal. *Annals of Glaciology*, vol. 50, no 53, p. 81–86.

- Bajracharya, S. R., Maharjan, S. B., Shrestha, F., Guo, W., Liu, S., Immerzeel, W. & Shrestha, B. (2015). The glaciers of the Hindu Kush Himalayas: current status and observed changes from the 1980s to 2010. *International Journal of Water Resources Development*, vol. 31, no 2, p. 161-173.
- Bajracharya, S. R., Mool, P. K. & Shrestha, B. R. (2007). *Impact of climate change on Himalayan glaciers and glacial lakes: case studies on GLOF and associated hazards in Nepal and Bhutan*. Katmandou, Népal, International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), 127 p. <http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/295/impact%20of%20climate%20change%20on%20himalayan%20glaciers%20and%20glacial%20lakes.pdf?sequence=1> (Page consultée le 27 août 2020).
- Bajracharya, S. R., Mool, P. K. & Shrestha, B. R. (2008). Global climate change and melting of Himalayan glaciers In Ranade, P.S. *Melting glaciers and rising sea levels: Impacts and implications* (p. 28-46). Hyderabad, Inde, Icfai's University Press.
- Bajracharya, SR & Shrestha, B (2011) *The status of glaciers in the Hindu Kush-Himalayan region*. Katmandou, Népal, ICIMOD, 140 p. <http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/1124/the%20status%20of%20glaciers%20in%20the%20hindu.pdf?sequence=1> (Page consultée le 26 juillet 2020).
- Banque mondiale (2008a) *Transitioning to climate resilient development: perspectives from communities in Peru*, Washinton, États-Unis, Banque mondiale, p. 113. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/18383/449450NWP0Box31EDP01150Climate0Peru.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (page consultée le 11 octobre 2020).
- Banque mondiale (Sperling, F., Validivia, C., Quiroz, R., Valdivia, R., Angulo, L., Seimon, A., Noble, I.) (2008b). *Transitioning to Climate Resilient Development : Perspectives from Communities in Peru*, Washington, États-Unis, Banque mondiale, 113 p. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18383?locale-attribute=en> (Page consultée le 12 novembre 2020).
- Banque mondiale (2009a). *Chile - Country note on climate change aspects in agriculture*, Washinton, États-Unis, Banque mondiale, p.11 http://www.globalislands.net/userfiles/_chile_Chiloe13.pdf (Page consultée le 12 novembre 2020).
- Banque mondiale (2009b). *Vulnerability to climate change in agricultural systems in Latin America and the Caribbean - building response strategies: final report*, Washinton, États-Unis, Banque mondiale, p.95 <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/24103/Vulnerability00egies000final0report.pdf?sequence=1> (Page consultée le 12 novembre 2020).
- Banque mondiale, (2011) *Building community resilience to climate change : Testing the adaptation coalition framework in Latin America*. Washinton, États-Unis, Banque mondiale, p. 50. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/318201468053711143/pdf/710040ESW0P1120rk0Latin0America0web.pdf> (page consultée le 11 octobre 2020).
- Banque mondiale (2013). *Overcoming institutional and governance challenges in environmental management: case studies from Latin America and the Caribbean region*, Washington, États-Unis,

Banque mondiale, 36 p. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/836951468265802131/overcoming-institutional-and-governance-challenges-in-environmental-management-case-studies-from-latin-america-and-the-caribbean-region> (Page consultée le 12 novembre 2020).

- Barcaza, G., Nussbaumer, S. U., Tapia, G., Valdés, J., García, J.-L., Videla, Y., Albornoz, A. & Arias, V. (2017). Glacier inventory and recent glacier variations in the Andes of Chile, South America. *Annals of Glaciology*, vol. 58, no 75 partie 2, p. 166-180.
- Barua, A., Katyaini, S., Mili, B. & Gooch, P. (2014). Climate change and poverty: building resilience of rural mountain communities in South Sikkim, Eastern Himalaya, India. *Regional Environmental Change*, vol. 14, no 1, p. 267-280.
- Battin, T. J., Besemer, K., Bengtsson, M. M., Romani, A. M. & Packmann, A. I. (2016). The ecology and biogeochemistry of stream biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 14, no 4, p. 251.
- Benavides, J. C., Vitt, D. H. & Wieder, R. K. (2013). The influence of climate change on recent peat accumulation patterns of *Distichia muscoides* cushion bogs in the high-elevation tropical Andes of Colombia. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, vol. 118, no 4, p. 1627-1635.
- Biemans, H., Siderius, C., Lutz, A. F., Nepal, S., Ahmad, B., Hassan, T., von Bloh, W., Wijngaard, R. R., Wester, P. & Shrestha, A. B. (2019). Importance of snow and glacier meltwater for agriculture on the Indo-Gangetic Plain. *Nature Sustainability*, vol. 2, no 7, p. 594-601.
- Biggs, E. M., Duncan, J. M., Atkinson, P. M. & Dash, J. (2013). Plenty of water, not enough strategy: How inadequate accessibility, poor governance and a volatile government can tip the balance against ensuring water security: The case of Nepal. *Environmental science & policy*, vol. 33, p.388-394.
- Bintanja, R. (1999). On the glaciological, meteorological, and climatological significance of Antarctic blue ice areas. *Reviews of Geophysics*, vol. 37, no 3, p. 337-359.
- Bolch, T., Shea, J.M., Liu, S., Azam, F.M., Gao, Y., Gruber, S., Immerzeel, W.W., Kulkarni, A., Li, H., Tahir, A. A., Zhang, G. & Zhang, Y. (2019). Status and Change of the Cryosphere in the Extended Hindu Kush Himalaya Region In Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 209-256). Katmandou, Népal, ICIMOD.
- Bond, T. C., Bhardwaj, E., Dong, R., Jogani, R., Jung, S., Roden, C., Streets, D. G. & Trautmann, N. M. (2007). Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 21, no 2.
- Brandt, R., Kaenzig, R. & Lachmuth, S. (2016). Migration as a Risk Management Strategy in the Context of Climate Change: Evidence from the Bolivian Andes. In Milan A., Schraven B., Warner K., Cascone N., *Migration, Risk Management and Climate Change: Evidence and Policy Responses* (p. 43-61). Cham, Springer.
- Braun, C. & Bezada, M. (2013). The history and disappearance of glaciers in Venezuela. *Journal of Latin American Geography*, p. 85-124.

- Bravo, C., Loriaux, T., Rivera, A. & Brock, B. (2017). Assessing glacier melt contribution to streamflow at Universidad Glacier, central Andes of Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 21, no 7, p. 3249-3266.
- Bury, J. T., Mark, B. G., McKenzie, J. M., French, A., Baraer, M., Huh, K. I., Luyo, M. A. Z. & López, R. J. G. (2011). Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, vol. 105, no 1-2, p. 179-206.
- Buytaert, W., Moulds, S., Acosta, L., De Bievre, B., Olmos, C., Villacis, M., Tovar, C. & Verbist, K. M. (2017). Glacial melt content of water use in the tropical Andes. *Environmental Research Letters*, vol. 12, no 11, 114014.
- Byg, A. & Salick, J. (2009). Local perspectives on a global phenomenon—climate change in Eastern Tibetan villages. *Global Environmental Change*, vol. 19, no 2, p. 156-166.
- Carey, M., Baraer, M., Mark, B. G., French, A., Bury, J., Young, K. R. & McKenzie, J. M. (2014). Toward hydro-social modeling: Merging human variables and the social sciences with climate-glacier runoff models (Santa River, Peru). *Journal of Hydrology*, vol. 518, p. 60-70.
- Carey, M., French, A. & O'Brien, E. (2012). Unintended effects of technology on climate change adaptation: an historical analysis of water conflicts below Andean Glaciers. *Journal of Historical geography*, vol. 38, no 2, p. 181-191.
- Carey, M., Molden, O. C., Rasmussen, M. B., Jackson, M., Nolin, A. W. & Mark, B. G. (2017). Impacts of glacier recession and declining meltwater on mountain societies. *Annals of the American Association of Geographers*, vol. 107, no 2, p. 350-359.
- Cauvy-Fraunié, S., Andino, P., Espinosa, R., Calvez, R., Jacobsen, D. & Dangles, O. (2016). Ecological responses to experimental glacier-runoff reduction in alpine rivers. *Nature Communications*, vol. 7 : 12025.
- CCNUCC (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques) (2013) Best practices and available tools for the use of indigenous and traditional knowledge and practices for adaptation, and the application of gender-sensitive approaches and tools for understanding and assessing impacts, vulnerability and adaptation to climate change, Nations Unies, 62 p., <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2013/tp/11.pdf>. (page consultee le 7 octobre 2020).
- Célleri, R. (2010). Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes. In Quintero, M., *Estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas de pago por servicios ambientales* (p. 25-46). Lima, Pérou, Serie Panorama andino, N.º 1 - Serie Agua y Sociedad, n.º 12.
- Chatterjee, A., Blom, E., Gujja, B., Jacimovic, R., Beevers, L., O'Keeffe, J., Beland, M. & Biggs, T. (2010). WWF initiatives to study the impact of climate change on Himalayan high-altitude wetlands (HAWs). *Mountain Research and Development*, vol. 30, no 1, p. 42-52.

- Chettri, N., Shakya, B., Thapa, R. & Sharma, E. (2008). Status of a protected area system in the Hindu Kush-Himalayas: An analysis of PA coverage. *The International Journal of Biodiversity Science and Management*, vol. 4, no 3, p. 164-178.
- Chevallier, P., Pouyaud, B., Suarez, W. & Condom, T. (2011). Climate change threats to environment in the tropical Andes: glaciers and water resources. *Regional Environmental Change*, vol. 11, no 1, p. 179-187.
- Christmann, S., Aw-Hassan, A., Rajabov, T. & Rabbimov, A. (2015). Collective action for common rangelands improvement: a climate change adaptation strategy in Uzbekistan. *Society & Natural Resources*, vol. 28, no 3, p. 280-295.
- Clouse, C. (2014). Learning from artificial glaciers in the Himalaya: design for climate change through low-tech infrastructural devices. *Journal of Landscape Architecture*, vol. 9, no 3, p. 6-19.
- Clouse, C. (2016). Frozen landscapes: climate-adaptive design interventions in Ladakh and Zaskar. *Landscape Research*, vol. 41, no 8, p. 821-837.
- Clouse, C. (2017). The Himalayan Ice Stupa: Ladakh's Climate-adaptive Water Cache. *Journal of Architectural Education*, vol. 71, no 2, p. 247-251.
- Cole, V. & Sinclair, A. J. (2002). Measuring the ecological footprint of a Himalayan tourist center. *Mountain Research and development*, vol. 22, 2, p. 132-141.
- Cook, S. J., Kougkoulos, I., Edwards, L. A., Dortch, J. & Hoffmann, D. (2016). Glacier change and glacial lake outburst flood risk in the Bolivian Andes. *The Cryosphere*, vol. 10, p. 2399-2413.
- Cuffey, K. M. & Paterson, W. S. B. (2010). *The physics of glaciers*. Academic Press, 721 p.
- de Haan, S., Núñez, J., Bonierbale, M. & Ghislain, M. (2010). Multilevel agrobiodiversity and conservation of Andean potatoes in Central Peru. *Mountain Research and Development*, vol. 30, no 3, p. 222-231.
- Debels, P., Szlafsztein, C., Aldunce, P., Neri, C., Carvajal, Y., Quintero-Angel, M., Celis, A., Bezanilla, A. & Martínez, D. (2009). IUPA: a tool for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability. *Natural hazards*, vol. 50, no 2, p. 211-233.
- Devenish, C. & Gianella, C. (2012). 20 years of Sustainable Mountain Development in the Andes - from Rio 1992 to 2012 and beyond -, Lima, Pérou, CONDESAN, 73 p. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/ANDES%20FINAL%20Andes_report_eng_final.pdf (Page consultée le 3 août 2020).
- Dewan, T. H. (2015). Societal impacts and vulnerability to floods in Bangladesh and Nepal. *Weather and Climate Extremes*, vol. 7, p. 36-42.
- Dhakal, S., Srivastava, L., Sharma, B., Palit, D., Mainali, D., Nepal, R., Purohit, P., Goswami, A., Malikvar, G.M. & Whakhley, K.B. (2019). Meeting Future Energy Needs in the Hindu Kush Himalaya *In*

- Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 167-207). Katmandou, Népal ICIMOD.
- Doughty, C. A. (2016). Building climate change resilience through local cooperation: a Peruvian Andes case study. *Regional Environmental Change*, vol. 16, no 8, p. 2187-2197.
- Drew G. (2011) Ecological Change and the Sociocultural Consequences of the Ganges River's Decline. In Johnston B., Hiwasaki L., Klaver I., Ramos Castillo A., Strang V. *Water, Cultural Diversity, and Global Environmental Change*. (p. 203-219). Dordrecht, Springer.
- Dukpa, R. D., Joshi, D. et Boelens, R. (2019). Contesting Hydropower dams in the Eastern Himalaya: The Cultural Politics of Identity, Territory and Self-Governance Institutions in Sikkim, India. *Water*, vol .11, no 3, p. 412.
- Dunbar, K. W. & Marcos, K. D. M. (2012). Singing for shaved ice: Glacial loss and Raspadilla in the Peruvian Andes. In Sinclair, J. et Pertierra, A.C., *Consumer Culture in Latin America* (p. 195-205). New York, États-Unis, Palgrave Macmillan.
- Dussailant, I., Berthier, E., Brun, F., Masiokas, M., Hugonnet, R., Favier, V., Rabatel, A., Pitte, P. & Ruiz, L. (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nature Geoscience*, vol. 12, no 10, p. 802-808.
- Earle, L. R., Warner, B. G. & Aravena, R. (2003). Rapid development of an unusual peat-accumulating ecosystem in the Chilean Altiplano. *Quaternary Research*, vol. 59, no 1, p. 2-11.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (s.d.) Physical Features of the Great Lakes. In EPA, U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/greatlakes/physical-features-great-lakes> (Page consultée le 8 septembre 2020).
- FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) (2011) *Highlands and Drylands: Mountains, a source of resilience in arid regions*. Rome, Italie, FAO et Centre for Development and Environment of the University of Bern, p. 115. <https://boris.unibe.ch/6754/1/i2248e00.pdf> (page consultée le 14 octobre 2020).
- FAO (2012). *Training guide – Gender and climate change recherche in agriculture and food security for rural development*. Rome, Italie, FAO, 136 p. <http://www.fao.org/3/md280e/md280e00.pdf> (page consultée le 3 novembre 2020).
- FAO (Wymann von Dach, S., Romeo, R., Vita, A., Wurzinger, M. & Kohler, T.) (2013). *Mountain Farming Is Family Farming*, Rome, Italie, FAO, CDE, BOKU, 100 p. <http://www.fao.org/3/a-i3480e.pdf> (Page consultée le 12 novembre 2020).
- FAO (Ramasamy Selvaraju) (2014). *Managing climate risks and adapting to climate change in the agriculture sector in Nepal*, Rome, Italie, FAO, 162 p. <http://www.fao.org/3/a-i3577e.pdf> (Page consultée le 12 novembre 2020).
- FAO (2017). *Mountains Under Pressure*, Rome, Italie, FAO, 4 p. <http://www.fao.org/3/a-i8159e.pdf> (Page consultée le 12 novembre 2020).

- Few, R., Brown, K. & Tompkins, E. L. (2007). Public participation and climate change adaptation: avoiding the illusion of inclusion. *Climate policy*, vol. 7, no 1, p. 46-59.
- Finer, M. & Jenkins, C. N. (2012). Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *Plos one*, vol. 7, no 4, e35126.
- Flanner, M. G., Zender, C. S., Randerson, J. T. & Rasch, P. J. (2007). Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 112 (D11).
- Franco, B. & Vincent, C. (2007). *Les glaciers à l'épreuve du climat*. Marseille, France, IRD Editions, 274 p.
- Fu, Y., Grumbine, R. E., Wilkes, A., Wang, Y., Xu, J.-C. & Yang, Y.-P. (2012). Climate change adaptation among Tibetan pastoralists: challenges in enhancing local adaptation through policy support. *Environmental management*, vol. 50, no 4, p. 607-621.
- Füreder, L., Schütz, C., Wallinger, M. & Burger, R. (2001). Physico-chemistry and aquatic insects of a glacier-fed and a spring-fed alpine stream. *Freshwater Biology*, vol. 46, no 12, p. 1673-1690.
- Gentle, P. & Thwaites, R. (2016). Transhumant pastoralism in the context of socioeconomic and climate change in the mountains of Nepal. *Mountain Research and Development*, vol. 36, no 2, p. 173-182.
- Gerlitz, J.-Y., Hunzai, K. & Hoermann, B. (2012). Mountain poverty in the Hindu-Kush Himalayas. *Canadian Journal of Development Studies/Revue canadienne d'études du développement*, vol. 33, no 2, p. 250-265.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2014) *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p. (Page consultée le 19 août 2020).
- GIEC (Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S. et al.) (2018) *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report 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 change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. GIEC, 630 p. [ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf) (Page consultée le 19 août 2020).
- GIEC (Pörtner, H.-O., Roberts, D.C, Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A. et al.) (2019) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. GIEC, 765 p. <https://www.ipcc.ch/srocc/download/> (Page consultée le 19 août 2020).
- Giersch, J. J., Hotaling, S., Kovach, R. P., Jones, L. A. & Muhlfeld, C. C. (2017). Climate-induced glacier and snow loss imperils alpine stream insects. *Global change biology*, vol. 23, no 7, p. 2577-2589.

- Gray, C. L. (2010). Gender, natural capital, and migration in the southern Ecuadorian Andes. *Environment and Planning A*, vol. 42, no 3, p. 678-696.
- Gul, R. (2004). Impact of Aga Khan Rural Support Program's gender strategy on rural women in District Chitral. *Allama Iqbal Open University Islamabad*.
- Hardy, D. R. & Hardy, S. P. (2008). White-winged Diuca Finch (*Diuca speculifera*) nesting on Quelccaya Ice Cap, Perú. *The Wilson Journal of Ornithology*, vol. 120, no 3, p. 613-617.
- Harrison, S., Glasser, N., Winchester, V., Haresign, E., Warren, C. & Jansson, K. (2006). A glacial lake outburst flood associated with recent mountain glacier retreat, Patagonian Andes. *The Holocene*, vol. 16, no 4, p. 611-620.
- Herrera, S. L., Meneses, R.I. & Anthelme, F. (2015). Plant communities of high-Andean wetlands of the Cordillera Real (Bolivia) in the face of global warming. *Ecología en Bolivia*, vol. 50, no 1, p. 39-56.
- Hock, R. (2010) *Glacier mass balance*. Fairbanks, États-Unis, Université d'Alaska, 10 p. https://glaciers.gi.alaska.edu/sites/default/files/mccarthy/Notes_massbal_Hock.pdf (Page consultée le 22 août 2020).
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., Jackson, M., Kääb, A., Kang, S., Kutuzov, S. *et al.* (2019). High Mountain Areas. In: Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M. et Okem, A., *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (p. 131-202).
- Hoermann, B. & Kollmair, M. (2009). *Labour migration and remittances in the Hindu Kush-Himalayan region*. Katmandou, Népal, ICIMOD, 20 p., <https://pdfs.semanticscholar.org/b6df/627e6439939dfc3816be1cf0cf2e2f40e159.pdf> (Page consultée le 2 septembre 2020).
- Huggel, C., Scheel, M., Albrecht, F., Andres, N., Calanca, P., Jurt, C., Khabarov, N., Mira-Salama, D., Rohrer, M. & Salzmann, N. (2015). A framework for the science contribution in climate adaptation: experiences from science-policy processes in the Andes. *Environmental Science & Policy*, vol. 47, p. 80-94.
- Human Rights Watch (2010) "I Saw It with My Own Eyes" Abuses by Chinese Security Forces in Tibet, 2008-2010 In *Human Rights Watch*, <https://www.hrw.org/report/2010/07/21/i-saw-it-my-own-eyes/abuses-chinese-security-forces-tibet-2008-2010> (Page consultée le 2 juin 2021)
- Huss, M. & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, vol. 8, no 2, p. 135-140.
- Immerzeel, W. W., Van Beek, L. P. & Bierkens, M. F. (2010). Climate change will affect the Asian water towers. *Science*, vol. 328, no 5984, p. 1382-1385.
- Ingty, T. (2017). High mountain communities and climate change: adaptation, traditional ecological knowledge, and institutions. *Climatic change*, vol. 145, no 1-2, p. 41-55.

- IHA (International Hydropower Association) (2020) *Hydropower Status Report: Sector trends and insights*, IHA, 54 p. https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf (page consultée le 31 juillet 2020).
- Jangra, R. & Kaushik, S. P. (2020). Understanding tribal community's perception toward tourism impacts: the case of emerging destinations in western Himalaya, Kinnaur. *Asian Geographer*, p. 1-24.
- Janssen, M. A. & Ostrom, E. (2006). Governing social-ecological systems. In Tesfatsion, L., Judd, K.L., *Handbook of computational economics*, vol. 2, (p.1465-1509). North Holland.
- Jodha, N.S. (2005) Economic Globalisation and its Repercussions for Fragile Mountains and Communities in the Himalayas. In Huber, U.M., Bugmann, H.K.M. et Reasoner, M.A., *Global Change and Mountain Regions. Advances in Global Change Research*, vol. 23 (p. 583-592). Springer, Dordrecht.
- Kahane, R., Hodgkin, T., Jaenicke, H., Hoogendoorn, C., Hermann, M., Hughes, J. d'Arros, Padulosi, S. & Looney, N. (2013). Agrobiodiversity for food security, health and income. *Agronomy for sustainable development*, vol. 33, no 4, p. 671-693.
- Kaenzig, R., Rebetez, M. & Serquet, G. (2016). Climate change adaptation of the tourism sector in the Bolivian Andes. *Tourism Geographies*, vol. 18, no 2, p. 111-128.
- Kelkar, U., Narula, K. K., Sharma, V. P. & Chandna, U. (2008). Vulnerability and adaptation to climate variability and water stress in Uttarakhand State, India. *Global Environmental Change*, vol. 18, no 4, p. 564-574.
- Khadim, A. N. (2016). Defending glaciers in Argentina. *Peace Review*, vol. 28, no 1, p. 65-75.
- Krishnan, R., Shrestha, A.B., Ren, G, Rajbhandari, R., Katholieke, S.S., Javanarayanan, S., Vellore, R., Xu, Y. & Ren, Y. (2019). Unravelling Climate Change in the Hindu Kush Himalaya: Rapid Warming in the Mountains and Increasing Extremes In Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 57-98). Katmandou, ICIMOD.
- Kumar, S. H. (2014). *Strategy for 100% Renewable Energy supply in Bhutan*. Rapport de recherche de maîtrise, Ritsumeikan Asia Pacific University, Beppu, Japon, 71 p.
- Kurokawa, J., Ohara, T., Morikawa, T., Hanayama, S., Janssens-Maenhout, G., Fukui, T., Kawashima, K. & Akimoto, H. (2013). Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 2. *Atmos. Chem. Phys*, vol. 13, no 21, p. 11019-11058.
- Lasage, R., Muis, S., Sardella, C. S., Van Drunen, M. A., Verburg, P. H. & Aerts, J. C. (2015). A stepwise, participatory approach to design and implement community based adaptation to drought in the Peruvian Andes. *Sustainability*, vol. 7, no 2, p. 1742-1773.
- Lee, D. R., Edmeades, S., De Nys, E., McDonald, A. & Janssen, W. (2014). Developing local adaptation strategies for climate change in agriculture: A priority-setting approach with application to Latin America. *Global Environmental Change*, vol. 29 p., 78-91.

- Li, J., McCarthy, T. M., Wang, H., Weckworth, B. V., Schaller, G. B., Mishra, C., Lu, Z. & Beissinger, S. R. (2016). Climate refugia of snow leopards in High Asia. *Biological Conservation*, vol. 203, p. 188-196.
- Lliboutry, L., Williams, R. S. & Ferrigno, J. G. (1998). Glaciers of Chile and Argentina. *Geological Survey Professional Paper*, vol. 1386, no 1103.
- López-i-Gelats, F., Paco, J. C., Huayra, R. H., Robles, O. S., Peña, E. Q. & Filella, J. B. (2015). Adaptation strategies of Andean pastoralist households to both climate and non-climate changes. *Human Ecology*, vol. 43, no 2, p. 267-282.
- Lutz, A. Immerzeel, W. W., Bajracharya, S., Litt, M., & Shrestha, A. B. (2016) *Impacts of climate change on the cryosphere, hydrological regimes and glacial lakes of the Hindu Kush Himalayas: A review of current knowledge*. Katmandou, Népal, ICIMOD 72 p. <https://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=XF2017003037> (Page consultée le 28 août 2020).
- Lutz, A. F., Immerzeel, W. W., Litt, M., Bajracharya, S. & Shrestha, A. B. (2015). *Comprehensive Review of Climate Change and the Impacts on Cryosphere, Hydrological Regimes and Glacier Lakes*. ICIMOD et Statkraft, 87 p. https://www.futurewater.nl/wpcontent/uploads/2015/12/StatKraft_Review_final.pdf (Page consultée le 30 juillet 2020).
- Lutz, A. F., Immerzeel, W. W., Shrestha, A. B. & Bierkens, M. F. P. (2014). Consistent increase in High Asia's runoff due to increasing glacier melt and precipitation. *Nature Climate Change*, vol. 4, no 7, p. 587-592.
- Macchi, M. (2011) *Framework for Community Based Climate Vulnerability and Capacity Assessment in Mountain Areas*. Katmandou, Népal, ICIMOD, 32 p. <http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/1438/framework%20for%20community-based%20climate%20vulnerability%20and%20capacity%20assessment%20in%20mountain%20areas.pdf?sequence=1> (Page consultée le 7 novembre 2020).
- Maikhuri, R. K., Nautiyal, A., Jha, N. K., Rawat, L. S., Maletha, A., Phondani, P. C., Bahuguna, Y. M. & Bhatt, G. C. (2017). Socio-ecological vulnerability: Assessment and coping strategy to environmental disaster in Kedarnath valley, Uttarakhand, Indian Himalayan Region. *International journal of disaster risk reduction*, vol. 25, p. 111-124.
- Mallick, D., Dilshad, T., Naznin, Z., Hassan, T., Syed, A., Goodrich, C.G., Udas, P.B., Prakash, A., Anwar, M.Z., Habib, N. *et al.* (2019). Participatory Assessment of Multiple Socio-economic Drivers and Climate Stresses Leading to Differentiated Vulnerabilities in the Hindu Kush Himalaya, Katmandou, Népal, HI-AWARE, 46 p., <https://lib.icimod.org/record/34486> (Page consultée le 2 septembre).
- Mark, B.G., Baraer, M., Fernandez, A., Immerzeel, W., Moore, R.D. & Weingartner, R. (2015) Glaciers as water resources *In* Huggel C., Carey M., Clague M. et Käab A, *The High-Mountain Cryosphere Environmental Changes and Human Risks*, p. 184-203. Cambridge University Press.

- Marzeion, B., Cogley, J. G., Richter, K. & Parkes, D. (2014). Attribution of global glacier mass loss to anthropogenic and natural causes. *Science*, vol. 345, no 6199, p. 919-921.
- McDowell, G., Huggel, C., Frey, H., Wang, F. M., 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*, vol. 54, p. 19-30.
- McDowell, J. Z. & Hess, J. J. (2012). Accessing adaptation: Multiple stressors on livelihoods in the Bolivian highlands under a changing climate. *Global Environmental Change*, vol. 22, no 2, p. 342-352.
- Meier, P., Zolezzi, E. H., Bogach, S. V., Muir, T. & Bazex, K. (2011). *Peru opportunities and challenges of small hydropower development*. Washington D.C., États-Unis, The International Bank for Reconstruction and Development/ Groupe de la Banque mondiale 174 p. https://esmap.org/sites/esmap.org/files/7747-ESMAP%20Peru%20English%20Web_4-11-11_0.pdf (page consultée le 31 juillet 2020).
- Meier, W. J.-H., Griesinger, J., Hochreuther, P. & Braun, M. H. (2018). An updated multi-temporal glacier inventory for the Patagonian Andes with changes between the Little Ice Age and 2016. *Frontiers in Earth Science*, vol. 6, no 62.
- Meinzen-Dick, R. S., Devaux, A. & Antezana, I. (2009). Underground assets: potato biodiversity to improve the livelihoods of the poor. *International Journal of Agricultural Sustainability*, vol. 7, 4, p. 235-248.
- Milner, A. M., Khamis, K., Battin, T. J., Brittain, J. E., Barrand, N. E., Füreder, L., Cauvy-Fraunié, S., Gíslason, G. M., Jacobsen, D. & Hannah, D. M. (2017). Glacier shrinkage driving global changes in downstream systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, no 37, p. 9770-9778.
- Mishra, C., Prins, H. H. & Van Wieren, S. E. (2001). Overstocking in the Trans-Himalayan rangelands of India. *Environmental Conservation*, p. 279-283.
- Mohan, A. (1992). The historical roots of the Kashmir conflict. *Studies in Conflict & Terrorism*, vol. 15, no 4, p. 283-308.
- Molden, D. J., Vaidya, R. A., Shrestha, A. B., Rasul, G. & Shrestha, M. S. (2014). Water infrastructure for the Hindu Kush Himalayas. *International Journal of Water Resources Development*, vol. 30, no 1, p. 60-77.
- Morueta-Holme, N., Engemann, K., Sandoval-Acuña, P., Jonas, J. D., Segnitz, R. M. & Svenning, J.-C. (2015). Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, no 41, p. 12741-12745.
- Moser, S. C. & Ekstrom, J. A. (2010). A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the national academy of sciences*, vol. 107, no 51, p. 22026-22031.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, vol. 403, no 6772, p. 853-858.

- Nations Unies, Assemblée Générale (1992) Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Rio, Brésil, 25 p., <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf> (page consultée le 21 octobre 2020).
- Negi, V. S. & Maikhuri, R. K. (2013). Socio-ecological and religious perspective of agrobiodiversity conservation: issues, concern and priority for sustainable agriculture, Central Himalaya. *Journal of agricultural and environmental ethics*, vol. 26, no 2, p. 491-512.
- Nepal, S. K. (2000). Tourism in protected areas: the Nepalese Himalaya. *Annals of Tourism Research*, vol. 27, no 3, p. 661-681.
- Nicholson, L. & Benn, D. I. (2006). Calculating ice melt beneath a debris layer using meteorological data. *Journal of Glaciology*, vol. 52, no 178, p. 463-470.
- Nilsson, C. (2008). Climate change from an indigenous perspective. *Indigenous Affairs*, no 1–2, p. 9-15.
- Nyaupane, G. P. & Chhetri, N. (2009). Vulnerability to climate change of nature-based tourism in the Nepalese Himalayas. *Tourism Geographies*, vol. 11, no 1, p. 95-119.
- O'Neill, A. R. (2019). Evaluating high-altitude Ramsar wetlands in the Eastern Himalayas. *Global Ecology and Conservation*, vol. 20, e00715.
- Ojha, H.R, Ghatge, R., Dorji, L., Shrestha, A., Paudel, A., Shrestha, K., Watto, M.A. & Kotru, R. (2019). Governance: Key for Environmental Sustainability in the Hindu Kush Himalaya. In Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 545-578). Katmandou, ICIMOD.
- Olson, D. M. & Dinerstein, E. (2002). The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, p. 199-224.
- Parvaiz, A. (2018) Ice stupas not cutting ice with some farmers in Ladakh. In *India climate dialogue*. <https://indiadialogue.net/2018/06/27/ice-stupas-not-cutting-ice-with-some-farmers-in-ladakh/> (Page consultée le 12 octobre 2020).
- Pérez-Rincón, M., Vargas-Morales, J. et Crespo-Marín, Z. (2018). Trends in social metabolism and environmental conflicts in four Andean countries from 1970 to 2013. *Sustainability Science*, vol. 13, no 3, p. 635-648.
- Polk, M. H., Young, K. R., Baraer, M., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Bury, J. & Carey, M. (2017). Exploring hydrologic connections between tropical mountain wetlands and glacier recession in Peru's Cordillera Blanca. *Applied Geography*, vol. 78, p. 94-103.
- Postigo, J. C. (2014). Perception and resilience of Andean populations facing climate change. *Journal of Ethnobiology*, vol. 34, no 3, p. 383-400.
- Prasain, S. (2018). Climate change adaptation measure on agricultural communities of Dhye in Upper Mustang, Nepal. *Climatic change*, vol. 148, no 1-2, p. 279-291.

- Prasch, M., Mauser, W. & Weber, M. (2013). Quantifying present and future glacier melt-water contribution to runoff in a central Himalayan river basin. *Cryosphere*, vol. 7, no 3, p. 889–904.
- Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) (2015). *Community Based Adaptation to Climate Change*, New York, États-Unis, PNUD, 17 p. [https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/climate_change/adaptation/community-based-adaptation-to-climate-change/#:~:text=The%20Community%2DBased%20Adaptation%20\(CBA,climate%20change%20risk%20management%20projects.](https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/climate_change/adaptation/community-based-adaptation-to-climate-change/#:~:text=The%20Community%2DBased%20Adaptation%20(CBA,climate%20change%20risk%20management%20projects.) (page consultée le 12 novembre 2020).
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, Á., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.-E. & Huggel, C. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, vol. 7, no 1, p. 81-102.
- Ragetti, S., Immerzeel, W. W. & Pellicciotti, F. (2016). Contrasting climate change impact on river flows from high-altitude catchments in the Himalayan and Andes Mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, no 33, p. 9222-9227.
- Raina, H. S. & Petr, T. (1999). Coldwater fish and fisheries in the Indian Himalayas: lakes and reservoirs. *Fish and fisheries at higher altitudes: Asia*, p. 64-88.
- Ramanathan, V. & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature geoscience*, vol. 1, no 4, p. 221-227.
- Resurrección, B. P., Goodrich, C. G., Song, Y., Bastola, A., Prakash, A., Joshi, D., Liebrand, J. & Shah, S. A. (2019) In the Shadows of the Himalayan Mountains: Persistent Gender and Social Exclusion in Development In Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 209-256). Katmandou, Népal, ICIMOD
- Rhoades, R. E., Ríos, X. Z. & Ochoa, J. A. (2008). Mama Cotacachi.. In Orlove B, Wiegandt, E. et Luckman, B., *Darkening peaks: Glacier retreat, science and society* (p. 216-228). Berkeley et Los Angeles, États-Unis, University of California Press.
- Riccardo Pravettoni (2019) *Glaciers in the Andes*. Document cartographique. The Andean Glacier and Water Atlas, GRID-Arendal. <https://www.grida.no/resources/12824>.
- Rosvold, J. (2016). Perennial ice and snow-covered land as important ecosystems for birds and mammals. *Journal of biogeography*, vol. 43, no 1, p. 3-12.
- Saikawa, E., Panday, A., Kang, S., Gautam, R., Zusman, E., Cong, Z., Somanathan, E. & Adhikary, B. (2019). Air Pollution in the Hindu Kush Himalaya In Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 339-387). Katmandou, Népal, ICIMOD.
- Schaner, N., Voisin, N., Nijssen, B. & Lettenmaier, D. P. (2012). The contribution of glacier melt to streamflow. *Environmental Research Letters*, vol. 7, no 3, 034029.

- Schickhoff, U. (2005). The upper timberline in the Himalayas, Hindu Kush and Karakorum: a review of geographical and ecological aspects. In Broll G., Keplin B., *Mountain ecosystems* (p. 275-354). Berlin, Allemagne, Springer.
- Schoolmeester, T., Saravia, M., Andresen, M., Postigo, J., Valverde, A., Jurek, M., Alfthan, B. & Giada, S. (2016). *Outlook on climate change adaptation in the Tropical Andes mountains* (p. 94). Nairobi, Arendal, Vienne et Lima., Programme des nations unies pour l'environnement (UNEP), GRID-Arendal et CONDESAN, 96 p. https://gridarendalwebsitelive.s3.amazonaws.com/production/documents/:sdocument/19/original/Andes_screen.pdf?148364621 (Page consultée le 22 juin 2020).
- Seddon, N., Daniels, E., Davis, R., Chausson, A., Harris, R., Hou-Jones, X., Huq, S., Kapos, V., Mace, G. M. & Rizvi, A. R. (2020). Global recognition of the importance of nature-based solutions to the impacts of climate change. *Global Sustainability*, vol. 3.
- Segnini, A., Posadas, A., Quiroz, R., Milori, D. M. B. P., Saab, S. C., Neto, L. M. & Vaz, C. M. P. (2010). Spectroscopic assessment of soil organic matter in wetlands from the high Andes. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 74, no 6, p. 2246-2253.
- Settle, A. C. (2012). The new development paradigm through the lens of the Aga Khan Rural Support Programme: Legitimacy, accountability and the political sphere. *Community development journal*, vol. 47, no 3, p. 386-404.
- Shaoliang, Y., Ismail, M. & Zhaoli, Y. (2012). Pastoral Communities' Perspectives on Climate Change and Their Adaptation Strategies in the Hindukush-Karakoram-Himalaya. In Kreutzmann, H., *Pastoral practices in High Asia* (p. 307-322). Dordrecht, Pays-Bas, Springer.
- Sharma, B., Rasul, G. & Chettri, N. (2015). The economic value of wetland ecosystem services: evidence from the Koshi Tappu Wildlife Reserve, Nepal. *Ecosystem Services*, 12, 84-93.
- Sharma, E., Molden, D., Rahman, A., Khatiwada, Y.R., Zhang, L., Singh, S.P., Yao, T. & Wester, P. (2019). Introduction to the Hindu Kush Himalaya Assessment In Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 1-16). Katmandou, Népal, ICIMOD.
- Shiklomanov, I. A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water international*, vol. 25, no 1, p. 11-32.
- Shrestha, A., & Ghate, R. (2016). *Transboundary water governance in HKH: Beyond the dialectics of conflict and cooperation*. Katmandou, Népal, Hi-AWARE Working paper-7, 38 p., <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/57517/IDL-57517.pdf?sequence=2> (Page consultée le 2 septembre).
- Skarbø, K. & VanderMolen, K. (2016). Maize migration: key crop expands to higher altitudes under climate change in the Andes. *Climate and Development*, vol. 8, no 3, p. 245-255.
- Smadja, J., Aubriot, O., Puschiasis, O., Duplan, T., Grimaldi, J., Hugonnet, M. & Buchheit, P. (2015). Climate change and water resources in the Himalayas. Field study in four geographic units of the Koshi basin, Nepal. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, no 103-2.

- Solimano, A. (2005). *Political crises, social conflict and economic development: The political economy of the Andean region*. Cheltenham, Royaume-Uni, Edward Elgar Publishing, 359 p.
- Solomina, O. N., Bradley, R. S., Hodgson, D. A., Ivy-Ochs, S., Jomelli, V., Mackintosh, A. N., Nesje, A., Owen, A. L., Wanner, H., Wiles, G. C., Young, N. C. (2015). Holocene glacier fluctuations. *Quaternary Science Reviews*, vol. 111, p. 9-34.
- Soruco, A. (2008) *Étude du retrait des glaciers depuis cinquante ans dans les bassins hydrologiques alimentant en eau la ville de la Paz- Bolivie*. Thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier-Grenoble I, Grenoble, France, p.245.
- Sosa, M. & Zwarteveen, M. (2012). Exploring the politics of water grabbing: The case of large mining operations in the Peruvian Andes. *Water Alternatives*, vol. 5, no 2, p. 360.
- Spies, M. (2016) Glacier thinning and adaptation assemblages in Nagar, northern Pakistan. *Erdkunde*, vol. 70, no 2, 125-140.
- Sponseller, R. A., Heffernan, J. B. & Fisher, S. G. (2013). On the multiple ecological roles of water in river networks. *Ecosphere*, vol. 4, no 2, p. 1-14.
- Stensrud, A. B. (2016). Climate change, water practices and relational worlds in the Andes. *Ethnos*, vol. 81, no 1, p. 75-98.
- Sthapit, B.R., Upadhyay, M.P., Baniya, B.K., Subedi, A. & Joshi, B.K (2003). *On-farm management of agricultural biodiversity in Nepal. Proceedings of a National Workshop, 24-26 April 2001*. Lumle, Népal. NARC, LI-BIRD et IPGRI, p. 310 https://www.researchgate.net/profile/Bhuwon_Sthapit/publication/273144828_On-farm_management_of_agricultural_biodiversity_in_Nepal_Proceedings_of_a_National_Workshop_p_24-26_April_2001_Lumle_Nepal_NARC_LI_BIRD_and_IPGRI/links/54fa6d7d0cf2040df21bafda.pdf#page=231 (page consultée le 20 octobre 2020).
- Thayyen, R. J. & Gergan, J. T. (2010). Role of glaciers in watershed hydrology: a preliminary study of a "Himalayan catchment". *The Cryosphere*, vol. 4, no 1, p. 115-128.
- Tindall, A. (2014) Cordillera Vilcanota *In Sacred Land Film Project*. <https://sacredland.org/cordillera-vilcanota-peru/> (Page consultée le 15 octobre 2020).
- Tobin, D., Bates, R., Brennan, M. & Gill, T. (2018). Peru potato potential: Biodiversity conservation and value chain development. *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 33, no 1, p. 19-32.
- UICN (Willets, E., Guadagno, L. & Ikkala Nyman, N.) (2010). *Addressing climate change : issues and solutions from around the world*, Gland, Suisse, UICN, 42 p. <https://www.iucn.org/content/addressing-climate-change-issues-and-solutions-around-world> (Page consultée le 12 novembre 2020).
- UICN (Murti, R. & Buyck, C.) (2014). *Safe Havens: Protected Areas for Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation*. Gland, Suisse, UICN. 168 p. <https://www.iucn.org/es/content/safe-havens->

protected-areas-disaster-risk-reduction-and-climate-change-adaptation (Page consultée le 12 novembre 2020).

UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) (2015). *Making the case for ecosystem-based adaptation : the global mountain EbA programme in Nepal, Peru and Uganda*. New York, UICN, 136 p. https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/downloads/undp_2015_mt_eba_report_final2_web_vs_041215.pdf (Page consultée le 16 octobre 2020).

UICN France (Union internationale pour la conservation de la nature) (2018). *Les Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France*. Paris, France, UICN France, 48 p., <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2018/06/brochure-sfn-mai2018-web-ok.pdf> (Page consultée le 8 octobre 2020).

Vaidya, R. (2012). Water and hydropower in the green economy and sustainable development of the Hindu Kush–Himalayan region. *Journal International Association on Electricity Generation, Transmission and Distribution*, vol. 25, no 2, p. 21-30.

Verzija, A. & Quispe, S. G. (2013). The system nobody sees: irrigated wetland management and alpaca herding in the Peruvian Andes. *Mountain Research and Development*, vol. 33, no 3, p. 280-293.

Vilímek, V., Zapata, M. L., Klimeš, J., Patzelt, Z. & Santillán, N. (2005). Influence of glacial retreat on natural hazards of the Palcacocha Lake area, Peru. *Landslides*, vol. 2, no 2, p. 107-115.

Villacis M (2008) *Ressources en eau glaciaire dans les Andes d'Equateur en relation avec les variations du climat : le cas du volcan Antisana*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, Montpellier, France, p. 250.

Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D., Soruco, A., Villacis, M., Yarleque, C. & Timm, O. E. (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes—Impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth-Science Reviews*, vol. 176, p. 195-213.

Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G. & Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-science reviews*, vol. 89, no 3-4, p. 79-96.

Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Lavado Casimiro, W. S. & Cáceres, B. (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 120, no 9, p. 3745-3757.

Wang, S., He, Y. & Song, X. (2010). Impacts of climate warming on alpine glacier tourism and adaptive measures: A case study of Baishui Glacier No. 1 in Yulong Snow Mountain, Southwestern China. *Journal of Earth Science*, vol. 21, no 2, p. 166-178.

Wang, Y., Wu, N., Kunze, C., Long, R. & Perlik, M. (2019). Drivers of Change to Mountain Sustainability in the Hindu Kush Himalaya. In Wester, P., Mishra, A., Mukherji, A. et Shrestha, B., *The Hindu Kush Himalaya Assessment* (p. 17-56). Katmandou, ICIMOD.

- Wangchuk, K. & Wangdi, J. (2018). Signs of climate warming through the eyes of yak herders in northern Bhutan. *Mountain Research and Development*, vol. 38, no 1, p. 45-52.
- Warren, S. G. (1984). Impurities in snow: Effects on albedo and snowmelt. *Annals of Glaciology*, vol. 5, p. 177-179.
- Watson-Jones, R. E. & Legare, C. H. (2016). The social functions of group rituals. *Current Directions in Psychological Science*, vol. 25, no 1, p. 42-46.
- Wild, R. & McLeod, C. (2008). *Sacred Natural Sites: Guidelines for Protected Area Managers*. Gland, Suisse, UICN, 131 p. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-016.pdf> (Page consultée le 21 octobre 2020).
- Wilhelm, L., Singer, G. A., Fasching, C., Battin, T. J. & Besemer, K. (2013). Microbial biodiversity in glacier-fed streams. *The ISME journal*, vol. 7, no 8, p. 1651-1660.
- Wilson, R., Glasser, N. F., Reynolds, J. M., Harrison, S., Anaconda, P. I., Schaefer, M. & Shannon, S. (2018). Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. *Global and Planetary Change*, vol. 162, p. 275-291.
- Winkler, D. E., Butz, R. J., Germino, M. J., Reinhardt, K. & Kueppers, L. M. (2018). Snowmelt timing regulates community composition, phenology, and physiological performance of alpine plants. *Frontiers in plant science*, vol. 9, no 1140.
- Xu, B., Cao, J., Hansen, J., Yao, T., Joswia, D. R., Wang, N., Wu, G., Wang, M., Zhao, H. & Yang, W. (2009a). Black soot and the survival of Tibetan glaciers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, no 52, p. 22114-22118.
- Xu, J., Grumbine, R. E., Shrestha, A., Eriksson, M., Yang, X., Wang, Y. U. N. & Wilkes, A. (2009b). The melting Himalayas: cascading effects of climate change on water, biodiversity, and livelihoods. *Conservation Biology*, vol. 23, no 3, p. 520-530.
- Yager, K., Valdivia, C., Slayback, D., Jimenez, E., Meneses, R. I., Palabral, A., Bracho, M., Romero, D., Hubbard, A. & Pacheco, P. (2019). Socio-ecological dimensions of Andean pastoral landscape change: bridging traditional ecological knowledge and satellite image analysis in Sajama National Park, Bolivia. *Regional Environmental Change*, vol. 19, no 5, p. 1353-1369.
- Yasunari, Tj., Bonasoni, P., Laj, P., Fujita, K., Vuillermoz, E., Marinoni, A., Cristofanelli, P., Duchi, R., Tartari, G. & Lau, K.-M. (2010). Estimated impact of black carbon deposition during pre-monsoon season from Nepal Climate Observatory-Pyramid data and snow albedo changes over Himalayan glaciers. *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 10, no 14, p. 6603–6615.
- Young, K. R. & Lipton, J. K. (2006). Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of western South America. *Climatic change*, vol. 78, no 1, p. 63-102.
- Yu, W., Yang, Y.-C., Savitsky, A., Alford, D., Brown, C., Wescoat, J., Debowicz, D. & Robinson, S. (2013). *The Indus basin of Pakistan: The impacts of climate risks on water and agriculture*. Washington, États-Unis, Banque mondiale, 187 p.

researchgate.net/publication/236954178_The_Indus_Basin_of_Pakistan-The_Impacts_of_Climate_Risks_on_Water_and_Agriculture (page consultée le 18 septembre 2020).

- Zalazar, L. V., Ferri Hidalgo, L., Castro, M. A., Gargantini, H., Giménez, M. M., Pitte, P. M., Ruiz, L. E. & Villalba, R. (2017). Glaciares de Argentina: resultados preliminares del Inventario Nacional de Glaciares. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, vol. 2, p. 13-22.
- Zazulie, N., Rusticucci, M. & Raga, G. B. (2017). Regional climate of the subtropical central Andes using high-resolution CMIP5 models—part I: past performance (1980–2005). *Climate Dynamics*, vol. 49, no 11-12, p. 3937-3957.
- Zazulie, N., Rusticucci, M. & Raga, G. B. (2018). Regional climate of the Subtropical Central Andes using high-resolution CMIP5 models. Part II: future projections for the twenty-first century. *Climate dynamics*, vol. 51, no 7-8, p. 2913-2925.
- Zemp, M., Frey, H., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli, W., Denzinger, F., Ahlstrøm, A. P. & Anderson, B. (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of glaciology*, vol. 61, no 228, p. 745-762.
- Zimmer, A., Meneses, R. I., Rabatel, A., Soruco, A., Dangles, O. & Anthelme, F. (2018). Time lag between glacial retreat and upward migration alters tropical alpine communities. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 30, p. 89-102.