



Impact du changement climatique sur les dynamiques des milieux montagnards

Une introduction

Monique Fort



Éditeur

Association pour la diffusion de la recherche alpine

Édition électronique

URL : <http://rga.revues.org/2875>

DOI : 10.4000/rga.2875

ISSN : 1760-7426

Référence électronique

Monique Fort, « Impact du changement climatique sur les dynamiques des milieux montagnards », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 103-2 | 2015, mis en ligne le 31 août 2015, consulté le 30 septembre 2016. URL : <http://rga.revues.org/2875> ; DOI : 10.4000/rga.2875

Ce document a été généré automatiquement le 30 septembre 2016.



La *Revue de Géographie Alpine* est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Impact du changement climatique sur les dynamiques des milieux montagnards

Une introduction

Monique Fort

- 1 Les montagnes sont des écosystèmes spécifiques, caractérisés par une grande diversité et complexité (Messerli et Ives, 1997). Les gradients topographiques, climatiques et biologiques élevés se combinent à de forts contrastes saisonniers pour favoriser le déclenchement d'événements climatiques et géomorphologiques extrêmes, qui à leur tour peuvent fortement affecter les milieux écologiques et humains (Ives et Messerli, 1989 ; Price, 1999 ; Beniston, 2002 ; Viviroli *et al.*, 2007 ; Huggel *et al.*, 2010 ; Körner, 2013). Les populations de montagne ont des mode de vie très diversifiés : les activités rurales traditionnelles comme l'agriculture, le pâturage et l'exploitation forestière, coexistent avec l'extraction minière, la production d'hydroélectricité et l'industrie du tourisme (Beniston *et al.*, 1996). Selon le contexte socio-économique et démographique de chaque pays, ces activités sont aujourd'hui soit en déclin soit en plein essor. En fait, si 12 % de la population mondiale vit dans les montagnes, elle vit en grande majorité dans les pays en développement marginalisés (physiquement et économiquement), de sorte que toute modification des conditions environnementales peut avoir un impact sur la pauvreté et la sécurité alimentaire (Kohler *et al.*, 2014). Les montagnes jouent également un rôle important pour leurs piémonts : elles sont de véritables « châteaux d'eau » (Liniger *et al.*, 1998 ; Viviroli *et al.*, 2007) qui stockent et restituent leur eau douce plus en aval, elles permettent aussi la production d'énergie par le biais d'un fort potentiel hydroélectrique (de Jong *et al.*, 2009 ; Viviroli *et al.*, 2011 ; Beniston et Stoffel, 2013). Mais les milieux de montagne sont « fragiles », ils peuvent être détruits par de nombreux facteurs tels que le déboisement, le surpâturage, la mise en culture de terres marginales, la progression de l'urbanisation, tous facteurs qui peuvent conduire à (1) la dégradation rapide de la

biodiversité et des ressources en eau, et à (2) l'augmentation des risques naturels, et mettre ainsi les populations en danger.

- 2 Les milieux de montagne sont particulièrement sensibles aux changements climatiques (Beniston, 2003, 2005). Ils figurent parmi les écosystèmes les plus sérieusement et rapidement touchés : ils peuvent être affectés par des changements de température et du régime des précipitations à toutes les échelles (Zemp *et al.*, 2009). Neige et glace sont les principaux paramètres de contrôle du cycle hydrologique, en particulier des écoulements saisonniers, et peuvent influencer sur la globalité du géosystème (roches, sols, végétation, débits de rivières...). Avec le changement climatique, la disponibilité en eau risque d'être réduite, avec des conséquences qui se feront sentir bien au-delà des régions de montagne (Lutz et Immerzeel, 2013). De même, le changement climatique est susceptible de provoquer davantage de catastrophes naturelles ou économiques, d'autant plus que dans de nombreuses zones de montagne, les niveaux de pauvreté sont plus élevés et l'insuffisance alimentaire plus répandue que dans les basses terres (Ives et Messerli, 1989 ; Kohler *et al.*, 2014) .
- 3 Cependant l'évaluation des impacts potentiels des changements environnementaux n'est pas chose facile en raison de la complexité et de la diversité des systèmes de montagne, et de la variabilité intra et interannuelle naturelle des paramètres climatiques, qui font que la nature exacte du changement climatique est très difficile à prouver (Immerzeel *et al.*, 2010 ; Salzmann *et al.*, 2014). En effet, toute prédiction de l'évolution future du climat repose à la fois sur un vaste réseau de stations météorologiques et sur les résultats de modélisations à partir de données satellitaires, et les tendances ne peuvent être réellement dégagées qu'à l'échelle de plusieurs décennies (Beniston, 2003 ; Immerzeel *et al.*, 2009 ; Nolin, 2010).
- 4 Ce numéro est consacré à l' « impact du changement climatique sur les dynamiques des milieux montagnards », et met l'accent sur les indicateurs et les perceptions du changement climatique aux échelles locales et régionales. Il a l'ambition d'apporter quelques réponses aux interrogations suivantes :
 1. Quelles sont les différentes méthodes pour évaluer les changements climatiques ? Quelles sont les plus accessibles et les mieux intégrées ?
 2. Sur le terrain, quels sont les meilleurs indicateurs du changement climatique ? Comment différencier les impacts causés par le changement climatique s.s. de ceux liés à un changement d'utilisation du sol ?
 3. Les populations de montagne perçoivent-elles à l'échelle locale certains indices de changement climatique (température, précipitations, saisonnalité, événements extrêmes) ? Se sentent-elles menacées ?
 4. Comment les décideurs concilient-ils les enjeux socio-économiques (stations de ski, approvisionnement en eau, etc.) avec des données sur le changement climatique et son évolution à moyen terme (2050) ?
- 5 Ce numéro comprend sept contributions, qui englobent une grande variété d'approches méthodologiques et de thèmes appliqués à différents systèmes de montagne appartenant à quatre continents, avec une place privilégiée donnée aux Alpes françaises.
- 6 La première contribution de Einhorn *et al.* donne un aperçu des résultats obtenus au cours de la période 2007-2013 par les projets de recherche, de coopération et de capitalisation sur le changement climatique. Cet article est principalement un inventaire des changements observés et projetés par les modèles climatiques, au niveau de la dynamique

de la cryosphère et des risques naturels associés et prévisibles (inondations, coulées de débris, glissements de terrain, éboulements). Les auteurs examinent les bases de données existantes sur le changement climatique et les risques naturels à différents niveaux (international, européen et français), en insistant sur les différents observatoires et plates-formes développés par les opérateurs scientifiques et techniques à l'échelle des Alpes européennes. Certains impacts socio-économiques importants sont également mentionnés, pour inciter les parties prenantes et les décideurs à anticiper et à s'adapter à ces nouvelles situations prévisibles.

- 7 Les deux contributions suivantes traitent de pergélisol (glace de sol permanente). En haute altitude, le pergélisol, aussi nommé permafrost, un élément majeur de la cryosphère de montagne dont l'existence est mise en évidence par des glaciers suspendus et des glaciers rocheux, est un bon indicateur du changement climatique. Toute évolution des paramètres du pergélisol (température, superficie) peut engendrer de nouveaux risques pour les populations de montagne proches, les infrastructures et les territoires (Haerberli et Beniston, 1998 ; Huggel *et al.*, 2010 ; Haerberli, 2013) .
- 8 Dans leur étude, Bodin *et al.* proposent une synthèse sur l'état actuel du pergélisol de montagne dans les Alpes françaises et son évolution récente. Ils font le bilan des recherches qui ont été effectuées au cours des dix dernières années dans le cadre de PermaFRANCE, un réseau de recherche mis en place pour suivre l'évolution à long terme du pergélisol. Les mesures de température ont été à la fois effectuées en surface (capteurs) et en sub-surface (forages). Les résultats préliminaires obtenus pour les cinq dernières années montrent une tendance claire de la hausse des températures, en cohérence avec les données recueillies sur d'autres forages alpins. Puis les auteurs évoquent quelques processus géomorphologiques dangereux qui peuvent se produire en réponse au réchauffement du pergélisol : augmentation de l'activité des chutes de pierres dans le massif du Mont-Blanc, augmentation de la vitesse des glaciers rocheux tels celui du Bérard dans le massif de la Vanoise, ces dynamiques extrêmes étant corrélées à des anomalies météorologiques, hydrologiques et nivologiques. Dans leur conclusion, les auteurs insistent sur les conditions de stabilité des pentes alpines, nettement modifiées par le réchauffement du pergélisol et les changements consécutifs de la teneur en glace ou eau contenues dans les terrains meubles. La compréhension et la prévision des impacts en termes de risques devraient tenir compte de la très grande variabilité des conditions locales, afin de répondre aux attentes de la société, en particulier à celles des gestionnaires des risques naturels.
- 9 Cette recommandation est prise au sérieux par Duvillard *et al.* qui se concentrent sur le risque de déstabilisation directe des infrastructures de haute montagne (refuges, téléphériques, etc.) engendré par le réchauffement climatique. Afin de caractériser les risques potentiels et évaluer la vulnérabilité de ces infrastructures susceptibles d'être menacées par la dégradation du pergélisol et/ou éventuellement touchées par le retrait des glaciers, les auteurs ont mené dans les Alpes françaises un recensement de toutes les infrastructures de haute montagne (n = 1 769). Pour chacune d'entre elles ils prennent en considération une série de facteurs (passifs ou actifs) caractérisant les aléas géomorphologiques à l'origine de l'instabilité des pentes. Ils incluent également le niveau potentiel de l'intensité des dommages à l'aide d'un indice de valeur (valeur à la fois financière et opérationnelle) afin de mieux estimer le degré de vulnérabilité. Enfin ils construisent un indice de risque de déstabilisation afin d'identifier et de classer les infrastructures à risque. Sur la base de tous ces paramètres, ils aboutissent à la conclusion

que 10 % des infrastructures étudiées se caractérisent par un risque élevé de déstabilisation, un chiffre qui devrait sérieusement être pris en compte par les responsables de station et les décideurs politiques.

- 10 Outre la déstabilisation des pentes et la menace des infrastructures en raison de la hausse des températures, le changement climatique dans les montagnes a aussi des répercussions importantes sur l'hydrologie et peut menacer les populations vivant dans les zones de montagne et les plaines de piémont voisines. Les montagnes fournissent les ressources en eau nécessaires aux besoins domestiques, agricoles, industriels et touristiques, et toute modification de cette ressource (superficielle ou souterraine) peut affecter la quantité d'eau disponible et donc menacer toute activité économique basée sur cette ressource. Cela est d'autant plus vrai que les zones de montagne accueillent aujourd'hui des densités de population plus élevées que par le passé. Quatre articles illustrent la variété des usages de l'eau dans différents continents et différents contextes socio-économiques.
- 11 La disponibilité en l'eau est une question cruciale dans les montagnes où l'activité agricole reste la principale source de revenus économiques. Dans l'Anti-Atlas marocain, Aziz et Sadok montrent comment la production de safran, pilier majeur de l'économie locale, est une culture exigeante en eau qui est, en tant que telle, directement menacée par la variabilité du climat. Plus précisément sont en cause l'augmentation de la température générale de ces dernières décennies, qui limite la durée de la saison froide, et la diminution du volume de neige dans la montagne, cause du déficit hydrique observé, tendances qui pourraient réduire le bénéfice économique tiré de cette culture de rente emblématique. Afin de mieux évaluer la perception locale du changement climatique, les auteurs ont interrogé 60 agriculteurs (utilisation de questionnaires), et quelques acteurs (entretiens semi-structurés). Ils montrent comment, afin de minimiser les pertes de bénéfice liées au changement climatique, la population locale a développé des stratégies d'adaptation, en intégrant des connaissances « techniques » importées (par exemple, l'irrigation au goutte à goutte, ou des modifications du calendrier de plantation et d'irrigation) au savoir traditionnel hérité des générations passées (réhabilitation de vieux puits ou creusement de nouveaux puits).
- 12 La position des Andes argentines en situation d'abri par rapport aux flux d'ouest les rend particulièrement sensibles au changement climatique. Dans cette région aride (150-300 mm précipitations annuelles moyennes) étudiée par Delbart *et al.*, la fonte des neiges annuelles est la principale source d'eau pour les rivières et la recharge des aquifères, et assure directement l'alimentation en eau de l'agriculture irriguée des oasis du piémont de la province de Mendoza. Là, l'augmentation de la population et la demande croissante en eau font que l'accès à la ressource en eau est devenu une priorité, ce qui nécessite une certaine anticipation. Les auteurs analysent le lien entre les variations saisonnières et interannuelles du débit des rivières mesuré en amont des premiers barrages construits sur les quatre rivières qui alimentent les périmètres irrigués. Afin de prévoir les débits moyens de rivières durant les mois de printemps et d'été, ils utilisent une méthode de télédétection basée sur des images de MODIS (période 2001-2014). Malgré une trop courte période d'analyse pour conclure de façon significative sur un changement de régime, les auteurs montrent que les grandes différences dans les débits sont liées à la surface totale de la couverture de neige d'un bassin versant à l'autre, elle-même corrélée avec la dimension de chaque bassin versant. Ils montrent également que la surface mesurée de la couverture neigeuse observée en début de période de fonte des neiges

influence directement le débit total des rivières. Finalement, cette analyse d'images se révèle pertinente pour prévoir plus de 60 % de la variance interannuelle du débit, et pourrait être une aide à la gestion des niveaux d'eau dans les réservoirs situés en amont des zones irriguées.

- 13 Smadja *et al.* s'intéressent à l'Himalaya, et plus particulièrement au bassin de la Koshi (Népal) dominé par l'Everest. Par opposition avec les nombreuses études basées sur la modélisation du climat, l'objectif des auteurs est de savoir si les populations ont noté des variations de disponibilité en eau qui auraient pu affecter leurs pratiques agricoles habituelles et si ils attribuent ces variations éventuelles à un changement climatique. Dans une approche tout à fait originale, à savoir « l'étude du changement climatique sans en parler », les auteurs tentent d'évaluer les impacts réels du changement climatique par rapport aux impacts d'une demande croissante de l'eau qui serait due à l'introduction de nouvelles techniques dans les pratiques agricoles, à de nouveaux modes de vie et au développement du tourisme (10 fois plus important qu'en 1980). A partir de nombreux entretiens menés sur quatre terrains représentatifs des différents milieux népalais, les auteurs ont trouvé des situations contrastées et des changements dans les pratiques sans lien évident avec le climat. Pourtant, leurs informations obtenues sur la neige, un paramètre qui a été mal mesuré et sous-estimé dans les simulations, montrent que les populations sont davantage touchées par les fluctuations de la pluviométrie que par la fonte des glaciers et du manteau neigeux. Les auteurs montrent que les groupes de population les plus susceptibles d'être affectés par les variations climatiques sont ceux qui vivent dans les hautes montagnes et les basses montagnes (où la longue saison sèche est souvent problématique), par rapport à ceux qui vivent dans les montagnes moyennes et sur le piémont, dont la pluriactivité (agriculture, portage et services) limite le risque qui pourrait être engendré par des précipitations irrégulières et insuffisantes. Plus généralement, la croissance démographique récente, le développement des infrastructures et la diversification des revenus, sont apparus comme des facteurs d'explication possibles des changements observés, sans nécessité de mettre en cause le climat.
- 14 La dernière contribution porte sur la question de la disponibilité de l'eau pour la production de neige artificielle, une pratique courante dans les Alpes européennes depuis les cinq dernières décennies (Koenig et Abegg, 1997 ; de Jong, 2011). La neige artificielle est considérée comme un moyen d'accroître l'étendue des domaines skiables, de compenser le déficit saisonnier de neige, et d'atténuer les effets du changement climatique. Cette assurance de neige représente des investissements supplémentaires qui, dans un proche avenir, peuvent ne pas être financièrement viables pour toutes les stations de ski.
- 15 À partir de considérations sur le contexte climatique, Spandre *et al.* essayent d'évaluer les niveaux actuels et prévus des installations de neige artificielle à l'échelle des Alpes françaises. Ils ont mis en place un sondage socio-économique en ligne, destiné aux professionnels y compris aux gestionnaires et techniciens travaillant dans les stations de ski, afin de différencier les stations en fonction de leur taille, leur tranche altitudinale et leurs équipements (nombre, âge et taille des remontées mécaniques). Ils établissent un rapport de la surface équipée, qui se révèle être plus grand pour les grandes stations que pour les stations de taille petites et moyennes. Ensuite, ils évaluent l'évolution passée des conditions météorologiques adaptées à la fabrication de neige (température « humide » comprise entre -2 ° C et -5 ° C), et ont constaté que le potentiel thermique de fabrication

de neige pour les stations alpines interrogées a dans l'ensemble diminué de 1961 à 2014, avec une certaine variabilité saisonnière et annuelle. Par conséquent, la rareté de la disponibilité en eau et des conditions météorologiques favorables à la fabrication de neige de culture va probablement devenir une situation de plus en plus fréquente, ce qui représente une augmentation des coûts pour les stations de ski que seules les plus riches d'entre elles (les plus grandes et les plus élevées) pourront supporter.

- 16 Pour conclure, les différentes contributions de ce volume ont montré que si la question du changement climatique est considérée de plus en plus sérieusement partout dans le monde (voir la prochaine COP 21, conférence qui se tiendra à Paris en décembre 2015), son expression est beaucoup plus complexe au niveau local, et sa perception varie en fonction des impacts attendus. Dans les régions montagneuses, deux paramètres sont particulièrement importants. Tout d'abord, en dehors des glaciers et de leur recul accéléré, le pergélisol et son état thermique apparaît comme un bon indicateur d'un changement de température : si le pergélisol commence à fondre, il devient une cause possible d'instabilité des pentes, en menaçant directement des infrastructures touristiques. Deuxièmement, la ressource en eau est devenue la principale préoccupation des populations vivant dans les montagnes ou sur leurs piémonts. La fonte des glaciers, et sans doute plus encore la diminution de volume et de durée du manteau neigeux, ainsi que sa variabilité temporelle et spatiale, sont deux facteurs qui auront une incidence sur le débit des sources et des rivières, et indirectement sur la disponibilité en eau pour les populations montagnardes. En outre, le changement et la variabilité des précipitations, un paramètre mal contraint par les modèles climatiques globaux et régionaux, sont certainement des facteurs clé qui doivent être mieux définis à l'échelle du bassin et à l'échelle locale. En fonction de ses usages, la rareté de l'eau aura une incidence sur l'économie locale (réduction de la production de cultures de rente ; faillite des petites stations de ski si la neige de culture n'est plus possible), et/ou peut créer une certaine concurrence entre les différents types d'activité socio-économiques (tourisme vs agriculture), et susciter des conflits entre groupes de populations, entre ceux qui peuvent s'adapter financièrement ou en diversifiant leurs activités économiques (gestionnaires, riches propriétaires fonciers) et ceux qui n'ont d'autre choix que de migrer ou disparaître, malgré leur longue expérience acquise sur la variabilité climatique au fil des générations. Enfin, même si certains impacts tels que les risques hydro-géomorphologiques ou l'évolution de la biodiversité n'ont pas été expressément illustrés dans ce volume, nous espérons qu'à travers les différents exemples développés, certaines approches méthodologiques (télédétection, indice de risque de déstabilisation, entretiens sur la perception) pourraient être utiles pour définir les politiques les plus adéquates permettant d'anticiper, de s'adapter et de gérer les impacts potentiels du changement climatique dans les montagnes.

BIBLIOGRAPHIE

BENISTON M. (ed.), 2002.- Climatic Change. Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management. *Advances in Global Change Research*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston, 503 pp.

BENISTON M., 2003.- Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change*, 59:5-31.

BENISTON M., 2005.- The risks associated with climatic change in mountain regions. In: Huber U., Bugmann H. and Reasoner M. (eds) *Global change and mountain regions: an overview of current knowledge*. Springer, Dordrecht, pp 511-520.

BENISTON, M., FOX D.G., ADHIKARY S., ANDRESSEN R., GUISAN A., HOLTEN J., INNES J., MAITIMA J., PRICE M., TESSIER L., 1996.- The impacts of climate change on mountain regions. In: *Climate Change 1995: Impacts, Adaptions, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report for the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T., M.C. Zinyowera, and R.H. Moss (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 191-213.

BENISTON M, Stoffel M, 2013. Assessing the impacts of climatic change on mountain water resources, *Sci Total Environ*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.122>

DE JONG, C., 2011. Artificial production of snow. In: Singh V.P., Singh P., Haritashya U.K. (Eds), *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. Springer, 61-66.

DE JONG, C., LAWLER, D., ESSERY, R., 2009.- Mountain hydroclimatology and snow seasonality - perspectives on climate impacts, snow seasonality and hydrological change in mountain environments. *Hydrol. Process.* 23, 955-961. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7193>

HAEBERLI W., 2013.- Mountain permafrost - research frontiers and a special long-term challenge. *Cold Regions Science and Technology* 96, 71-76

HAEBERLI W., BENISTON M. 1998.- Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* 27:4, 258-265.

HUGGEL C., SALZMANN N., ALLEN S., CAPLAN-AUERBACH J., FISCHER L., HAEBERLI, W., LARSEN C., SCHNEIDER D., WESSELS R., 2010.- Recent and future warm extreme events and high-mountain slope stability. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical, and Engineering Sciences* 368, 2435-2459. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2010.0078>

IMMERZEEL W.W., DROOGERS P., DE JONG S.M., BIERKENS M.F.P., 2009.- Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 113, 40-49.

IMMERZEEL W.W., VAN BEEK L.P.H., BIERKENS M.F.P., 2010.- Climate Change will affect the Asian Water Towers. *Science* 328:5984, 1382-1385

IVES J.D., MESSERLI B., 1989.- *The Himalayan Dilemma. Reconciling Development and conservation*. Routledge, London and New York, 324 p.

- KOENIG U., ABEGG B., 1997.– Impacts of Climate Change on Winter Tourism in the Swiss Alps. *Journal of Sustainable Tourism* 5:1, 46-58.
- KOHLER T., WEHRLI A., JUREK M. (eds.), 2014.– *Mountains and climate change: A global concern. Sustainable Mountain Development Series*. Bern, Switzerland, Centre for Development and Environment (CDE), Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and Geographica Bernensia. 136 pp.
- KÖRNER C., 2013.– Alpine ecosystems. In: S.A. Levin (ed.) *Encyclopedia of biodiversity*, 2nd edition, vol. 1, pp. 148–157. Amsterdam, The Netherlands, Academic Press.
- LINIGER HP, WEINGARTNER R, GROSJEAN M. 1998. *Mountains of the World: Water Towers for the 21st Century – a contribution to global freshwater management*. Mountain Agenda. Department of Geography, University of Berne: Switzerland.
- LUTZ A.F., IMMERZEEL, W.W., 2013.– Water availability analysis for the upper Indus, Ganges, Brahmaputra, Salween and Mekong river basins. Final Report to ICIMOD, September 2013. *FutureWater Report*, No. 127. Wageningen, The Netherlands, FutureWater.
- MESSERLI B., IVES J. (eds), 1997.– *Mountains of the World. A global Priority*. New-York, Parthenon Publishing. 496 p.
- NOLIN A.W., 2010.– Recent advances in remote sensing of seasonal snow. *Journal of Glaciology* 56:200, 1141-1150.
- PRICE M. (ed), 1999. – *Global Change in the Mountains*. Parthenon Publ., Londres. 217 p.
- SALZMANN N., HUGGEL C., ROHRER M., STOFFELD M., 2014. – Data and knowledge gaps in glacier, snow and related runoff research – A climate change adaptation perspective. *Journal of Hydrology* 518, 225–234.
- VIVIROLI D., ARCHER D.R., BUYTAERT W., FOWLER H.J., GREENWOOD G.B., HAMLET A.F., HUANG Y., KOBOLTSCHNIG G., LITAOR M.I., LOPEZ-MORENO J.I., LORENTZ S., SCHADLER B., SCHREIER H., SCHWAIGER K., VUILLE M., WOODS R., 2011.– Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 471–504. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-471-2011>
- VIVIROLI D., DÜRR H.H., MESSERLI B., MEYBECK M., WEINGARTNER R., 2007.– Mountains of the world, water towers for humanity: typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research* 43:7, W07447
- ZEMP M., HOELZLE M., HAEBERLI W., 2009. – Six decades of glacier mass balance observations – a review of the worldwide monitoring network. *Annals of Glaciology* 50, 101-111.

AUTEUR

MONIQUE FORT

Professeur Émérite, Université Paris Diderot-Sorbonne Paris Cité, CNRS UMR 8586 Prodig.
fort@univ-paris-diderot.fr