

# Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine

103-2 (2015)

Impact du changement climatique sur les dynamiques des milieux montagnards

---

Joëlle Smadja, Olivia Aubriot, Ornella Puschiasis, Thierry Duplan, Juliette Grimaldi, Mickaël Hugonnet et Pauline Buchheit

## **Changement climatique et ressource en eau en Himalaya**

Enquêtes auprès de villageois dans quatre unités  
géographiques du bassin de la Koshi, Népal

---

### **Avertissement**

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

**revues.org**

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

---

### Référence électronique

Joëlle Smadja, Olivia Aubriot, Ornella Puschiasis, Thierry Duplan, Juliette Grimaldi, Mickaël Hugonnet et Pauline Buchheit, « Changement climatique et ressource en eau en Himalaya », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 103-2 | 2015, mis en ligne le 04 septembre 2015, consulté le 10 septembre 2015.  
URL : <http://rga.revues.org/2850> ; DOI : 10.4000/rga.2850

Éditeur : Association pour la diffusion de la recherche alpine  
<http://rga.revues.org>  
<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur :  
<http://rga.revues.org/2850>

Document généré automatiquement le 10 septembre 2015.  
© Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine

**Joëlle Smadja, Olivia Aubriot, Ornella Puschiasis, Thierry Duplan,  
Juliette Grimaldi, Mickaël Hugonnet et Pauline Buchheit**

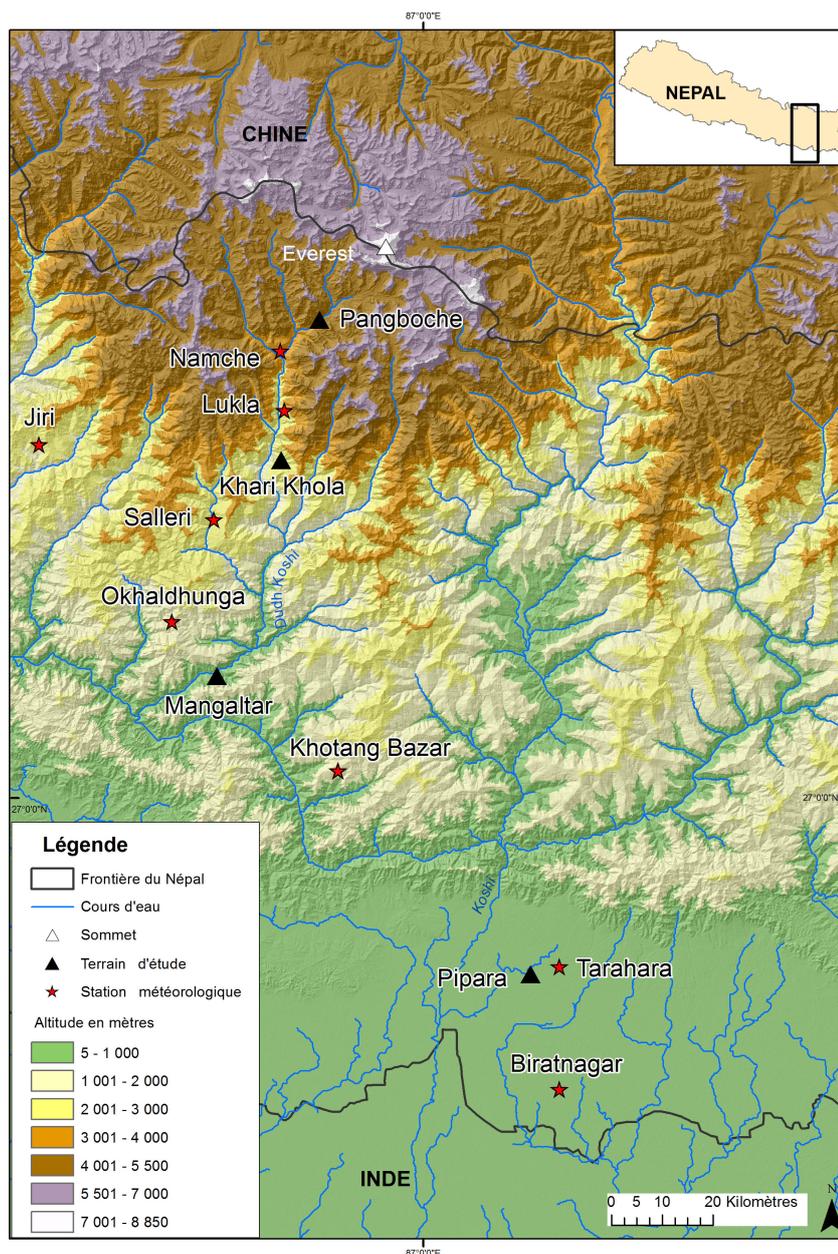
# **Changement climatique et ressource en eau en Himalaya**

Enquêtes auprès de villageois dans quatre unités géographiques du bassin de la Koshi, Népal

## **Introduction**

- 1 Les répercussions du changement climatique sur la ressource en eau devraient être particulièrement importantes en montagne (Buytaert, 2012) et d'autant plus en Himalaya où la hausse des températures plus élevée que la moyenne mondiale a des effets notables sur la cryosphère (Ericksson *et al.*, 2009 ; IPCC, 2013). À partir de ce constat<sup>1</sup>, nous avons entamé des recherches dans le cadre du programme interdisciplinaire Paprika<sup>2</sup> : « Réponses de la cryosphère aux pressions anthropiques en Hindu Kush-Himalaya : répercussions sur les ressources en eau et adaptation de la société au Népal ». Il avait pour objet une partie du bassin de la Koshi dans l'est du pays (Aubriot *et al.*, 2012) (fig. 1). Notre objectif était de savoir si les populations constataient des variations de la ressource en eau affectant leurs pratiques et si elles les attribuaient à des changements climatiques<sup>3</sup>.

**Figure 1. Localisation des sites d'étude et des stations météorologiques retenues dans le bassin de la Koshi, Népal**



Réalisation : O. Puschiasis (2015). Sources : données issues du projet Paprika et ICIMOD (<http://geoportal.icimod.org>)

2 À cette interrogation, des études auprès des populations dans plusieurs localités himalayennes répondent par l'affirmative<sup>4</sup>. En les relayant et en s'appuyant sur les cas les plus spectaculaires – comme celui du déplacement de villages du Mustang, qui a conduit à parler des « premiers réfugiés climatiques au Népal »<sup>5</sup> –, médias et organismes de développement tendent à donner une image uniforme de la situation en Himalaya, celle d'un manque d'eau actuel et à venir. Les propos de Crate et Nuttal (2009 : 9) qui estiment qu'à travers le monde les populations subissent déjà les effets du changement climatique, qu'elles luttent pour y faire face et trouver des solutions sont ainsi confortés. Les études utilisant mesures et simulations, quant à elles, sont moins catégoriques. Les auteurs s'accordent sur le fait que le climat connaîtra une plus grande variabilité dans les années à venir, mais nombre d'entre eux soulignent des incertitudes (Hallegatte, 2009 : 242 ; Buytaert, 2012 : 385 ; Bharati *et al.*, 2012 : 22) et des différences notoires entre l'ouest et l'est de la chaîne himalayenne dans la dynamique de fonctionnement des glaciers et dans leur apport au débit des cours d'eau. Dans l'ouest et dans les vallées d'altitude à l'abri de la mousson, les précipitations essentiellement hivernales rechargent

les glaciers (Bookhagen et Burbank, 2010) dont l'eau de fonte en été est la principale source d'alimentation des cours d'eau (*ib.* ; Rees and Collins, 2006). Dans l'est, les glaciers connaissent simultanément une accumulation due aux précipitations de mousson (Wagnon *et al.*, 2013) et une fonte estivale (Rees et Collins, 2006). Ils ont perdu de la masse (Gardelle *et al.*, 2011), sont en retrait, mais participent peu au débit total des cours d'eau qui est dominé à 75-80 % par une alimentation pluviale de mousson (Bookhagen et Burbank, 2010). Dans le bassin de la Koshi coiffé par le massif de l'Everest, le retrait des glaciers, emblématique du changement climatique, devrait donc avoir des conséquences moins importantes pour les activités des populations que la variation du régime des pluies<sup>6</sup> (Wagnon *et al.*, 2008).

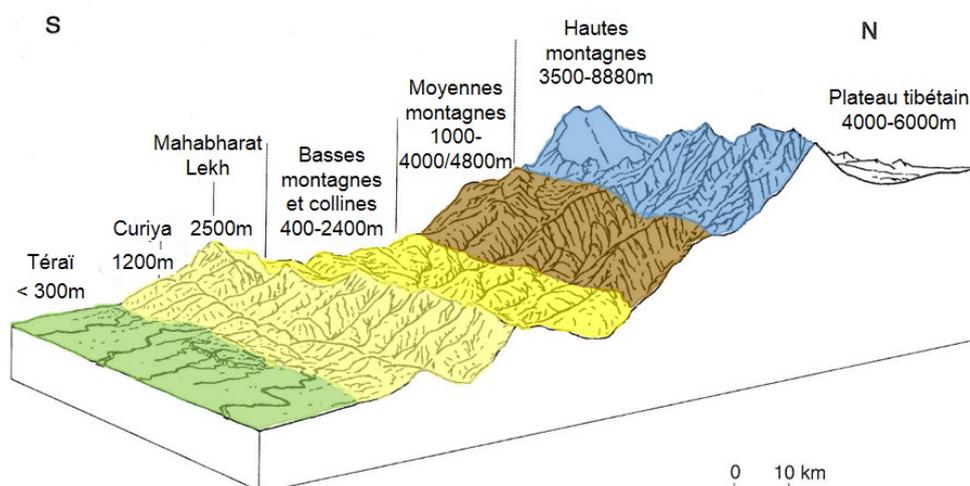
3 Au Népal, évaluer la disponibilité en eau pour les populations, et *a fortiori* son lien avec des variations climatiques se révèle être complexe. Le département d'hydrologie (DHM) ne mesure que les débits des rivières principales. Or, en raison de leur forte variation de régime, leur dangerosité et la quantité de sédiments qu'elles transportent pendant la mousson, elles ne sont que rarement utilisées par les populations de montagne ; seuls les torrents de versant le sont. De plus, dans cette région au climat de mousson, où les variations climatiques sont importantes d'une année à l'autre et d'une région voire d'un versant à l'autre, les stations météorologiques, installées surtout en basse altitude, sont en nombre insuffisant et ne sont pas toujours fiables<sup>7</sup>. Enfin, la « réserve » souterraine en eau est très peu étudiée, ce que déplorent plusieurs auteurs (Andermann *et al.*, 2012 ; Miller *et al.*, 2012).

4 La nécessité d'études combinant observations et enquêtes auprès des populations pour tenter d'appréhender les réalités locales dont les modèles ne peuvent rendre compte n'est donc plus à démontrer (Aykut et Dahan, 2011 ; Jasanoff, 2010), mais le choix des localités étudiées, les modes d'acquisition des données et leur interprétation requièrent rigueur et prudence. Notre parti-pris a été de tenir compte, au-delà des disparités entre l'est et l'ouest de la chaîne himalayenne, de la diversité de ses milieux du nord au sud ainsi que du contexte culturel et socio-économique des régions étudiées. Cette démarche nous a conduits à mettre en valeur les unités géographiques et les groupes les plus susceptibles d'être affectés par des variations climatiques<sup>8</sup>.

## Principes méthodologiques

5 Dans les études népalaises, la classification des unités géographiques communément retenue est celle de haute montagne, colline et plaine<sup>9</sup>. Découpage qui nous paraît insuffisant puisque l'origine de l'eau et sa disponibilité diffèrent grandement entre haute montagne, moyenne montagne, basse montagne/colline, et plaine (Smadja, 2003) (fig. 2). C'est pourquoi nous avons sélectionné un village<sup>10</sup> d'étude dans chacune de ces quatre unités.

**Figure 2. Bloc diagramme nord-sud de l'Himalaya népalais**



Source: d'après figure dans Ramsay, 1986

J. Smadja 2003

## Etudier le changement climatique sans en parler...

- 6 Contrairement aux enquêtes portant directement sur l'appréciation du changement climatique<sup>11</sup>, et à l'instar de Marino et Schweitzer (2009), nous n'avons pas abordé d'emblée cette question, craignant d'orienter la discussion vers des idées véhiculées par les médias, chercheurs ou organismes de développement, très présents dans la région de l'Everest. Nos enquêtes auprès des villageois ont porté en premier lieu sur les pratiques dépendant de la ressource en eau – agriculture, élevage, utilisation des fontaines, moulins, turbines hydro-électriques – et sur leur évolution, pour finalement aborder le climat et ses éventuels changements. Leurs propos sont à interpréter à la lumière des représentations qu'ils se font de leur environnement, lesquelles ne sont ni neutres ni objectives : elles sont culturellement et socialement construites comme le rappellent Guneratne (2010), Depeau (2006 : 8) ou Marry et Arantes (2012 : 2).
- 7 Ainsi, notre méthode part du principe qu'agriculteurs et éleveurs s'intéressent aux variations des éléments du climat susceptibles de modifier leurs productions et leurs pratiques (Vedwan et Rhodes, 2001). Mais, de ce fait : tous les phénomènes climatiques ne sont pas mentionnés ; les changements évoqués reposent sur ce qu'idéalement le temps ou les conditions saisonnières devraient être (Rebetez, 1996 ; Vedwan et Rhoades, 2001 ; Harley, 2003 ; Orlove, 2003 ; Maddison, 2007) ; les agriculteurs ne retiendraient que des tendances moyennes (West et Vasquez-Leon, 2003), ou au contraire les extrêmes (Vedwan et Rhodes, 2001) ; ils mémorisent surtout des faits visuels (*ib.*) ; les réponses diffèrent selon l'âge ou le genre (Maddison, 2007 ; Brou et Chaléard, 2007 ; Aubriot, 2014), l'origine des savoirs (Sherpa, 2014) ou la localisation des villages (Byg et Salick, 2009). Ces difficultés nous ont conduit à privilégier une approche qualitative reposant sur des enquêtes ouvertes ou semi-directives, directement en népali ou à l'aide d'un traducteur, auprès d'un échantillon de population représentatif dans chaque village. Des diagnostics socio-économiques et de systèmes agraires portant sur plusieurs décennies ont été réalisés au cours d'études de terrain de plusieurs mois. Les résultats obtenus, une fois leurs limites connues, servent à compléter, sans les remplacer, les données quantitatives.

## ... quand les Népalais parlent du climat et de ses changements

- 8 Les agriculteurs népalais expriment la notion de climat par les termes *hāwā pāni* (*hāwā* : l'air ou le vent, *pāni* : l'eau ou la pluie) qui évoquent les conditions météo propices à de bonnes récoltes, mais aussi à de bonnes conditions de vie : « [...] les différents groupes ethniques du Népal se sentent particulièrement liés à un milieu, leur *hāwā pāni* (vent, pluie), termes qui désignent non seulement le climat mais aussi ce qui lui est lié : la flore, la faune, le type de culture, d'habitat, etc. » (Lecomte-Tilouine, 2003 : 168). Mais ils ne parlent guère de « changement climatique ». Les Népalais sensibilisés à cette question (scientifiques, responsables communaux, membres d'ONG, journalistes etc.) emploient, comme leurs homologues indiens, l'expression sanscrite « savante » *jalavāyu parivartan* (*jala* : l'eau ; *vāyu* : l'air ; *parivartan* : changement). Dans les deux cas, la notion de climat est associée à l'air et à l'eau, « au vent qui amène les pluies nécessaires aux cultures au bon moment »<sup>12</sup> et, entre autres, pour les agriculteurs de l'Himalaya central et oriental, au flux humide de mousson qui, s'il est perturbé, compromet les récoltes.
- 9 Quant aux glaciers et à la neige, ils prennent une valeur particulière en Himalaya puisqu'ils ont donné leur nom à tout le massif : *him* signifie neige et *alaya*, séjour, en sanscrit. L'Himalaya, séjour des neiges éternelles (associées localement aux glaciers), est aussi surtout celui des dieux et pour de nombreuses personnes les perturbations climatiques résultent de leur colère. Que glaciers et neige viennent à disparaître, que la montagne devienne « noire » comme le déplorent de nombreux villageois interrogés et c'est l'univers symbolique des populations himalayennes qui s'effondre.

## Un changement parmi d'autres

- 10 Enfin, il nous faut situer les propos recueillis sur le changement climatique dans le cadre d'un Népal qui connaît des transformations profondes. Les trois dernières décennies ont vu se

généraliser de nouvelles techniques et pratiques agricoles, de nouveaux modes de vie ainsi que le développement du tourisme dans les régions d'altitude<sup>13</sup>, qui ont participé à l'augmentation des besoins en eau. De ce fait, le constat d'un manque d'eau, qui peut être attribué par commodité ou en raison d'un discours ambiant au « changement climatique », doit aussi être analysé au vu de ces changements sociaux, économiques et technologiques.

## La variabilité nord-sud, sur 4 sites d'étude

- 11 Nous rapportons ici les principaux changements mentionnés par les populations lors de nos entretiens en nous en tenant aux propos dominants et à ce que les personnes interrogées ont mis en avant.

### Haute montagne

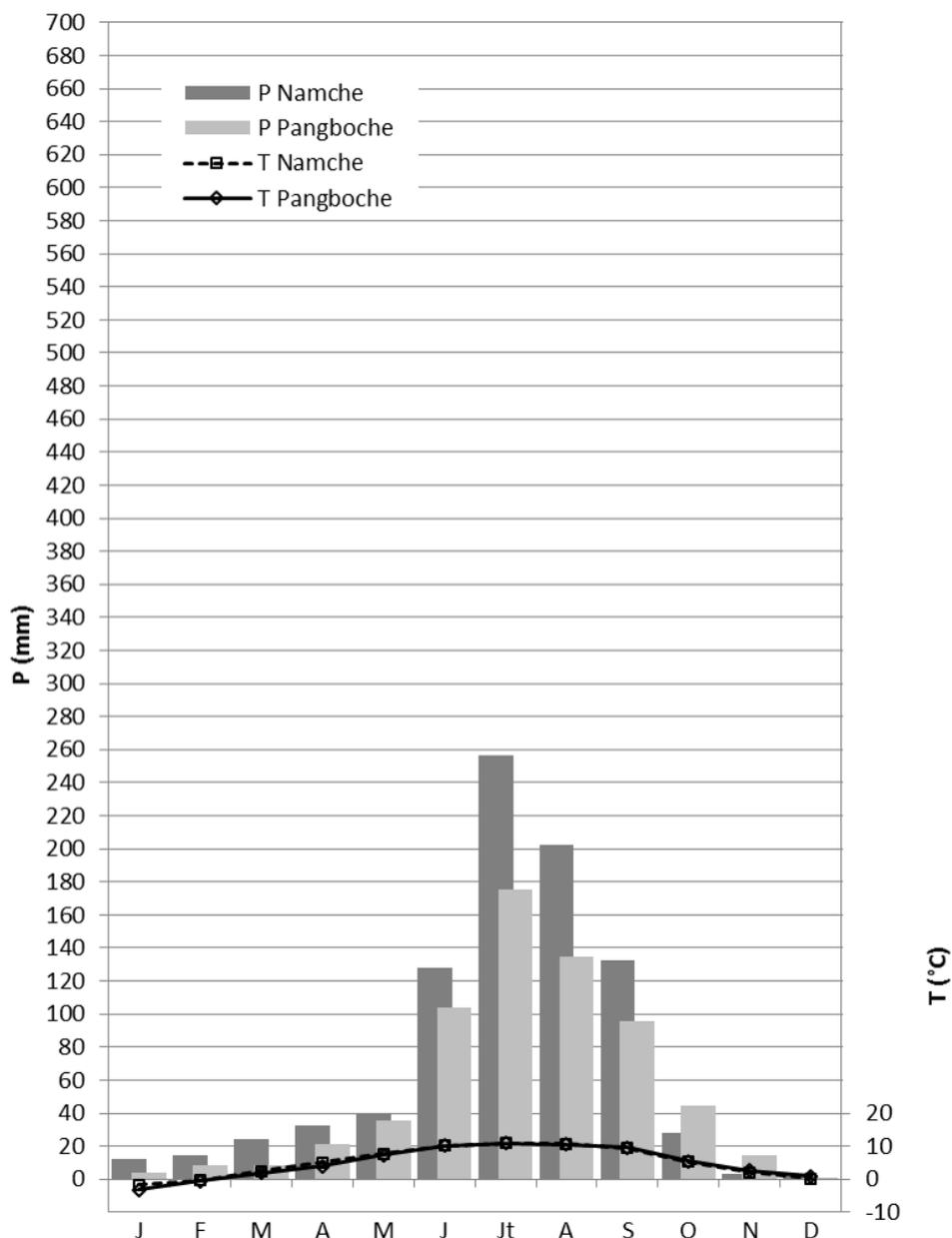
- 12 En haute montagne (8850-3500 m), où glaciers et neige couvrent les sommets, l'eau utilisée par les populations provient en partie de leur fonte. Dans le village de Pangboche (3800-6000 m, VDC [voir note 10] de Khumjung, district du Solu-Khumbu) (fig. 3), plus de 200 entretiens, incluant des localités voisines, ont été menés<sup>14</sup>. Les moyennes annuelles à 3850 m sont de 646 mm pour les précipitations et de 5°C pour les températures (minima : -0,4°C ; maxima : 13,8°C)<sup>15</sup> (fig. 4). Une agriculture pluviale (pommes de terre, sarrasin) et la pratique de l'élevage transhumant (yaks et leurs hybrides) sont au service du tourisme qui constitue aujourd'hui la principale activité économique.

**Figure 3. Haute montagne. Versant de Pangboche, février 2011**



À plus de 3800 m, le village de Pangboche est surplombé par le glacier de Tauche (6540 m) dont la fonte alimente en partie les cours d'eau et fontaines. Le village (*yul*), découpé en plusieurs hameaux situés entre 3950 et 4100 m, est localisé en versant adret, sur des terrasses alluviales. Exposé au sud-est, il est à l'abri des vents. Une agriculture pluviale à base de pomme de terre et de sarrasin est pratiquée dans des champs délimités par des murets de pierres. Le versant ubac, abritant les dernières forêts d'altitude, est dévolu à la culture de fourrage et à son stockage dans des cabanes (*yersa*). Pangboche est également un village d'étape touristique sur le chemin qui mène au camp de base de l'Everest, sommet que l'on aperçoit en arrière-plan.

Cliché : O. Puschiasis

**Figure 4. Diagrammes ombrothermiques. Haute Montagne**

- Namche Bazar (alt. 3570 m), données collectées par EV-K2-CNR de 2002 à 2006 et en 2011. Les précipitations moyennes cumulées sont de 876 mm/an et la température moyenne de 5,1°C.

- Pangboche (alt. 3850 m), données collectées dans le cadre du programme PAPRIKA en 2011, 2012 et 2013. Les précipitations moyennes cumulées sont de 646 mm/an et la température moyenne de 5,0°C.

- 13 Les villageois signalent des hivers moins rigoureux (en conséquence ils utiliseraient moins de couvertures la nuit<sup>16</sup>) et un dégel des torrents plus précoce. Ils déplorent des sommets qui deviennent « noirs » (sans neige) depuis 1995 (date repère car elle correspond à une avalanche dévastatrice). Les chutes de neige sont dans l'ensemble moins fréquentes, moins abondantes et couvrent le sol moins longtemps, même si depuis 2009 de nouveaux épisodes neigeux tardifs se produisent au printemps, jusqu'à mi-avril. La neige, qui sert d'isolant et maintient l'humidité du sol, n'est pas remplacée par des pluies. De ce fait, les rendements des pommes de terre et de foin pour les animaux (par manque d'eau) et du sarrasin (en raison du gel) diminueraient. Par ailleurs, les villageois ont noté au cours de la dernière décennie une accentuation de la variabilité des pluies de mousson ainsi que des pluies inhabituelles fin septembre et en octobre qui nuisent au séchage du foin et perturbent le début de la saison touristique d'automne. Une plus grande imprévisibilité des conditions météorologiques est évoquée par tous, mais la disponibilité en eau dans les torrents de versant ne préoccupe guère les habitants de Pangboche

qui s'interrogent surtout sur la qualité de la ressource en lien avec les activités touristiques (pollution par les eaux usées).

## Moyenne montagne

- 14 Les moyennes montagnes (4500-1500 m) caractérisées par de longs versants n'ont pas de glacier, mais les sommets reçoivent des précipitations neigeuses. Bien alimentées en eau, elles bénéficient, outre de l'eau de fonte de neige, de pluies d'orage au printemps et de pluies de mousson abondantes en été. Dans le bassin de la Khari Khola (VDC de Jubhing, Solu-Khumbu) (fig. 5), 115 interviews (soit 15 % des maisonnées du VDC) ont été menées<sup>17</sup>. Les moyennes annuelles à 2 500 m d'altitude sont estimées, pour les précipitations, à 3000 mm et, pour les températures, à 15°C<sup>18</sup> (fig. 6). Hormis du riz irrigué en bas de versant, les cultures, en terrasses, sont surtout pluviales (maïs, millet, blé, pommes de terre, orge). Au dessus de 2500 m, dominant forêts et pâturages qui sont utilisés par les hybrides de yaks toute l'année et par les bovins pendant la mousson. Une partie de la production est ici aussi destinée aux touristes bien que ces derniers soient beaucoup moins nombreux qu'en haute altitude.

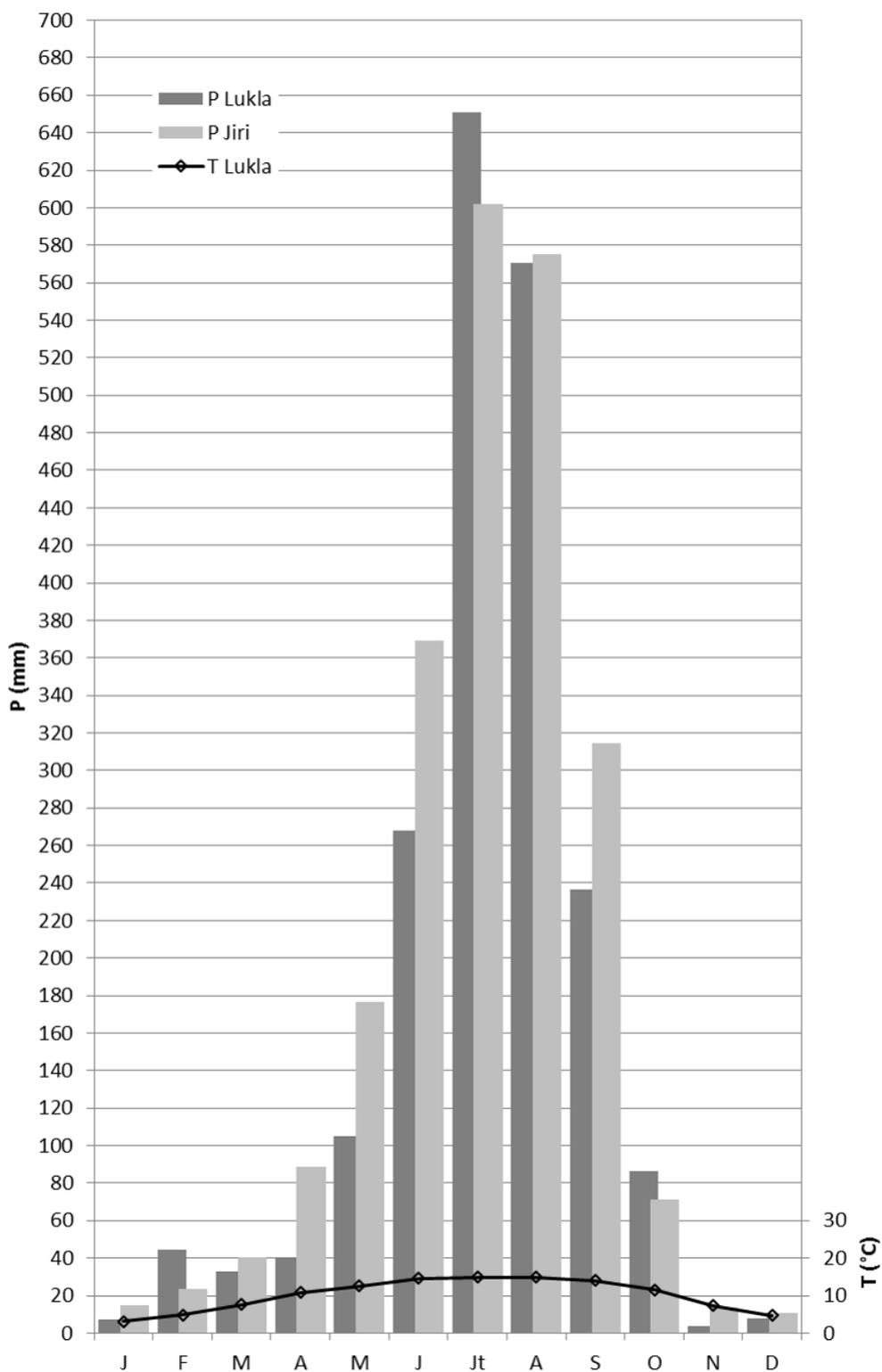
**Figure 5. Moyenne montagne. Bassin de la Khari Khola, avril 2014**



De longs versants s'étagent de 1500 à 4500 m, des milieux subtropicaux à des milieux tempérés, puis alpins. Ils sont façonnés en terrasses de 1600 à 2500 m d'altitude sur lesquelles sont généralement réalisés 3 cycles de culture en 2 ans : une succession de maïs en association avec des pommes de terre, du blé ou de l'orge et de l'éleusine. L'habitat est dispersé à mi-pente. Au-delà de 2500 m et jusqu'à 4500 m, dominant la forêt - qui procure bois de feu, de construction, fourrage, litière - ainsi que les pâturages d'altitude (*kharka*).

Cliché : J. Smadja

Figure 6. Diagrammes ombrothermiques. Moyenne montagne



- Jiri (alt. 2003 m), données collectées par DHM de 1971 à 2012. Les précipitations cumulées sont de 2301 mm/an.  
 - Lukla (alt. 2660 m), données collectées par EV-K2-CNR en 2005, 2007, 2009 et 2013 pour les précipitations et 2003, 2005, 2007, 2009, 2011 et 2013 pour les températures. Les précipitations moyennes cumulées sont de 2053 mm/an et la température moyenne de 10,1°C.  
 Les quantités de pluies dans ces deux stations paraissent sous-estimées dans la mesure où les quelques mois de relevés réalisés dans le bassin de la Khari Khola en 2014 indiquent plutôt des totaux annuels de l'ordre de 3000 mm entre 2000 et 3000 m d'altitude.

15 Les villageois signalent peu de changements dans leurs pratiques et dans le climat si ce n'est, comme en haute montagne, des chutes de neige moins fréquentes, moins abondantes et couvrant le sol moins longtemps depuis une vingtaine d'années. Tandis que dans les années

1990 elles atteignaient encore des villages à 1800 m d'altitude, elles ne tombent plus qu'à partir de 2000 m. Contrairement aux hautes montagnes, les villageois ne constatent aucun changement dans les productions agricoles en relation avec une diminution du couvert neigeux car, disent-ils, la neige est remplacée par des précipitations pluvieuses. Ils signalent également moins de gel néfaste aux cultures, mais au-dessus de 2700 m, le gel fige toujours les torrents d'altitude et certaines sources en hiver.

- 16 Depuis une dizaine d'années, des pluies inhabituelles tombent en octobre-novembre, mais le régime des pluies de printemps ou de mousson n'aurait guère changé : les dates d'arrivée de la mousson et son intensité sont variables, cependant les personnes interrogées soulignent qu'il en a toujours été ainsi. Ils déplorent en revanche des chutes de grêle d'une violence inédite qui ont dévasté cultures et forêts en rive droite de la Khari Khola en 2009.
- 17 Par ailleurs, si certains villageois au fait des discours sur le changement climatique attribuent à l'augmentation des températures l'introduction récente de bananiers, orangers ou citronniers à 2000 m, la plupart ne voient aucun décalage en altitude des espèces végétales ni de changement particulier dans leurs dates de floraison.

## Basse montagne

- 18 Les basses montagnes (2400-400 m) ne bénéficient ni des pluies d'orage ni de la fonte de la neige au printemps. Elles connaissent une saison sèche très marquée avant la mousson. Dans le VDC de Mangaltar (1 200-400 m, district de Khotang) (fig. 7), 66 interviews (soit 15 % des maisonnées) furent conduites<sup>19</sup>. Les moyennes annuelles peuvent être estimées à moins de 1500 mm pour les précipitations<sup>20</sup> (rares de novembre à mars), et à 20°C pour les températures<sup>21</sup> (fig. 8). Les versants en terrasse accueillent des cultures pluviales (maïs en début de mousson suivi de millet) et irriguées (riz l'été et parfois blé et pomme de terre en hiver). Le bétail est gardé en stabulation.

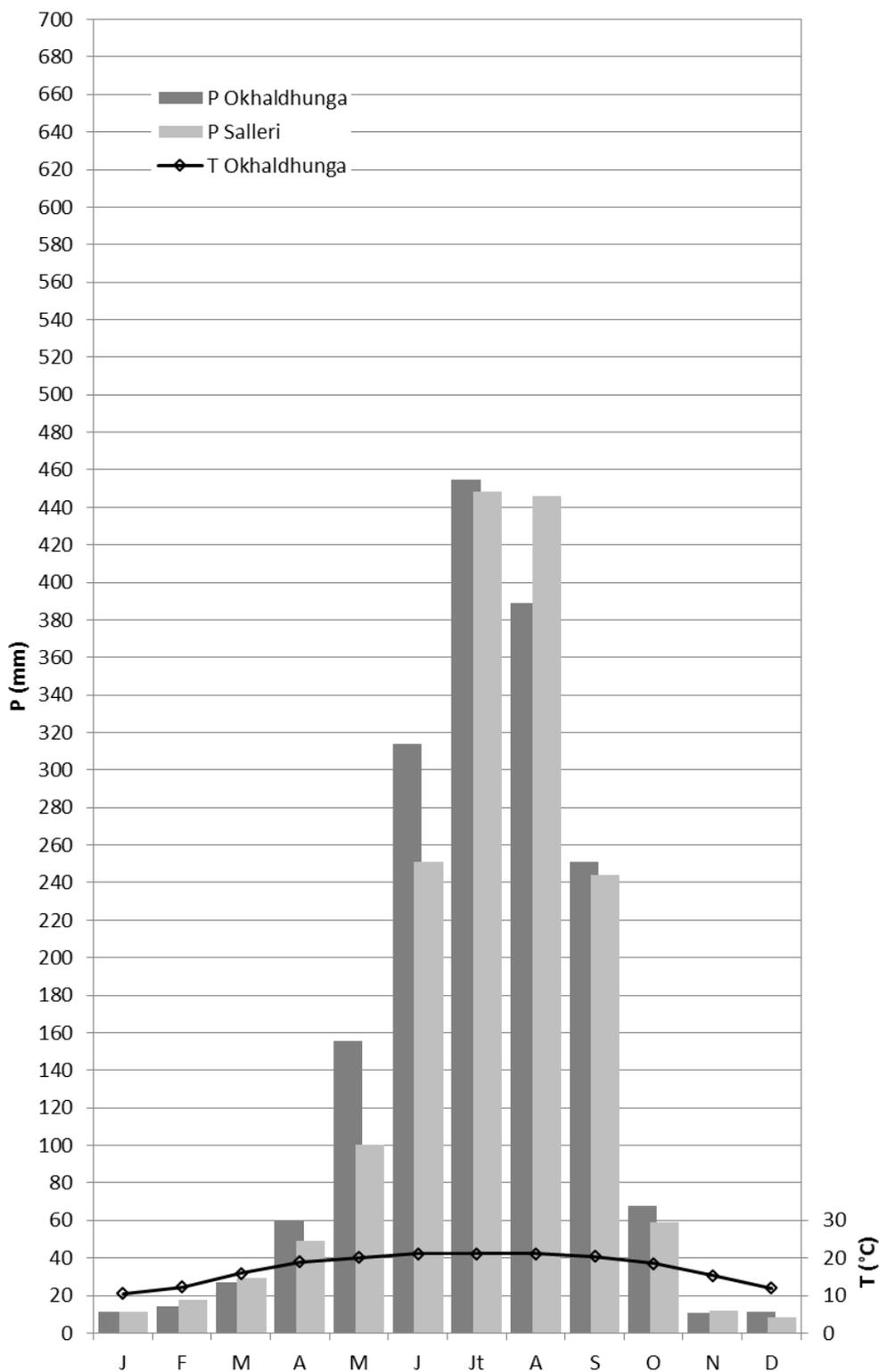
**Figure 7. Basse montagne. Mangaltar, rive gauche de la Dudh Koshi, février 2012**



Entre 400 et 1 200 m, les milieux vont du subtropical au tropical. Les terrasses de mi-pente sont occupées par les cultures pluviales de maïs, millet et lentille, sur champs *bari*. Dans la partie inférieure du versant, des terrasses sont irriguées pour la riziculture (*khet*) par la dérivation de l'eau provenant soit d'affluents de la Dudh Koshi, temporaires ou permanents, soit de résurgences. Les pentes fortes sont pâturées. Le haut de versant est occupé par une forêt de pins. Les arbres en bord de terrasses sont essentiels pour fournir du fourrage au bétail toute l'année. A l'époque de la photo, les rares pluies suivies d'un travail du sol permettent de préparer le semis du maïs.

Cliché : J. Grimaldi

Figure 8. Diagrammes ombrothermiques. Basse Montagne



Les données de Khotang Bazar (1 295 m), à une altitude équivalente à celle de Mangaltar et dans un milieu semblable, sont partielles et peu exploitables (précipitations inférieures à 1500 mm sur 22 années entre 1971 et 1996).

- Okhaldhunga (alt. 1 720 m), données collectées par DHM de 1986 à 2012 pour les températures et de 1971 à 2012 pour les précipitations. Les précipitations moyennes cumulées sont de 1766 mm/an et la température moyenne de 17,3°C.

- Salleri (alt. 2 378 m), données collectées par DHM de 1975 à 2012. Les précipitations moyennes cumulées sont de 1677 mm/an.

19 Dans cette unité, les villageois ne parlent pas de hausse des températures. En revanche, ils mentionnent des périodes de froid plus courtes mais plus intenses en hiver. Associées à des

- brouillards (*hussu*) plus fréquents et plus denses depuis une quinzaine d'années, elles auraient des répercussions négatives sur la santé du bétail et sur les rendements des cultures d'hiver.
- 20 Ici aussi les villageois soulignent la variabilité interannuelle des dates d'arrivée et de l'intensité de la mousson à laquelle ils se sont toujours adaptés, mais depuis une dizaine d'années, l'arrivée des pluies serait plus tardive, leur intensité moindre et il y aurait une sécheresse d'hiver et de printemps plus marquée. Ils y associent une diminution du débit des cours d'eau et des sources qui complique l'approvisionnement en eau pour l'alimentation du foyer et l'abreuvement des animaux.

### Plaine du Téraï

- 21 Dans la plaine du Téraï (200-70 m), Balaha (Inaruwa municipalité) bénéficiant de l'eau de la Koshi pour l'irrigation et Pipara (VDC de Bhadgaon-Sinuwari) ont été sélectionnés dans le district de Sunsari (fig. 9). 148 interviews y ont été menées (soit 11 % des maisonnées)<sup>22</sup>. Les moyennes annuelles sont de 1880 mm pour les précipitations et de 24,3°C pour les températures (maxi : 30°C, mini : 18,6°C)<sup>23</sup> (fig. 10). Riz irrigué et blé d'hiver sont les principales cultures, les animaux sont en stabulation fixe.

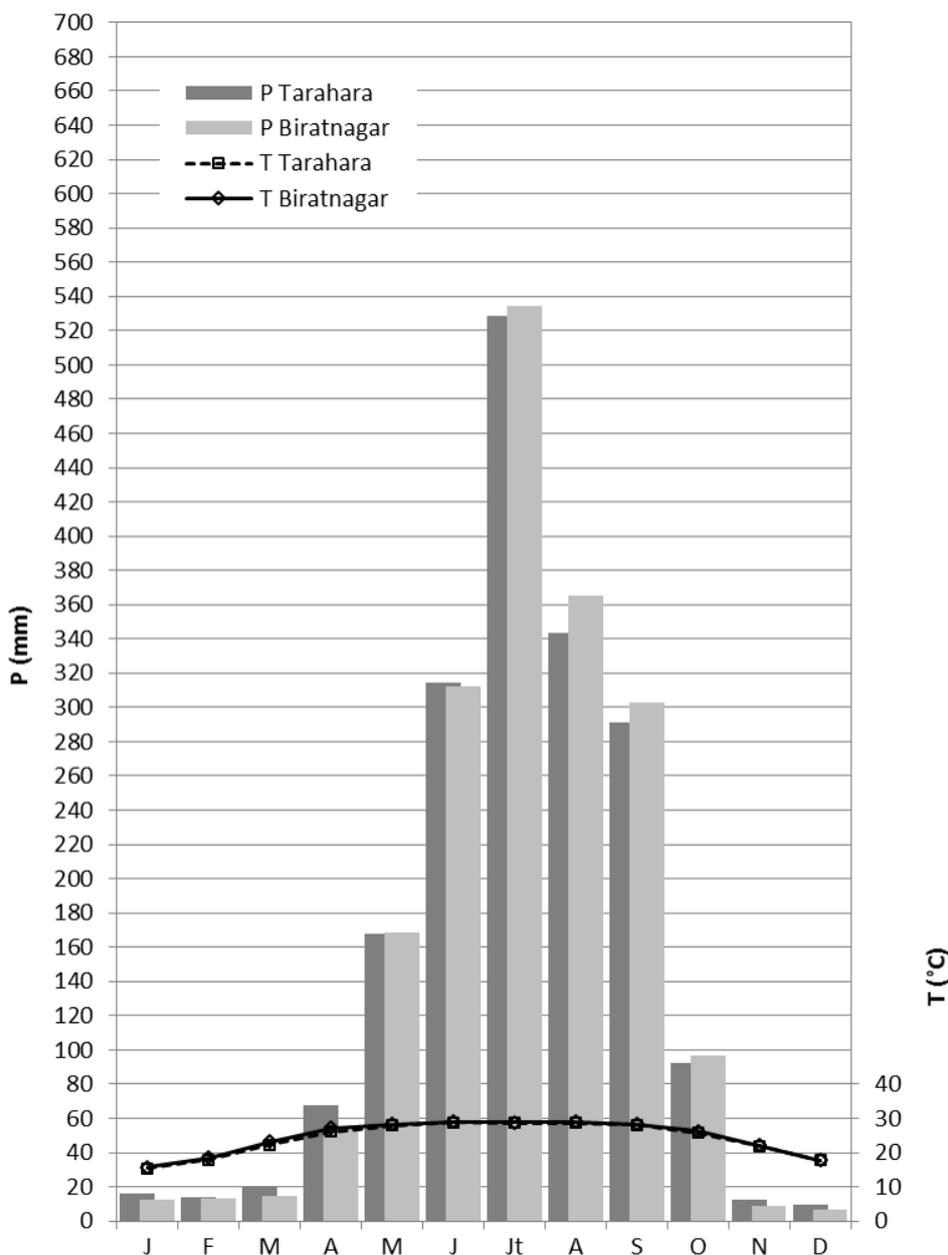
**Figure 9. Plaine du Téraï. Rizières du district de Sunsari, octobre 2010**



En milieu tropical, entre 70 et 200 m d'altitude, la plaine est consacrée à l'agriculture intensive de blé d'hiver et de riz irrigué en partie grâce à l'eau de la Koshi. Depuis 1970, des migrants sont venus en nombre des montagnes transformant radicalement la vie économique et sociale de la plaine.

Cliché : A. Aubriot

Figure 10. Diagrammes ombrothermiques. Plaine du Téraï



- Tarahara (alt. 200 m), données collectées par DHM de 1987 à 2012 pour les températures et de 1971 à 2010 pour les précipitations. Les précipitations moyennes cumulées sont de 1877 mm/an et la température moyenne de 24,1°C.

- Biratnagar (alt. 70 m), données collectées par DHM de 1971 à 2012 pour les températures et de 1970 à 2007 pour les précipitations. Les précipitations moyennes cumulées sont de 1889 mm/an et la température moyenne de 24,5°C.

22 En hiver, brouillard et froid plus intense sont également signalés pour la plaine, ils ont les mêmes caractéristiques et conséquences qu'en basse montagne. D'autres changements sont rapportés mais varient trop d'une personne à l'autre pour permettre de dégager des tendances : des averses inhabituelles au printemps ; des destructions de cultures par la grêle en cette saison, mais nous précise-t-on les cultures sont nouvelles et non la grêle ; des pluies de mousson qui duraient jusqu'à sept jours d'affilé avant les années 1970, tandis qu'elles ne durent guère plus de deux jours maintenant ; des pluies qui tombaient en temps voulu pour les cultures et étaient plus abondantes, mais d'autres en revanche qui n'observent guère de changement, considérant que les variations de la mousson lui sont inhérentes. Les villageois n'ayant pas accès à l'eau d'irrigation de la Koshi indiquent un retard dans le début de la mousson depuis une quinzaine d'années.

23 Aucun changement dans les pratiques en lien avec ces variations climatiques n'a été mentionné.

## Apports et limites des données recueillies

**Figure 11. Principales variations climatiques mentionnées par les populations dans les quatre unités géographiques étudiées**

	HAUTE MONTAGNE	MOYENNE MONTAGNE	BASSE MONTAGNE	PLAINE DU TERAÏ
<b>Hiver</b> (décembre-février)	Températures plus élevées	Températures plus élevées	Périodes de froid plus courtes mais plus intenses	Périodes de froid plus intenses
	Dégel des torrents plus précoce	Moins de gel	Brouillard plus fréquent et plus dense	Brouillard plus fréquent et plus dense
	Durée de l'enneigement diminue, chutes de neige moins fréquentes, moins abondantes	Durée de l'enneigement diminue, chutes de neige moins fréquentes, moins abondantes	Pluies moins fréquentes	
	Neige non remplacée par des précipitations pluvieuses	Neige remplacée par des précipitations pluvieuses		
<b>Printemps</b> (mars-mai)	Chutes de neige inhabituelles jusqu'à mi-avril	Chutes de grêle plus violentes	Sécheresses de plus en plus fréquentes	
<b>Mousson</b> (juin-septembre)	Accentuation de la variabilité de la mousson dans le temps		Arrivée plus tardive des pluies Pluies moins intenses	Arrivée plus tardive des pluies (pour ceux n'ayant pas accès à l'eau d'irrigation de la Koshi)
<b>Automne</b> (octobre-novembre)	Pluies inhabituelles en fin septembre et octobre	Pluies inhabituelles en octobre-novembre		

### Une hausse des températures ressentie en haute et moyenne montagne

- 24 Les villageois ressentent nettement une augmentation des températures en haute et moyenne montagne, tandis qu'ils n'en parlent guère en basse montagne et dans le Téraï où le fait marquant est plutôt la rigueur nouvelle des périodes de froid. Ce constat n'infère pas une absence de réchauffement dans ces deux dernières unités, mais suggère que certains facteurs peuvent influencer sur la façon de percevoir les changements : en effet, en altitude le réchauffement a des conséquences visuelles directes puisqu'il se traduit par une régression du manteau neigeux.
- 25 Ces résultats rejoignent ceux des climatologues qui constatent une augmentation des températures en Himalaya (0,04°C/an sur les 25 dernières années, Kulkarni *et al.*, 2013), supérieure à la moyenne mondiale (0,74°C de 1906 à 2005, IPCC, 2007), et une accentuation du réchauffement avec l'altitude (Shrestha *et al.*, 1999 ; Sharma, 2009 ; Shrestha et Aryal, 2011 ; Singh *et al.*, 2011 ; Kulkarni *et al.*, 2013).
- 26 Cependant il n'est guère possible d'établir un lien direct entre ces hausses de températures et de nouvelles pratiques dans la mesure où : en haute montagne, le décalage dans les périodes de plantation des pommes de terre signalé par certains agriculteurs pourrait être attribué au choix des variétés utilisées ou au chevauchement des calendriers agricole et touristique au printemps (mars-mai) plutôt qu'à des variations climatiques ; en moyenne montagne, les bananiers récemment plantés jusqu'à 2000 m sont peu productifs vu l'altitude, et de nombreux fruits et légumes ont été introduits partout en Himalaya depuis trois décennies. La preuve de leur introduction en raison d'un réchauffement climatique reste à faire.

### Moins de neige

- 27 En altitude, la diminution des précipitations neigeuses (en nombre, quantité et durée) est notée de façon unanime par les populations, ce qui conforte la plupart des études sur ce point (Vedwan et Rhoades, 2001 pour le Kullu ; McDowell *et al.*, 2013 pour le Khumbu ; Chaudhary et Bhawa, 2011 pour Ilam et Darjeeling). Ce phénomène est d'autant plus important à prendre en considération que ces précipitations ne sont correctement mesurées nulle part en Himalaya<sup>24</sup> et qu'elles sont sous-estimées dans les modèles qui de ce fait ne peuvent montrer de tendance à la diminution à l'échelle annuelle (Savéan, 2014). Recourir à des entretiens a toutefois aussi des limites. En effet, l'observation directe des épisodes neigeux comparée quelques mois plus tard avec le souvenir qu'en ont les populations a montré que ces dernières n'en parlent que si le couvert neigeux persiste au sol au moins une journée et s'il les gêne dans leurs activités.

- 28 La comparaison des informations recueillies par entretiens avec des données mesurées et modélisées confirme également la minimalisation par les populations des épisodes neigeux (Puschiasis et Savéan, en préparation). Les villageois peuvent ainsi dire qu'il n'a pas neigé alors que les images satellites montrent le contraire. Mais nous avons aussi pu constater que des chutes de neige nocturnes avaient en grande partie fondu à l'heure de passage du satellite MODIS (10 h) et n'ont pu être enregistrées. Aussi combiner les différentes sources d'informations (mesures, modèles, observations et entretiens) est-elle la meilleure façon de reconstituer l'évolution des précipitations neigeuses. Dans le domaine environnemental, la nécessité d'intégrer les savoirs locaux et scientifiques est mise en avant par de nombreux chercheurs (Dekens, 2007 ; Mercer *et al.*, 2012).
- 29 Nos entretiens ont cependant révélé clairement que la limite altitudinale des chutes de neige est plus élevée (au-dessus de 2000 m) depuis environ une vingtaine d'années et que la neige reste moins longtemps au sol, en lien probablement avec l'augmentation des températures.
- 30 Les données recueillies en haute montagne indiquant que les précipitations neigeuses ne sont pas remplacées par des précipitations pluvieuses corroborent les observations de Mc Dowell *et al.* (2013). Celles informant qu'en moyenne montagne elles sont remplacées par des précipitations pluvieuses sont, elles, inédites.
- 31 Enfin, il semble que la diminution du couvert neigeux favorise en haute montagne un gel des sols plus important, préjudiciable aux cultures, tandis qu'en moyenne montagne elle s'accompagnerait d'une diminution du gel profitable aux cultures.
- 32 Si la diminution du manteau neigeux entraîne une baisse de la production fourragère en haute montagne, en revanche, il apparaît que les changements dans la fréquentation des pâturages, y compris en moyenne montagne, ont peu à voir avec une évolution du couvert neigeux. Ils répondent plutôt à des logiques économiques et sociales – comme la réduction de l'élevage laitier transhumant réclamant une importante main-d'œuvre – qui poussent à se tourner vers l'économie du tourisme (Duplan, 2011).

### Davantage de variabilité dans les pluies

- 33 Les données recueillies sur les précipitations pluvieuses sont assez diversifiées et donc plus difficiles à interpréter. Notamment celles sur la mousson dont les dates sont fluctuantes et les quantités variables d'une année à l'autre. De ce fait les interviews ne permettent guère de dessiner de tendance, ce qui rejoint les données des modélisateurs (Dimri et Dash, 2011 ; Gautam *et al.*, 2013) et hydrologues du projet (Savéan, 2014) dont les résultats montrent la difficulté à identifier au Népal des variations des précipitations mesurées au cours des 30 dernières années, et des tendances dans leur évolution.
- 34 Les villageois mentionnent toutefois des pluies inhabituelles en haute et moyenne montagne (respectivement en septembre-octobre et en octobre-novembre) depuis une dizaine d'années. Elles ne sont attestées par les relevés pluviométriques qu'en moyenne montagne et pour l'année 2011 (Savéan, 2014). En revanche, une diminution des pluies hivernales et printanières est signalée en basse montagne.

### Des phénomènes météorologiques non mesurés

- 35 En basse montagne et dans le Téraï, l'hiver, des brumes (*thualo*) et des brouillards (*hussu*) accompagnant des périodes de froid plus intenses nuisent à la croissance des plantes depuis une quinzaine d'années. Ces phénomènes ont été relevés dans les mêmes unités géographiques par Manhandar *et al.* (2011). En moyenne montagne, la violence des épisodes de grêle au printemps est considérée comme nouvelle. C'est aussi une conclusion de Su *et al.* (2013) au Mustang. Ces processus ne sont guère analysés par les scientifiques du climat et ne sont pas pris en compte dans les simulations, bien qu'ils jouent un rôle important sur les rendements agricoles.

### Incertitudes sur l'évolution des débits en eau des sources et torrents

- 36 Il ressort de nos enquêtes que lorsque les villageois déplorent un manque d'eau, il faut souvent en attribuer la cause à un problème de gestion et/ou de réseau détérioré, à une déviation de l'eau pour une turbine ou à de nouvelles pratiques (maraîchage, tourisme, etc.). En outre, des

conduites d'eau avec de multiples ramifications, ainsi que des citernes de captage installées dans les années 1980 ne permettent plus d'estimer les débits des sources : les constats de variations en eau se font uniquement aux exutoires, ce qui ne permet guère d'en identifier les causes.

37 En basse montagne, il est mentionné explicitement que les sources et torrents ont des débits plus faibles en raison de la diminution des précipitations en hiver. Ce constat peut être quelque peu nuancé en raison là aussi de changements dans les techniques d'aménagement des résurgences introduits au cours des dernières décennies (Grimaldi et Hugonnet, 2013).

38 En haute montagne en revanche, à Pangboche, malgré la multiplication par cinq de la consommation d'eau pendant la saison touristique, la diminution importante du couvert neigeux et une plus forte variabilité des pluies de mousson, les villageois ne se plaignent pas d'un manque d'eau dans les sources et torrents qui sont partiellement alimentés par l'eau de fonte des glaciers et du pergélisol.

## **Des unités géographiques et des groupes de population plus susceptibles d'être affectés par des variations climatiques**

39 En se fondant sur plusieurs études, Chaudhary et Bawa (2011) concluent que les populations de haute altitude semblent plus sensibles au changement climatique que celles de basse altitude dans la mesure où des variations climatiques et leurs effets y sont davantage mentionnés. D'après nos données, si nous ne comparons que les hautes montagnes avec la plaine irriguée du Teraï, nous sommes d'accord avec ce constat, même si l'appréciation des changements peut être discutée comme nous avons pu le montrer. En revanche, si nous considérons les 4 unités sélectionnées, les résultats sont plus complexes. En effet, ils montrent que les populations des hautes montagnes et des basses montagnes sont les plus sensibles aux variations du climat, tandis que celles des moyennes montagnes et de la plaine du Teraï le sont moins.

40 Et des quatre unités étudiées, les basses montagnes se révèlent être les plus susceptibles d'être affectées par des variations climatiques. Connaissant de façon inhérente des saisons sèches très marquées en dehors de la mousson, elles sont particulièrement sensibles à tout changement dans le régime des précipitations (décalage dans le temps, quantité) dont dépendent étroitement le débit des fontaines et les cultures pluviales de mousson. Les enquêtes révèlent une accentuation de la sécheresse de pré-mousson qui peut avoir des conséquences sévères sur les productions agricoles. Il est intéressant de noter que le problème climatique posé dans ces basses montagnes ne tient pas au retrait des glaciers ou à la diminution du couvert neigeux, mais à des pluies moins abondantes et plus irrégulières. Ici, « le bon moment » pour l'arrivée des pluies, qui entre dans la définition que donnent les villageois du climat, résume bien l'enjeu posé par les variations climatiques actuelles car c'est la modification du rythme « normal » des saisons qui pose le plus problème aux agriculteurs.

41 En moyenne montagne, les villageois interrogés ne se plaignent pas de manques d'eau et ne constatent que peu de variations climatiques, hormis la variabilité annuelle qui a toujours été élevée. L'agriculture, majoritairement pluviale, dépend aussi des variations du régime des pluies. Cependant celles-ci y sont abondantes, mieux réparties dans l'année qu'en basse montagne, la forêt en haut de versant favorise la régulation du cycle de l'eau et de nombreux facteurs permettent aux agriculteurs de limiter les risques : l'étagement des parcelles cultivées, la diversité des productions et la pluriactivité liée au tourisme notamment (Duplan, 2011). Il en ressort, rejoignant en cela les conclusions de Dixit *et al.*<sup>25</sup>, que dans ces moyennes montagnes, les groupes les plus susceptibles d'être affectés par d'éventuels changements dans le climat sont ceux dont l'économie est la moins diversifiée. C'est aussi le cas pour les populations de haute montagne dont les activités économiques sont exclusivement liées au tourisme : les précipitations d'automne inhabituelles qui semblent se répéter depuis une dizaine d'années ont conduit plusieurs fois à la fermeture de l'aéroport de Lukla limitant l'arrivée des touristes, d'équipements, et de denrées alimentaires dans toute la vallée.

42 Dans le Teraï, zone pionnière et à fortes migrations depuis les montagnes, les perceptions et savoirs sur le changement climatique et ses effets sont fortement influencés par de nombreuses

transformations démographiques et, par suite, environnementales, que la plaine a connues depuis 1970 (Aubriot, 2014). Il est donc difficile de donner des tendances manifestes, les biais étant trop nombreux.

## Pour conclure

- 43 Les recherches menées dans le cadre du programme Paprika ont souligné la grande incertitude qui pèse tant sur les données quantifiées que sur celles recueillies auprès des populations. Les villageois mentionnent des modifications climatiques qui peuvent avoir des répercussions sur la ressource en eau. Semblables ou différentes d'une unité géographique à l'autre, et aux effets variables, ces modifications peuvent créer ou accentuer des difficultés mais n'affectent pas leurs pratiques au point de les changer : aucun seuil n'a été franchi. Est-ce parce que dans le Népal de l'est, bien arrosé, l'eau reste suffisante ? Est-ce par inertie ? Est-ce parce qu'il existe des alternatives économiques ? Ou encore parce que, « par-delà ce que les médias veulent bien amplifier, le changement climatique est un processus lent dont les conséquences les plus graves s'ébauchent sur la durée et de manière peu spectaculaire » (Dounias, 2010 : 246) ? Nous laissons ces questions ouvertes.
- 44 Nos enquêtes permettent toutefois de montrer que les basses montagnes du Népal et certains groupes de populations ayant une mono-activité sont les plus susceptibles d'être affectés par des variations climatiques. Dans l'attente d'informations plus précises, les questions posées autour du changement climatique deviennent alors un levier pour aborder les problèmes de justice spatiale et sociale, de développement durable et d'adaptation (cf. Magnan, 2010 ; Le Bars, 2010 ; Buytaert, 2012 ; Hallegatte, 2009), ce qui est sans doute le meilleur moyen de se préparer aux éventuels changements annoncés. La Branche et Lutoff (2011 : 5) considèrent d'ailleurs le changement climatique comme un « méta-risque » dans la mesure où il ne fait pas émerger de nouveaux risques mais en amplifie certains déjà existants.
- 45 Enfin, le décalage notoire entre d'une part les assertions des journalistes et les études ou programmes de développement alimentant un scénario établi et généralisé et, d'autre part, les recherches scientifiques en cours, n'est pas sans rappeler la façon dont les questions environnementales en Himalaya ont été traitées depuis leur émergence dans les années 1970-80 et notamment la construction de la Théorie de la Dégradation de l'Environnement en Himalaya (TDEH), qui porte sur l'utilisation des terres, la gestion des ressources forestières, l'érosion des sols etc. Bien que largement remise en question depuis car en partie infondée, cette théorie a fortement influencé les politiques environnementales. En Himalaya, depuis la fin des années 1990, la question du changement climatique a pris le relais de la TDEH. La discussion proposée par Metz (2010) pour expliquer la portée de cette théorie est valide pour les discours sur le changement climatique. Comme il le souligne<sup>26</sup>, les politiques et programmes de développement ont besoin d'un récit qui gomme l'incertitude, soit général, et efface les effets d'échelle. Quand ce récit est assimilé et approprié par les agents du développement, il devient « le paradigme culturel » et domine l'institution de développement (Metz, 2010 : 25). Or le changement climatique, surtout en montagne, ne peut souffrir une généralisation qui gomme l'incertitude. Diversité des milieux, forte variabilité des paramètres climatiques et multiplicité des facteurs de changement en font un objet d'étude qui nécessite des analyses très fines multi-scalaires, temporelles comme spatiales.

---

## Bibliographie

Andermann C., Longuevergne L., Bonnet S., Crave A., Davy P., Gloaguen R., 2012. – « Impact of transient groundwater storage on the discharge of Himalayan rivers », in *Nature Geoscience*, vol. 5, n° 2, pp. 127–132.

Aubriot O., 2014. – « Perceptions des changements climatiques en zone pionnière dans la plaine du Térai, Népal », in Bréda C., Chaplier M., Hermesse J. et Piccoli E. (eds.), *Terres (dés)humanisées : ressources et climat*, Academia-L'Harmattan, Louvain-la-Neuve (Belgique), Coll. Investigations d'anthropologie prospective, n° 10, pp. 211-237.

Aubriot O., Smadja J., Arnaud Y., Chevallier P., Delclaux F., Laj P., Neppel L., Puschiasis O., Savéan M., Seidel J.-L., 2012. – « The impact of climate change on water availability in Eastern Nepal: a presentation

of the project methodology taking into account the various origins of water », in *Hydro Nepal* (special issue), pp. 12-17.

AYKUT S.C., DAHAN A., 2011.– « Le régime climatique avant et après Copenhague : sciences, politiques et l'objectif des deux degrés », in *Natures Sciences Sociétés*, vol. 19, n° 2, pp. 144-157.

Bajracharya S., Mool P., 2009.– « Glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods in the Mount Everest region, Nepal », in *Annals of Glaciology*, vol. 50-53, pp 81-86.

Bharati L., Gurung P., Jayakody P., 2012.– « Hydrologic Characterization of the Koshi Basin and the Impact of Climate Change », in *Hydro Nepal* (special issue, April 2012), pp. 18-22. <http://www.nepjol.info/index.php/HN/article/viewFile/7198/5826>

Bookhagen B., Burbank D.W., 2010.– « Toward a complete Himalayan hydrological budget: Spatiotemporal distribution of snowmelt and rainfall and their impact on river discharge », in *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 115, n° 3, 25 p.

Brou Y. T., Chaléard J.L., 2007. – « Visions paysannes et changements environnementaux en Côte d'Ivoire », in *Annales de géographie*, n° 653, pp. 65-87.

BUCHHEIT, P. 2011.– *Changement des usages de l'eau en moyennes montagnes du Népal oriental Cas du VDC de Juving, Solukhumbu*. Mémoire AgroParisTech.

Buytaert W., 2012.– « Assessment of the Impacts of Climate Change on Mountain Hydrology : Development of a Methodology Through a Case Study in the Andes of Peru », in *Mountain Research and Development*, vol. 32, n° 3, pp. 385-386.

Byg A., Salick J., 2009.– « Local perspectives on a global phenomenon: climate change in Eastern Tibetan villages », in *Global Environmental Change*, vol. 19, n° 2, 156–166.

Chaudary P., Bawa K.S., 2011.– « Local perceptions of climate change validated by scientific evidence in the Himalayas », in *Biology Letters*, vol. 7, pp. 767-770. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2011.0269>

Crate S.A., Nuttal M. (eds.), 2009. – *Anthropology and Climate Change: From Encounters to Actions*, California, Walnut Creek.

Dekens J., 2007. - *Local Knowledge for Disaster Preparedness: A Literature Review*, International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu, Nepal.

DEPEAU S., 2006. – « De la représentation sociale à la cognition spatiale et environnementale : la notion de « représentation » en psychologie sociale et environnementale », *ESO, Travaux et Documents*, n° 25, décembre 2006.

Dimri A.P., Dash S.K., 2011. – « Wintertime climatic trends in the western Himalayas », in *Climatic Change*, vol. 111, n° 3-4, pp. 775-800. [10.1007/s10584-011-0201-y](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0201-y)

Dixit A., Upadhyaya M., Dixit K., Pokhrel A., Rai D.R., 2009. – *Living with water stress in the hills of the Koshi basin, Nepal*, Kathmandu, ICIMOD & ISET-N.

DOUNIAS E., 2010. – « Perception du changement climatique par les sociétés des forêts tropicales », in R. Barbault & A. Foucault (Eds.), *Changement climatique et biodiversité*, Ed. Vuibert, pp. 243–255.

DUPLAN T., 2011. – *Diagnostic agro-économique d'une petite région de moyenne montagne au Népal. Cas du Village Development Committee de Jubing, Solukhumbu*. Mémoire de fin d'études en agronomie, AgroParisTech, Centre d'Etudes Himalayennes.

Eriksson M., Jianchu X., Shrestha A.B., Vaidya R.A., Nepal S., Sandstrom K., 2009. – *The changing Himalayas: impact of climate change on water resources and livelihoods in the greater Himalayas*, Kathmandu, International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD).

Fort M., 2014. – « Natural hazards versus climate change and their potential impacts in the dry, northern Himalayas: focus on the upper Kali Gandaki (Mustang district, Nepal). » in *Environmental Earth Science*, vol. 73, n° 2, pp. 801-814.

Gardelle J., Arnaud Y., Berthier E., 2011. – « Contrasted evolution of glacial lakes along the Hindu Kush Himalaya mountain range between 1990 and 2009», in *Global and Planetary Change*, vol. 75, n° 1-2, pp. 47-55.

Gautam M.R., Timilsina G.R., Acharya K., 2013. – *Climate change in the Himalayas: current state of knowledge*. Policy Research working paper. World Bank, Washington, DC.

Grimaldi J., Hugonnet M., 2013. – *Agriculture, eau et climat des basses montagnes orientales du Népal : quelle vulnérabilité face aux changements globaux ? Etude de cas du VDC de Mangaltar, Khotang*, Mémoire d'études en agronomie, AgroParisTech, Centre d'Etudes Himalayennes.

Guneratne A. (ed.), 2010. – *Culture and the Environment in the Himalaya*, London and New York, Routledge.

- Hallegatte S., 2009. – « Strategies to adapt to an uncertain climate change », in *Global Environment Change*, n° 19, pp. 240-247.
- Harley T.A., 2003. – « Nice Weather for the Time of Year: The British Obsession with the Weather » in Strauss S., and Orlove B. (eds.), *Weather, Climate, Culture*, Oxford, New York, Berg, pp. 103-118.
- Icimod., 2011. – *Glacial lakes and glacial lake outburst floods in Nepal*, ICIMOD, Kathmandu.
- Ippc., 2007. – *Climate change 2007*, synthesis report: summary for policymakers.  
www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\_syr\_spm.pdf
- Ippc., 2013. – *Climate change 2013: the physical science basis?*, Working group I, contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP, WMO.
- Jasanoff S., 2010. – « A new climate for society », in *Theory, Culture and Society*, vol. 27, n° 2-3, pp. 233-253.
- Kulkarni A., Patwardhan S., Kumar K.K., Ashok K., Krishnan R., 2013.– « Projected climate change in the Hindu Kush–Himalayan region by using the high-resolution regional climate model PRECIS », in *Mountain Research and Development*, vol. 33, n° 2, 142–151.
- LA BRANCHE S., LUTOFF C., 2011. – « Introduction » in La Branche S. (ed.) *Le changement climatique : du métarisque à la métagouvernance*, Lavoisier, Editions Tec & Doc, pp 3-11.
- LE BARS Y., 2010. – « Le changement climatique peut-il être utile au développement ? », *Natures Sciences Sociétés* vol. 18, n° 3, pp. 317-321.
- LECOMTE-TILOUINE M., 2003. – « Le paysage népalais, exégèse et appropriation du pays », in Smadja J. (ed.), *Histoire et devenir des paysages en Himalaya*, Paris, CNRS Editions, pp. 165-192.
- Mcdowell G., Ford J.D., Lehner B., Berrang-Ford L., Sherpa A. 2013. – « Climate-related hydrological change and human vulnerability in remote mountain regions: a case study from Khumbu, Nepal », in *Regional Environmental Change*, vol. 13, n° 2, 299–310.
- Maddison D., 2007. – « The Perception of and Adaptation to Climate Change in Africa », *The World Bank, Policy Research Working Paper 4308*. 53 p., [en ligne], consulté le 16 septembre 2011, <http://elibrary.worldbank.org/content/workingpaper/10.1596/1813-9450-4308>.
- MAGNAN A., 2010. – « Questions de recherche autour de l'adaptation au changement climatique », in *Natures Sciences Sociétés*, vol. 18, n° 3, pp. 329-333.
- Manandhar S., Schmidt Vogt D., Perret S.R., Kazama F., 2011. – « Adapting cropping systems to climate change in Nepal: a cross-regional study of farmers' perception and practices », in *Regional Environmental Change*, vol. 11, pp. 335-348.
- Marino E., Schweitzer P., 2009. – « Talking and not talking about climate change in Northwestern Alaska », in Crate S. A. and Nuttall M. (eds), *Anthropology and climate change*, California, Walnut Creek, pp. 209-217.
- MARRY S., ARANTES L., 2012. – « Variations des représentations et perceptions d'espaces publics sonores ordinaires selon les formes urbaines », in *Cybergeo : European Journal of Geography*, Aménagement, Urbanisme, document 582, mis en ligne le 27 janvier 2012, consulté le 29 janvier 2014. URL: <http://cybergeo.revues.org/25044>; DOI: 10.4000/cybergeo.25044
- Mercer Jessica, Kelman Ilan, Alftan Björn, Kurvits Tiina, 2012. - « Ecosystem-based adaptation to climate change in Caribbean small island developing states: integrating local and external knowledge », *Sustainability*, vol. 4, pp. 1908-1932.
- Metz J., 2010. – « Downward spiral? Interrogating narratives of environmental change in the Himalaya », in Guneratne A. (ed.), *Culture and the Environment in the Himalaya*, London and New York, Routledge, pp. 17-39.
- Miller J.D., Immerzeel W.W., Rees G., 2012. – « Climate Change Impacts on Glacier Hydrology and River Discharge in the Hindu Kush-Himalayas », in *Mountain Research and Development*, vol. 32, n° 4, pp. 461-467.
- National Trust For Nature Conservation, 2012. – *Climate change impact on livelihood and natural resources of Upper Mustang*, NTNC, rapport, Nepal.
- Orlove B., 2003.– « How People Name Seasons », in Strauss S. and Orlove B. (eds.), *Weather, Climate, Culture*, Oxford, New York, Berg, pp. 121-140.
- Puschiasis O., Savean M., (en préparation). – « Entre données quantitatives et données qualitatives: regards croisés sur le changement climatique dans la région de l'Everest ».

- Rebetez M., 1996.– « Public Expectation as an Element of Human Perception of Climate Change », in *Climatic Change*, vol. 32, n° 4, pp. 495-509.
- Rees H., Collins D., 2006.– « Regional differences in response of flow in glacier-fed Himalayan rivers to climatic warming », in *Hydrological Processes*, vol. 20, n° 10, pp. 2157-2169.
- SAVEAN M., 2014.– *Modélisation hydrologique distribuée et perception de la variabilité hydro-climatique par la population locale sur le bassin versant de la Dudh Koshi, Népal*, Thèse : hydrologie. Université Montpellier 2. 329 p.
- SHAH A., 2010. – My *Republica*, Jun 1st, 2010. [http://archives.myrepublica.com/portal/index.php?action=news\\_details&news\\_id=19341](http://archives.myrepublica.com/portal/index.php?action=news_details&news_id=19341)
- Shahi P., 2013. – *e-kantipur*, Sept 28th, 2013. <http://www.ekantipur.com/2013/09/28/related-article/climate-change-hits-upper-mustang/378614.html>
- Sharma D., 2010. – *Nepali times*, July 12th, 2010. <http://nepalitimes.com/news.php?id=17269#.UqmPrSdxbyY>
- Sharma E., Chettri N., Tse-Ring K., Shrestha A.B., Jing F., Mool P., Eriksson M., 2009. - *Climate change impacts and vulnerability in the Eastern Himalayas*, International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu, Nepal.
- Sherpa P., 2014, – « Climate Change, Perceptions, and Social Heterogeneity in Pharak, Mount Everest Region of Nepal », in *Human Organization*, vol. 73, pp. 153-161.
- Shrestha A.B., Wake, C.P., Mayewski, P.A., Dibb, J.E. 1999. – « Maximum temperature trends in the Himalaya and its vicinity: an analysis based on temperature records from Nepal for the period 1971–94 », in *Journal of Climate*, vol. 12, n° 9, pp. 2775–2786.
- Shrestha A.B., Aryal R., 2011. – « Climate change in Nepal and its impact on Himalayan glaciers », in *Regional Environmental Change*, vol. 11, n° 1, pp. 65–77.
- Singh S.P., Bassignana-Khadka I., Singh Karky B., Sharma E., 2011. – *Climate change in the Hindu Kush-Himalayas : the state of current knowledge*, Kathmandu, Nepal, International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD).
- Smadja J., 2003. – « Unités géographiques et paysages au Népal. Terminologies locales », in Smadja J. (ed.), *Histoire et devenir des paysages en Himalaya*, Paris, CNRS Editions, pp. 51-89.
- Su Y., Lu J., Manandhar S., Ahmad A., Xu J., 2013. – *Policy and institutions in adaptation to climate change: Case study on tree crop diversity in China, Nepal, and Pakistan*. ICIMOD Working Paper 2013/3.
- Vedwan N., Rhoades R.E., 2001. – « Climate Change in the Western Himalayas of India: A Study of Local Perception and Response », in *Climate Research*, vol. 19, pp. 109-117.
- Wagnon P., Arnaud Y., Chevallier P., 2008. – « La source himalayenne se tarit », in *La Recherche*, p. 48. <http://www.larecherche.fr/savoirs/dossier-special/source-himalayenne-se-tarit-01-07-2008-89249>
- Wagnon P., Vincent C., Arnaud Y., Berthier E., Vuillermoz E., Gruber S., Menegoz M., Gilbert A., Dumont M., Shea J-M., Stumm D., Pokhrel B. K., 2013 – « Seasonal and annual mass balances of Mera and Pokalde glaciers (Nepal Himalaya) since 2007 », in *The Cryosphere*, vol. 7, pp. 1769-1786, doi:10.5194/tc-7-1769-2013
- West C.T., Vasquez-Leon M., 2003. – « Testing Farmers' perceptions of climate variability: a case study from the Sulphur springs valley, Arizona », in Strauss S. and Orlove B. S.(eds), *Weather, climate, culture*, Oxford, New York, Bergam, pp. 233-250.

---

## Notes

- 1 Et tandis que l'erreur du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat) en 2007 orientait les projecteurs sur les glaciers himalayens en prévoyant leur disparition en 2035.
- 2 ANR PAPRIKA (2010-2013) : ANR-09-CEP-005-05/PAPRIKA. Il regroupait glaciologues, hydrologues, chimistes de l'atmosphère, modélisateurs, agronomes, géographes.
- 3 Nous ne traitons pas ici des GLOF et glissements de terrain pouvant être liés au changement climatique qui font l'objet de nombreuses études (Bajracharya et Mool, 2009 ; ICIMOD, 2011 ; Fort, 2014 ; etc.)
- 4 Chaudhary et Bawa, 2011 ; Mc Dowell, 2013 ; Su *et al.*, 2013 ; etc.
- 5 Shah, 2010 ; Sharma, 2010 ; Shahi, 2013 ; National Trust for Nature conservation, 2012.
- 6 Une augmentation des précipitations est prévue, qui conduirait à un accroissement des débits, mais elle connaîtrait une grande variabilité (Miller *et al.*, 2012).

- 7 Pourtant, les modèles actuels s'appuient sur les données des stations des réseaux nationaux.
- 8 Nous n'abordons pas ici les questions d'adaptation et de vulnérabilité, mais apportons des éléments permettant d'alimenter les réflexions à ce sujet.
- 9 Unités utilisées notamment par le Bureau des Statistiques pour distinguer les districts par zone écologique.
- 10 Nous appelons « village » un hameau ou un groupement de hameaux qui forment une unité territoriale cohérente au vu de l'utilisation des ressources. Le VDC, *Village Development Committee*, est une unité administrative qui englobe plusieurs hameaux, voire villages.
- 11 Cf. note 4.
- 12 Propos recueilli auprès d'un agriculteur du Solu-Khumbu, avril 2014.
- 13 De 3600 visiteurs en 1979 à plus de 36 550 en 2013 dans le Parc national de Sagarmatha (Nepal Tourism Statistics, 2013 : 63)
- 14 Entretiens menés entre novembre 2010 et décembre 2011 par O. Puschiasis, doctorante en géographie.
- 15 Données collectées dans le cadre du programme Paprika en 2011, 2012 et 2013.
- 16 Il faut toutefois noter que les nouveaux textiles utilisés peuvent contribuer à amoindrir la sensation de froid.
- 17 Par T. Duplan (2011) et P. Buchheit (2011), étudiants en agronomie (février à juin 2011), par O. Aubriot et J. Smadja (5 semaines en octobre 2010 et avril 2013) et par J. Smadja 1 semaine en avril 2014.
- 18 A Jiri (2003 m), de 1971 à 2012, la pluviométrie est de 2301 mm (d'après DHM), et à Lukla (2660 m) pour 2005, 2007, 2009 et 2013, elle est de 2053 mm, et la température moyenne de 10,1°C (données EVK2). Toutefois, d'après les quelques mois de relevés réalisés par les hydrologues de notre programme en 2014 dans le bassin de la Khari Kholu, la pluviométrie entre 2000 et 3000 m serait plutôt supérieure à 3000 mm/an.
- 19 Par J. Grimaldi et M. Hugonnet (2013), étudiants en agronomie, et par M. Rai, étudiante Népalaise en Master de géographie à Tribhuvan University (de février à juin 2012).
- 20 Estimation fondée sur les données de Khotang Bazar (1 295 m), station à une altitude plus proche de celle de Mangaltar mais dont les données, uniquement pluviométriques, sont partielles (de 1971 à 1996, moyenne annuelle : 1140 mm), et sur celles d'Okhaldhunga (1720 m d'altitude, pluviométrie moyenne annuelle de 1971 à 2012 : 1760 mm).
- 21 Nous avons majoré de 3°C (pour les 600 m de dénivelé) celles de la station d'Okhaldhunga (1720 m) de 1986 à 2007 (moy : 17,3°C ; maxi : 21,6°C ; mini 12,8°C).
- 22 Par S. Khanal étudiant népalais en Master de géographie à Tribhuvan University, en février 2011, et par O. Aubriot (9 semaines entre avril et octobre 2010, avril 2011 et avril 2012).
- 23 Les données sur les précipitations et les températures sont la moyenne entre celles de Tarahara (200 m) sur 17 ans (années exploitables entre 1971 et 2011) et de Biratnagar (70 m) sur 30 ans (entre 1971 et 2007).
- 24 D'après M. Savéan, 2014, l'erreur peut aller de 20-50 % à 110 % en fonction des auteurs. Seule l'extension du couvert neigeux est calculée à l'aide d'images satellite mais pas son épaisseur.
- 25 "it is a fact that people with diverse income sources adapt more easily than those with few sources of income. The diversity of sources is more important than the level of income. For this reason, poor families are not necessarily the most vulnerable to stresses and hazards." Dixit *et al.*, 2009 : 29.
- 26 Reprenant des propos de Roe, 1991 et Hoben, 1996.

---

### ***Pour citer cet article***

#### Référence électronique

Joëlle Smadja, Olivia Aubriot, Ornella Puschiasis, Thierry Duplan, Juliette Grimaldi, Mickaël Hugonnet et Pauline Buchheit, « Changement climatique et ressource en eau en Himalaya », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 103-2 | 2015, mis en ligne le 04 septembre 2015, consulté le 10 septembre 2015. URL : <http://rga.revues.org/2850> ; DOI : 10.4000/rga.2850

---

### ***À propos des auteurs***

#### **Joëlle Smadja**

Centre d'Etudes Himalayennes, CNRS

#### **Olivia Aubriot**

Centre d'Etudes Himalayennes, CNRS

**Ornella Puschiasis**

Centre d'Etudes Himalayennes, CNRS

**Thierry Duplan**

Centre d'Etudes Himalayennes, CNRS

**Juliette Grimaldi**

Centre d'Etudes Himalayennes, CNRS

**Mickaël Hugonnet**

Centre d'Etudes Himalayennes, CNRS

**Pauline Buchheit**

Centre d'Etudes Himalayennes, CNRS

---

### *Droits d'auteur*

© Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine

---

### *Résumés*

En Himalaya, où la hausse des températures est plus élevée que la moyenne mondiale, les répercussions du changement climatique sur la ressource en eau devraient être particulièrement importantes. Tandis que les spécialistes du climat utilisant mesures et simulations nuancent ce constat en soulignant incertitudes et différences notoires entre l'ouest et l'est de la chaîne, médias et organismes de développement tendent à donner l'image uniforme d'un déficit en eau actuel et à venir. Dans le cadre d'un programme interdisciplinaire (glaciologie, hydrologie, agronomie, géographie) sur le bassin de la Koshi au Népal, nous discutons ces propos en montrant la nécessité de distinguer les situations en fonction des unités géographiques et d'intégrer dans les approches sur ce sujet le contexte culturel, social et économique. Nos enquêtes, réalisées sur quatre terrains représentatifs des milieux népalais, ont eu pour objectif de savoir si les populations constataient des variations de la ressource en eau affectant leurs pratiques (agriculture, élevage, tourisme) et si elles les attribuaient à des changements du climat. Nos résultats montrent des situations contrastées et des changements de pratiques sans relation évidente avec le climat. Ils apportent, entre autres, des informations sur la neige, paramètre mal mesuré et sous-estimé dans les simulations et montrent que les populations sont plus affectées par les fluctuations des régimes pluviométriques que par la fonte des glaciers et du manteau neigeux. Enfin, ils mettent en exergue les unités géographiques et les groupes de population les plus susceptibles d'être affectés par des variations climatiques.

In the Himalayas, where the increase in temperatures is higher than the world average, climate change is expected to impact water resources in a particularly significant manner. Whereas climate specialists using measurements and simulations play down this statement by underlining uncertainties and differences between the west and east of the range, the media and development agencies tend to paint a uniform picture of a water shortage now and in the future. As part of an interdisciplinary programme (glaciology, hydrology, agronomy, geography) in the Koshi basin in Nepal, we discuss these remarks, while stressing the need to distinguish between situations according to the geographical units and to take into account the cultural, social and economic context when addressing this subject. The investigations that we carried out at four fieldwork sites, which are representative of Nepalese milieus, aimed to find out whether populations noticed any variations in water resources that affected their practices (farming, livestock breeding, tourism) and if they attributed them to climate change. Our results show contrasting situations and changes in practices with no obvious connection to the climate. Among other things, they provide information about snow, a parameter that has been measured incorrectly and underestimated in simulations, and they show that populations are more affected by fluctuations in rainfall patterns than by the melting of glaciers and the snow

cover. Lastly, they highlight the geographical units and population groups most likely to be affected by climatic variations.

***Entrées d'index***

***Mots clés*** : changement climatique, Népal, ressource en eau, connaissances locales, agriculture, tourisme

***Keywords*** : climate change, Nepal, water resource, local knowledge, agriculture, tourism

***Notes de l'auteur***

Remerciements. Nous tenons à remercier tout particulièrement : notre collègue Narendra Khanal du Département de Géographie de l'Université de Tribhuvan à Kirtipur (Népal) qui nous a apporté son aide tout au long de ce programme ; Harka Bahadur Majhi qui a accompagné la plupart des missions sur le terrain ainsi que Dawa Nuru Sherpa pour la haute montagne et Manisha Rai pour les basses montagnes, ils ont tous trois assuré la traduction pour les étudiants ; les relecteurs qui nous ont permis d'améliorer ce texte. Cet article a été finalisé après les séismes du 25 avril et du 12 mai au Népal qui ont fait des milliers de victimes et engendré des dégâts considérables : nous avons une pensée toute particulière pour tous les Népalais avec lesquels nous avons travaillé sur le terrain.