

Au sujet de la glace mince : adaptation de la gestion des ressources en eau aux effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes

#2

Près de 25 % de la population mondiale dépend de la [cryosphère](#) des montagnes (glaciers, neige et pergélisol) comme principale source d'eau. Mais cette source se réduit à un rythme sans précédent presque partout dans le monde. Les effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes ont déjà modifié le débit de certains cours d'eau, et les répercussions sur les ressources en eau et leurs utilisations devraient encore s'accroître à l'avenir. Cependant, les impacts observés varient selon les régions, les saisons et les échelles de temps, et des incertitudes subsistent dans les projections des impacts futurs.

La gestion des ressources en eau doit donc mieux gérer les incertitudes en adoptant une approche basée [sur le risque](#) et des solutions fiables pour un plus large éventail de conditions futures potentielles. En outre, avec la disparition des glaciers et l'atteinte du « [pic d'eau](#) », des changements plus soudains sont prévus dans la disponibilité de l'eau. Avec des conséquences plus dramatiques de l'augmentation des températures, l'adaptation progressive pourrait s'avérer insuffisante et une [adaptation transformationnelle](#) impliquant des changements plus substantiels et systémiques pourrait être nécessaire.

Cette fiche de tendance résume l'état de la recherche concernant les effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes et son impact sur les ressources en eau douce. Elle fournit des exemples d'approches qui peuvent aider à faire face aux incertitudes et passe en revue les idées émergentes sur la façon de favoriser la transformation.

Content

Définition des termes	2
Pourquoi cette Trend Sheet ?	2
Cryosphère des montagnes : des châteaux d'eau pour des milliards de personnes dans le monde entier	3
Comment les effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes influent-ils sur les ressources en eau douce ?	4
Adapter la gestion de l'eau au changement incertain dans les zones de montagne	7
Nécessité d'un changement plus transformationnel	9

Définition des termes

Cryosphere : éléments du système terrestre situés à la surface de la terre et des océans et sous cette surface qui sont gelés, y compris la couverture neigeuse, les glaciers, les nappes de glace, les plates-formes de glace, les icebergs, la glace de mer, la glace de lac, la glace de rivière, le pergélisol et le sol gelé en saison. [5]

Pic d'eau : désigne l'année où le ruissellement annuel de la zone initialement couverte de glaciers commencera à se réduire en raison de la diminution des glaciers après une période d'augmentation du ruissellement induite par la fonte. [3]

Résilience : capacité des systèmes sociaux, économiques et écologiques interconnectés à faire face à un événement dangereux, une tendance ou une perturbation, en réagissant ou en se réorganisant de manière à maintenir leur fonction, leur identité et leur structure essentielles. [5]

Risque : potentiel de conséquences négatives pour les systèmes humains ou écologiques, en reconnaissant la diversité des valeurs et des objectifs associés à ces systèmes. Dans le contexte du changement climatique, les risques peuvent provenir des impacts potentiels du changement climatique ainsi que des réponses humaines au changement climatique. [5]

Adaptation transformationnelle : adaptation qui modifie les attributs fondamentaux d'un système socio-écologique en prévision du changement climatique et de ses impacts [...], caractérisée par un changement à l'échelle du système ou des changements dans plus d'un système, par une orientation vers l'avenir et le changement à long terme, ou par une remise en question directe de l'efficacité des systèmes existants, des injustices sociales et des déséquilibres de pouvoir. [5]

Vulnérabilité : propension ou prédisposition à être affecté négativement. La vulnérabilité englobe une variété de concepts et d'éléments, notamment la sensibilité ou la susceptibilité au mal et le manque de capacité à faire face et à s'adapter. [5]

Château d'eau : dans le contexte de l'hydrologie, utilisé comme un terme symbolique pour une zone de montagne afin de décrire le stockage et l'approvisionnement en eau que les chaînes de montagnes fournissent pour soutenir les demandes en eau environnementales et humaines en aval.

Pourquoi cette Trend Sheet ?

Quelle tendance observons-nous ?

La [cryosphère](#) des montagnes (glaciers, neige, pergélisol et glace des zones montagneuses) est en train de disparaître presque partout dans le monde en raison du changement climatique. De nombreux glaciers devraient disparaître jusqu'à la fin du XXI^e siècle, en particulier dans les régions où les glaciers sont généralement plus petits et la couverture de glace relativement faible. Cette tendance devrait encore s'accélérer au cours des prochaines décennies en raison du changement climatique anthropique.

Pourquoi cette tendance est-elle importante pour les spécialistes de l'eau dans la coopération au développement ?

- **Près de 2 milliards de personnes dans le monde dépendent de la cryosphère des montagnes comme principale source d'eau.** La cryosphère des montagnes et les écosystèmes montagnards de haute altitude forment des « [châteaux d'eau](#) » naturels qui fournissent et régulent les ressources en eau douce pour les personnes vivant dans les montagnes et en aval.
- **Les effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes ont un impact significatif sur la disponibilité, la qualité et le rythme de débit de l'eau, mais ces effets varient selon les régions, les saisons et les échelles de temps, et des incertitudes subsistent quant aux projections futures.** Les gestionnaires de l'eau ont depuis longtemps développé des approches pour faire face à l'excès et au manque d'eau ainsi qu'à la variabilité climatique. Le changement climatique, cependant, ajoute une nouvelle couche d'incertitude et peut provoquer des changements plus rapides.
- **Les impacts plus incertains et supposés dramatiques du changement climatique peuvent rendre les pratiques d'adaptation actuelles inappropriées.** L'adaptation progressive de la gestion des ressources en eau aux conditions changeantes pourrait s'avérer insuffisante. Des changements plus substantiels et systémiques ([adaptation transformationnelle](#)) seront nécessaires pour maintenir la [résilience](#) à long terme.

Qu'y a-t-il de nouveau ?

Les glaciers se réduisent encore plus vite que les prévisions, presque partout dans le monde, comme l'ont montré l'amélioration des méthodes et la couverture des données des observations par satellite et in situ [1].

Des recherches récentes montrent que les **châteaux d'eau** les plus importants du monde **sont également parmi les plus vulnérables aux changements climatiques et socio-économiques** [2].

De nouvelles idées émergent sur la manière de faire face aux incertitudes et aux changements profonds par le biais de mesures d'adaptation. Les approches de la gestion [basée sur le risque](#) ont récemment été adaptées pour être mieux utilisées dans la planification de l'eau, et les recherches en cours sur l'adaptation transformationnelle fournissent de premières indications sur la manière d'apporter des changements plus systémiques.

Cryosphère des montagnes : des châteaux d'eau pour des milliards de personnes dans le monde entier

Les zones de haute montagne du monde entier forment des « [châteaux d'eau](#) » naturels qui constituent un élément important du cycle hydrologique et une source d'eau douce significative pour de nombreuses personnes dans le monde. Il s'agit des personnes vivant dans les montagnes, mais aussi de celles vivant dans les régions en aval, en particulier dans les zones arides et semi-arides. Dans les zones de haute montagne, l'eau est souvent présente sous forme de composants gelés de l'écosystème, ce que l'on appelle la [cryosphère](#) (y compris la neige, les glaciers, le pergélisol, ainsi que la glace des lacs et des rivières). Les glaciers et la neige stockent l'eau pendant les périodes de précipitations plus fraîches et la libèrent sous forme d'eau de fonte pendant les saisons plus chaudes et plus sèches. La cryosphère fonctionne donc comme un stockage d'eau saisonnier et/ou à long terme qui peut combler les périodes arides et servir de tampon important pour l'approvisionnement en eau des établissements humains, de l'agriculture, de l'hydroélectricité et des écosystèmes naturels, en particulier dans les régions vulnérables sujettes à la sécheresse. Les châteaux d'eau cryosphériques fournissent de l'eau à environ 1,9 milliard de personnes, soit près de 25 % de la population mondiale [2]. Les châteaux d'eau les plus importants à cet égard sont malheureusement aussi parmi les plus vulnérables aux changements climatiques et socio-économiques ([voir encadré 1](#)).

En raison de l'éloignement des zones de montagne, les réseaux de surveillance sont souvent insuffisamment denses et les travaux sur le terrain compliqués, ce qui compromet la gestion actuelle et les projections des changements futurs. Si l'amélioration des systèmes d'observation et le développement de modèles ont fait progresser la compréhension scientifique des changements de la cryosphère au cours des dernières années, les observations météorologiques, hydrologiques, climatiques et cryosphériques dans les régions de montagne restent rares. En outre, les **systèmes de montagne et les châteaux d'eau s'étendent souvent au-delà des frontières nationales, ce qui nécessite une coopération transfrontalière et un partage des données** pour une gestion durable des ressources. En octobre 2019, l'Organisation météorologique mondiale (OMM), lors de son Sommet de la haute montagne, a donc lancé un [appel à l'action](#) pour accroître les efforts internationaux en matière d'observation en haute montagne. Les incertitudes concernent toutefois aussi le développement socio-économique et donc la demande en eau dans les zones de montagne et en aval.

Encadré 1 - L'indice des châteaux d'eau

L'[indice des châteaux d'eau](#), récemment élaboré par un groupe international de chercheurs, classe tous les [châteaux d'eau](#) cryosphériques par importance en fonction de leur rôle d'approvisionnement en eau et de la demande en aval des écosystèmes et de la société. La recherche a également évalué la [vulnérabilité](#) des châteaux d'eau, en partant du principe que celle-ci dépend du stress hydrique (rapport entre les prélèvements d'eau totaux et les réserves renouvelables d'eau de surface et souterraine disponibles), de la gouvernance, des tensions hydropolitiques et des futurs changements climatiques et socio-économiques.

Les châteaux d'eau de l'Indus, du Tarim et de l'Amu Darya, en Asie, obtiennent les meilleurs résultats en termes d'importance et de vulnérabilité, au niveau mondial. En Amérique du Sud, les châteaux d'eau du Chili-Patagonie-Sud et du Négro obtiennent également des scores élevés en termes d'importance et de vulnérabilité. [2]



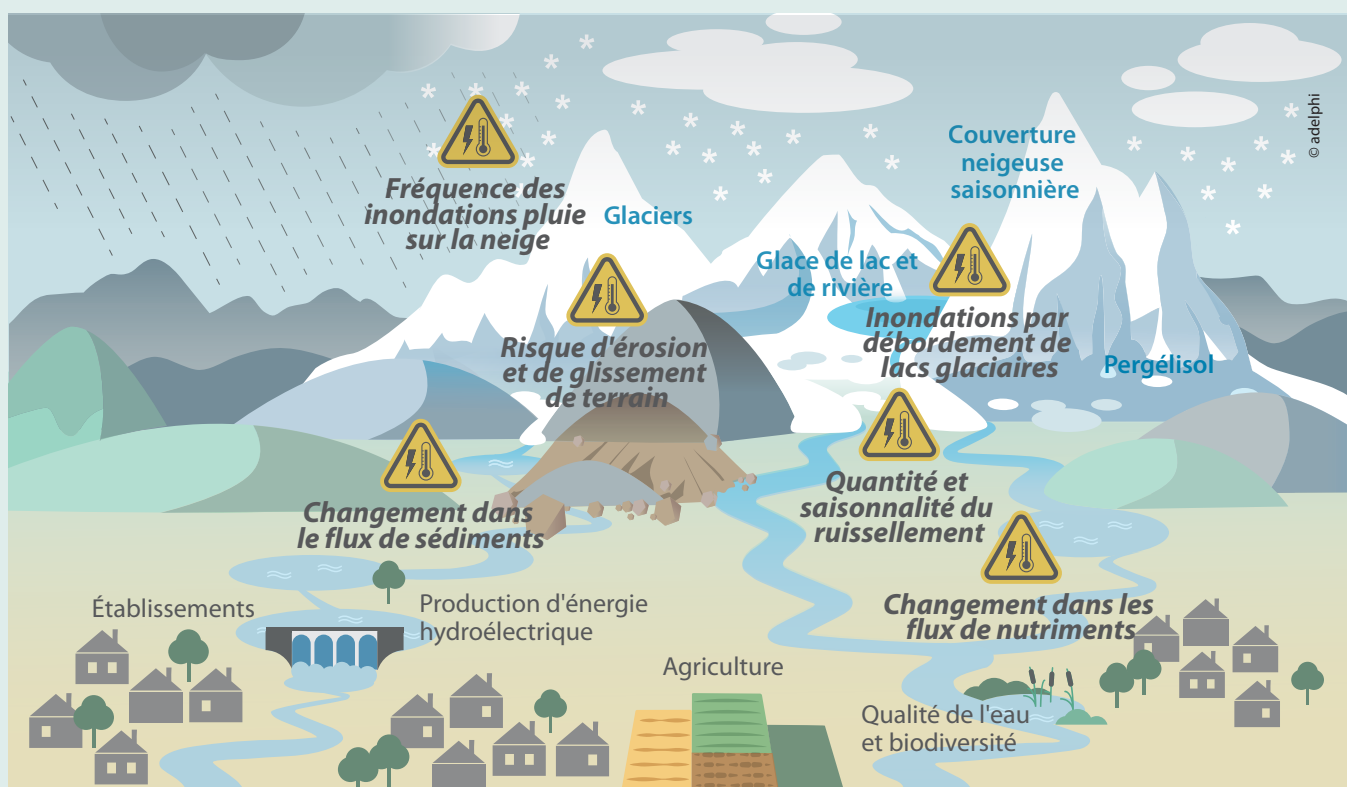
Comment les effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes influent-ils sur les ressources en eau douce ?

La cryosphère des montagnes est très sensible au changement climatique et ses effets sont déjà évidents : la couverture neigeuse à basse altitude, les glaciers et le pergélisol connaissent un déclin général depuis le milieu du XXe siècle, bien que la variabilité annuelle et les différences régionales soient importantes. La [cryosphère](#) des montagnes devrait continuer à décliner dans presque toutes les régions tout au long du XXIe siècle[3]. Le déclin de la cryosphère peut être intensifié par des rétroactions climatiques locales : lorsque la couverture de neige blanche réfléchissante diminue, l'absorption du rayonnement solaire entrant augmente, ce qui entraîne à son tour un réchauffement plus important, appelé rétroaction de l'albédo de la neige.

Les effets du changement climatique se manifestent par des modifications à évolution lente du volume et de la saisonnalité du ruissellement fluvial ainsi que par des phénomènes hydrologiques extrêmes, notamment des inondations. **Au cours des dernières décennies, les effets du changement climatique sur la neige et les glaciers ont déjà modifié le volume et la saisonnalité du ruissellement dans les bassins fluviaux dominés par la neige et alimentés par les glaciers, et ces effets devraient encore s'accroître à l'avenir.** Avec la fonte des glaciers, le ruissellement estival et annuel commence généralement par augmenter pendant quelques années ou décennies jusqu'à un moment donné, appelé [pic d'eau](#), au-delà duquel le ruissellement diminue régulièrement en raison du rétrécissement des glaciers. Malgré la variabilité régionale, **l'écoulement annuel moyen des glaciers aura atteint un pic qui sera suivi d'un déclin de l'écoulement, au plus tard à la fin du XXIe siècle dans toutes les régions [3].** La gestion de l'eau doit donc se préparer à une diminution des débits après quelques décennies d'augmentation de la disponibilité de l'eau ([voir Encadré 2](#)).

Les changements futurs de la cryosphère des montagnes devraient affecter les ressources en eau et leurs utilisations, telles que l'agriculture irriguée et l'hydroélectricité dans les zones de haute montagne ainsi que dans les basses terres en aval. Cependant, les relations de cause à effet sont complexes et **les impacts diffèrent considérablement d'une saison à l'autre et d'une région à l'autre, ce qui nécessite des analyses d'impact régionales.**

L'état de la recherche sur les effets du changement climatique dans la cryosphère des montagnes ainsi que les impacts, les risques et les mesures d'adaptation associés ont récemment été synthétisés dans un chapitre dédié du [rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat \(GIEC\) relatif à l'océan et à la cryosphère dans un climat en évolution \(SROCC\)](#). Les conclusions les plus pertinentes pour la gestion des ressources en eau sont résumées ci-dessous.



- **Le ruissellement estival et annuel a augmenté dans plusieurs rivières alimentées par des glaciers, en raison de l'intensification de la fonte des glaciers, mais a diminué dans d'autres où les glaciers sont déjà en train de disparaître.** Lorsque les glaciers fondent, le ruissellement estival et annuel commence généralement par augmenter pendant quelques années ou décennies jusqu'à un moment donné, appelé **pic d'eau**, au-delà duquel le ruissellement diminue régulièrement en raison du rétrécissement des glaciers. De nombreux glaciers ont déjà atteint le pic d'eau et, selon une étude récente, cela concerne par exemple 82 à 95 % de la superficie des glaciers dans les Andes tropicales et 55 à 67 % en Europe centrale et dans le Caucase [4]. **On prévoit que le ruissellement estival diminuera au cours du XXI^e siècle dans de nombreux bassins**, par exemple en Asie de haute montagne et dans les Andes tropicales, en raison de la diminution des chutes de neige et de la baisse de la fonte des glaciers après le pic d'eau. Le pic d'eau se produira généralement plus tôt dans les régions où la couverture de glace est faible et où les glaciers sont plus petits, comme par exemple dans les Alpes européennes et le Caucase.
- **Le ruissellement hivernal a augmenté au cours des dernières décennies et devrait encore s'accroître dans de nombreux cours d'eau au cours du XXI^e siècle**, en raison de l'augmentation des précipitations tombant sous forme de pluie plutôt que de neige et de l'augmentation de la fonte des neiges en hiver dans un climat qui ne cesse de se réchauffer.
- **Le pic de ruissellement printanier s'est déplacé vers un printemps plus précoce en raison d'une fonte des neiges plus précoce et devrait se produire jusqu'à plusieurs semaines plus tôt dans l'année d'ici la fin du XXI^e siècle**, dans de nombreux bassins fluviaux dominés par la neige dans le monde. Cela pourrait entraîner une pénurie d'eau en été et donc à des moments critiques pour l'irrigation.
- **Les inondations dues à la pluie sur la neige**, c'est-à-dire celles qui résultent de la combinaison d'une fonte rapide des neiges et de pluies intenses, ont augmenté au cours des dernières décennies à haute altitude en hiver et diminué à basse altitude au printemps. Les événements de pluie sur la neige sont parmi les inondations les plus dommageables dans les zones de montagne, et leur fréquence devrait augmenter et se produire plus tôt au printemps et plus tard en automne à haute altitude, et diminuer à plus basse altitude.

Encadré 2 - La fonte des glaciers fait fleurir le désert au Pérou - mais pour combien de temps ?



La fonte accrue des glaciers et de la neige peut constituer un apport supplémentaire d'eau bienvenu dans les régions sèches. Cependant, comme le pic d'eau va bientôt être atteint dans de nombreux bassins alimentés par des glaciers dans le monde, cet approvisionnement en eau n'est pas durable à long terme. Dans le nord aride du Pérou, le gouvernement a lancé un énorme projet d'infrastructure dans les années 1980, en amenant l'eau d'irrigation provenant de la fonte des glaciers de la Cordillère blanche des Andes jusqu'au désert par la construction d'un canal de 154 km (qui devrait s'étendre sur 267 km avec l'achèvement de la phase III).

Le projet d'irrigation de Chavimochic détourne jusqu'à 105 m³/s du fleuve Santa pour l'agriculture dans les bassins versants adjacents de la plaine côtière aride. Après les phases I et II de Chavimochic, environ 81 000 ha ont été mis en culture, produisant des cultures d'exportation de grande valeur. Le projet fournit simultanément une grande partie de l'approvisionnement en eau potable de la ville côtière de Trujillo. Le projet a donc créé des moyens de subsistance pour des milliers de personnes grâce à l'agriculture irriguée, tout en fournissant de l'eau potable et de l'électricité grâce à l'hydroélectricité.

Les moyens de subsistance de centaines de milliers de personnes sont devenus dépendants d'un approvisionnement en eau peu sûr. Or, aujourd'hui déjà, les débits diminuent et sont moins fiables, car les glaciers des Andes rétrécissent et l'on estime qu'une grande partie de la calotte glaciaire aura disparu d'ici 2050. **Un changement fondamental vers une gestion durable des ressources en eau à long terme, et le développement de la région en général, est nécessaire de toute urgence !**

Autres impacts du changement climatique

- **Les effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes peuvent affecter l'apparition de risques naturels.** Au cours des dernières décennies, le recul des glaciers et la fonte du pergélisol ont réduit la stabilité des pentes des montagnes, et le nombre ainsi que la superficie des lacs glaciaires ont augmenté dans la plupart des régions. Les inondations par débordement de lacs glaciaires (GLOF), les glissements de terrain et les avalanches de neige devraient se produire dans de nouveaux endroits ou à des saisons différentes. Les [risques](#) connexes pourraient être encore exacerbés par une gestion non durable de l'utilisation des terres et la déforestation.
- **Le transport de sédiments dans les rivières alimentées par la cryosphère des montagnes devrait augmenter en raison de la fréquence accrue des inondations et de l'érosion** plus importante due à la réduction du pergélisol et au recul des glaciers. Alors que le transport de sédiments fournit d'importants nutriments aux écosystèmes montagneux et en aval, ainsi qu'aux sols agricoles, l'augmentation des charges sédimentaires peut avoir un impact sur les installations hydroélectriques et les systèmes d'approvisionnement en eau, ainsi qu'entraîner l'envasement des zones humides. Cependant, la compréhension des effets des changements de la cryosphère sur le flux de sédiments dans les zones montagneuses est encore limitée.
- **Les changements dans la cryosphère des montagnes influenceront la qualité de l'eau.** Outre les modifications de la teneur en nutriments dues au transport des sédiments, la libération de métaux lourds, notamment de mercure, et d'autres contaminants hérités du passé, actuellement stockés dans les glaciers et le pergélisol, affectera la qualité de l'eau. Cela peut constituer une menace potentielle pour le biote d'eau douce, l'utilisation domestique et l'irrigation, en particulier lorsque les glaciers sont soumis à des charges polluantes importantes, comme cela est le cas en Asie et en Europe pour la haute montagne.

Opportunités des effets du changement climatique dans la cryosphère des montagnes

Le changement climatique devrait avoir des effets négatifs importants sur les personnes vivant dans la cryosphère des montagnes et en aval de celle-ci. Cependant, il existe également des opportunités qui pourraient être saisies si elles sont gérées avec sagesse.

- **Utilisation de manière durable de l'augmentation du ruissellement des glaciers.** Le [pic de ruissellement](#) annuel des glaciers peut dépasser considérablement le ruissellement annuel généré avant que le glacier ne commence à reculer. Une étude mondiale a montré que le pic de ruissellement annuel augmentera de plus de 50 % par rapport à 1980-2000 dans certains bassins [\[4\]](#). Cet excédent d'eau peut être utilisé de différentes manières, par exemple pour produire de l'énergie hydroélectrique ou pour augmenter l'irrigation dans l'agriculture. En Islande, par exemple, la Compagnie nationale d'électricité a pu augmenter sa capacité de production d'hydroélectricité en utilisant l'augmentation du ruissellement dû à la fonte des glaciers. Il y a toutefois un danger à compter sur une augmentation de la disponibilité de l'eau à long terme. La planification stratégique des ressources en eau doit prévoir des stratégies pour faire face à la diminution des débits après que le pic d'eau a été atteint ([voir Encadré 2](#)).
- **Passage à des cultures qui génèrent plus de revenus ou soutiennent la sécurité alimentaire locale.** L'augmentation des températures dans les zones de montagne permet souvent d'étendre les zones cultivées à des altitudes plus élevées et/ou de cultiver des plantes qui ne poussent pas dans un climat très froid, ce qui offre des possibilités nouvelles ou accrues pour la sécurité alimentaire locale et la génération de revenus. Le passage à des cultures moins gourmandes en eau en réponse à la réduction de la disponibilité de l'eau s'est, dans certains cas, accompagné d'autres avantages, par exemple la production de cultures plus riches en nutriments qui soutiennent la sécurité alimentaire locale.

Autres lectures

Huss et al 2017 « [Toward mountains without permanent snow and ice](#) ».

UNESCO 2018 « [The Andean glacier and water atlas: the impact of glacier retreat on water resources](#) ».

Réseau changement climatique et environnement de la DDC 2019 « [The Climate-Cryosphere-Water Nexus in Central Asia](#) ».

Bloch et al 2019 « [Status and Change of the Cryosphere in the Extended Hindu Kush Himalaya Region](#) ».

Adapter la gestion de l'eau au changement incertain dans les zones de montagne

Les approches existantes en matière de gestion des ressources en eau, développées pour faire face à la variabilité de la disponibilité de l'eau et aux extrêmes hydrologiques, peuvent constituer un bon point de départ pour l'adaptation aux changements de la cryosphère des montagnes. La gestion des ressources en eau a toujours dû faire face à la variabilité du climat et à des conditions de trop ou de trop peu d'eau. Plusieurs manuels et plates-formes d'information fournissent des orientations générales, par exemple le « [Practitioners Guide to Adaptation Technologies for Increased Water Sector Resilience](#) » du PNUE/DHI. Dans certains cas, l'exploitation des connaissances indigènes et la relance des pratiques traditionnelles des communautés de montagne peuvent révéler des solutions durables. Un exemple au Pérou est la restauration d'anciennes terrasses et de canaux selon des modèles de l'époque inca. Ces canaux captent l'eau des cours d'eau en période de fort ruissellement et la distribuent dans des zones où elle peut s'infiltrer dans le sol pour alimenter ensuite des sources situées plus bas dans les montagnes.

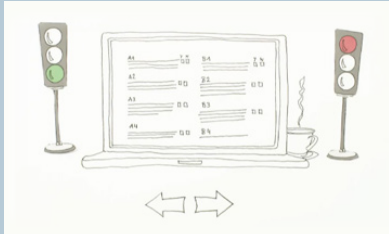
L'augmentation de la capacité de stockage peut contribuer à remédier à la réduction du stockage naturel assuré par les glaciers et les accumulations de neige en montagne. Les solutions de stockage vont du développement et de la gestion durable de réservoirs, via des micro-barrages ou des étangs construits par les communautés, à l'amélioration du stockage naturel dans les zones humides de montagne et aux pratiques d'utilisation des terres qui maintiennent l'humidité dans le sol. Le rapport de l'ICIMOD intitulé « [Water Storage : A strategy for climate change adaptation in the Himalayas](#) » ([Stockage de l'eau : une stratégie d'adaptation au changement climatique dans l'Himalaya, en anglais uniquement](#)) examine les défis et les opportunités dans l'Himalaya. Plus récemment, des approches pour le stockage de l'eau dans des glaciers artificiels ont été développées au Ladakh, en Inde, mais leur durabilité à long terme est remise en question (voir par exemple [glacierhub.org](#)). Dans les bassins fluviaux transfrontaliers, la coopération des États riverains peut contribuer à accroître l'efficacité du stockage de l'eau, car il est souvent plus efficace de stocker l'eau pour une utilisation en aval dans les pays en amont, par exemple dans des zones humides ou des barrages à usages multiples.

Face à l'évolution rapide de la cryosphère et aux incertitudes qui subsistent, la gestion et la planification des ressources en eau doivent toutefois reposer sur des évaluations intégrées des risques liés au climat. Les effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes devraient encore s'accroître à l'avenir, mais les impacts sur les ressources en eau varieront selon les régions, les saisons et les échelles de temps. Si la modélisation climatique et hydrologique régionale peut contribuer à la gestion des ressources en eau, les projections s'accompagnent d'incertitudes importantes. Des incertitudes subsistent non seulement dans les projections des impacts futurs du changement climatique sur les ressources en eau douce, mais aussi en ce qui concerne les conditions socio-économiques futures qui déterminent la dépendance à l'égard de l'eau et la [vulnérabilité](#) au changement climatique. Les évaluations des risques doivent donc intégrer les projections des effets du changement climatique et des évolutions socio-économiques au niveau régional. Plusieurs outils et documents d'orientation pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité climatiques ont été élaborés mais doivent être utilisés plus largement dans la planification de la gestion des ressources en eau ([voir Encadré 3](#)). Dans les contextes transfrontaliers, la situation est encore plus compliquée si les données pertinentes ne sont pas partagées entre les pays riverains.

Les mesures visant à accroître la [résilience](#) aux effets du changement climatique sur la cryosphère des montagnes doivent tenir compte des incertitudes restantes et des risques climatiques résiduels. Si les évaluations des risques permettent de mieux prendre en compte les incertitudes liées aux conditions futures, elles ne peuvent pas éliminer ces incertitudes. Par conséquent, la gestion des ressources en eau qui dépendent de la cryosphère des montagnes doit adopter une approche fondée sur le risque et des solutions robustes qui fonctionnent bien dans un large éventail de scénarios climatiques (et non climatiques), et/ou qui sont suffisamment souples pour être facilement adaptées aux conditions changeantes. Les stratégies robustes comprennent :

- **Les solutions à avantages multiples, ou solutions dites « sans regret »,** qui procurent des avantages indépendamment des effets négatifs du changement climatique, comme la gestion de la demande en eau ou la conservation des zones humides pour le stockage de l'eau, avec des avantages connexes pour la biodiversité et les moyens de subsistance en montagne. Les approches de l'adaptation fondées sur les écosystèmes se sont révélées très prometteuses en tant que solutions résilientes apportant des avantages multiples.
- **Des solutions réversibles ou flexibles** qui peuvent être adaptées aux conditions changeantes, à un coût relativement faible, par exemple pour diminuer les débits d'eau après les pics. Les approches de gouvernance sont souvent plus facilement adaptables que les infrastructures matérielles, comme la tarification de l'eau pour inciter à une utilisation plus efficace de l'eau en période de pénurie.

Encadré 3 Guides pour l'évaluation des risques



L'outil [CEDRIG](#) (**C**limate, **E**nvironment and **D**isaster Risk Reduction **I**ntegration **G**uidance), développé par la Direction du développement et de la coopération (DDC), aide à intégrer systématiquement le climat, l'environnement et la réduction des [risques](#) de catastrophes dans les stratégies, programmes et projets de coopération au développement. Il prend en compte les risques liés aux actions de développement ainsi que les éventuels impacts négatifs ou positifs de ces actions, par exemple l'augmentation de la vulnérabilité et donc les dommages causés.



Plus récemment, l'approche [CRIDA](#) (**C**limate **R**isk **I**nformed **D**ecision **A**nalysis) a été conçue par l'UNESCO et ses partenaires pour la planification et la gestion des ressources en eau, en particulier. Elle fournit des conseils pour évaluer les incertitudes futures liées à un changement climatique, démographique, environnemental ou économique, et pour prendre des décisions face aux risques résiduels.

Autres lectures

Matthews et al. 2019 « [Wellspring: Source Water Resilience and Climate Adaptation](#) », (voir l'annexe 2 pour des exemples de solutions fiables et flexibles offrant de multiples avantages, et le tableau 1 pour des exemples de solutions basées sur la nature pour faire face aux impacts de la diminution des glaciers et des accumulations de neige).

Mishra et al. 2017 « [Building Mountain Resilience - Solutions from the Hindu Kush Himalaya](#) », (y compris les approches pour le maintien des ressources naturelles, le changement des comportements et des pratiques, et l'amélioration de la gouvernance et des services).

Nüsser et al. 2019 « [Socio-hydrology of Artificial glaciers in Ladakh, India: assessing adaptive strategies in a changing cryosphere](#) ».

Programme des Nations Unies pour le développement 2015 « [Making the Case for Ecosystem-Based Adaptation. The Global Mountain EbA Programme in Nepal, Peru and Uganda](#) ».

Nécessité d'un changement plus transformationnel

L'augmentation continue de la température modifiera fondamentalement la cryosphère de haute montagne et les écosystèmes montagnards. Cela devrait entraîner une profonde altération du régime hydrologique des bassins dépendants, les glaciers disparaissant de manière irréversible. En outre, comme certaines zones de montagne sont plus sensibles au réchauffement que la moyenne mondiale, les effets du changement climatique pourraient en effet être beaucoup plus graves que ce qui est prévu actuellement. Par exemple, l'augmentation des températures pourrait transformer les écosystèmes montagnards, y compris les glaciers et les accumulations de neige, en zones humides, en sols dénudés ou en prairies, et les bassins fluviaux actuellement alimentés par les glaciers et la neige pourraient passer à une hydrologie alimentée par la pluie. Les scénarios de changement climatique extrême (scénarios haut de gamme) peuvent illustrer les conséquences. Afin de s'adapter aux changements climatiques extrêmes, **il est essentiel que les gestionnaires de l'eau envisagent également des scénarios d'avenir incertains, mais potentiellement à haut risque.**

Le changement rapide et irréversible de la cryosphère des montagnes rendra probablement insuffisante l'adaptation progressive de la gestion des ressources en eau. Au contraire, des changements plus substantiels et systémiques seront peut-être nécessaires, ce que l'on appelle l'[adaptation transformationnelle](#), par exemple lorsque la réduction de la disponibilité de l'eau dans les zones de montagne ne pourra plus être traitée simplement en améliorant le stockage et en augmentant l'efficacité de l'utilisation de l'eau, une fois que le [pic hydrique](#) aura été atteint et que les glaciers auront disparu. Les ressources en eau devenant de plus en plus rares, les agriculteurs, par exemple, peuvent être amenés à modifier considérablement leurs systèmes d'exploitation afin d'utiliser l'eau de manière plus efficace (et pas seulement plus efficiente) pour générer des revenus, par exemple en plantant des cultures très résistantes à la sécheresse, en changeant de mode de subsistance pour se tourner vers le pastoralisme ou l'écotourisme, lorsque cela est possible, ou même en descendant les pentes à la recherche de main-d'œuvre salariée. **Dans la planification de l'adaptation, les décideurs doivent anticiper l'impact radical du changement climatique, évaluer à quel moment des approches transformationnelles sont nécessaires, et s'y préparer.**

Cependant, il reste un besoin important de développer et de mieux étudier les mesures d'adaptation transformationnelle. Il existe encore peu d'études de cas et d'exemples de bonnes pratiques en matière d'adaptation transformationnelle, notamment dans les zones de montagne. Les recherches actuelles montrent que les principaux défis à relever pour parvenir à une adaptation transformationnelle sont de surmonter les dépendances techniques et de provoquer des changements institutionnels et sociétaux. L'un des moyens de relever ces défis consiste à adopter une séquence coordonnée de mesures d'adaptation plutôt progressives, appelées « voies d'adaptation transformationnelle », pour aboutir finalement à un changement transformationnel.

Autres lectures

Fedele et al. 2019 « [Nature-based Transformative Adaptation: a practical handbook](#) »

Carter et al. 2018 « [Transforming Agriculture for Climate Resilience: A Framework for Systemic Change](#) »

Références

- [1] Zemp, M. et al., 2019 : [Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016](#). Nature, 568(7752), 382-386 doi:10.1038/s41586-019-1071-0
- [2] Immerzeel, W. W. et al., 2019 : [Importance et vulnérabilité des châteaux d'eau du monde](#). Nature, 577 <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y>
- [3] Hock, R., et al. 2019 : Zones de haute montagne. In : [Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution](#).
- [4] Huss, M. et R. Hock, 2018 : [Réponse hydrologique à l'échelle mondiale à la future perte de masse des glaciers](#). Nat. Clim. Change, 8(2), 135-140, doi:10.1038/s41558-017-0049-x.
- [5] GIEC, 2019 : Annexe I : Glossaire [Weyer, N.M. (ed.)]. Dans : [Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution](#).

L'Observatoire des tendances dans le domaine de l'eau de la Direction du développement et de la coopération (DDC) a pour objectif d'informer le RésEAU, le Réseau Eau de la DDC, et les parties intéressées sur les tendances émergentes pertinentes et les approches innovantes pour la coopération au développement dans le secteur de l'eau. Initié par le Programme Global Eau de la DDC et géré par adelphi, il analyse comment les grandes tendances mondiales peuvent affecter les ressources en eau et les pratiques de gestion dans le futur. Par le biais de divers formats de communication et de son site Web <https://hazu.swiss/deza/trend-observatory-on-water>, il vise à sensibiliser aux opportunités qui se présentent pour des solutions plus durables, mais aussi aux risques et aux défis qui pourraient en découler.

Contact:

SDC - Swiss Agency for Development and Cooperation
Global Programme Water
Freiburgstrasse 130, 3003 Bern
Phone: +41 (0)58 465 04 06
Focal Point Water E-Mail: daniel.maselli@eda.admin.ch



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC**

SDC Network **RésEAU**
KGEW

