

Le Valais face aux changements climatiques

Effets et options d'adaptation
dans les domaines de la gestion des eaux
et des dangers naturels

Document de synthèse



Projet mis en œuvre dans le cadre du programme pilote Adaptation aux changements climatiques, soutenu par l'Office fédéral de l'environnement OFEV. Seuls les auteurs du rapport portent la responsabilité de son contenu.

Remarques préliminaires

Ce document de synthèse rassemble les résultats disponibles sur les effets des changements climatiques dans les domaines de la gestion des eaux et des dangers naturels ainsi que les options d'adaptations pour le canton du Valais (état : été 2015). Outre les références scientifiques, ces résultats incluent des évaluations de spécialistes de l'administration cantonale.

Les éléments présentés sont en premier lieu issus de la littérature spécialisée lorsqu'un consensus existe entre plusieurs sources (ou du moins une convergence claire). Lorsque l'état des connaissances ne permet pas un constat univoque, celui-ci est caractérisé comme incertain. Dans la mesure où une déclaration généralisée est possible, cette recherche tient compte des différences d'évolution régionales du canton ainsi que des perspectives à court, moyen et long terme.

De par sa nature, ce document de synthèse ne prétend ni à l'exhaustivité ni à la fidélité scientifique au détail près. Le focus est orienté sur les faits et les éléments qui ont une influence directe ou indirecte sur les stratégies d'adaptation pour les régions et communes valaisannes.

Notices explicatives:

- Bases et principes sur l'évolution du climat

Sauf indication contraire, les résultats présentés sont basés sur

- a) le scénario d'émission SRES A1B du GIEC (=forte progression de la globalisation, augmentation des émissions globales de gaz à effet de serre jusque vers 2050, puis décroissance) ;
- b) les scénarios climatiques pour l'Europe issus du projet ENSEMBLES (résolution 25km) ainsi que leur traitement pour le territoire Suisse dans le cadre de l'initiative CH2011 (période de référence : 1980-2009)

Les incertitudes qui sont liées à ces scénarios s'appliquent aussi aux résultats présentés dans ce rapport.

- Définition des périodes temporelles

La notion „court terme“ se rapporte à la période 2030-2040

La notion „moyen terme“ se rapporte à la période 2050-2060

La notion „long terme“ se rapporte à la deuxième moitié ou la fin du 21^{ème} siècle

- Données utilisées

Les chiffres entre crochets [...] font référence à la bibliographie figurant à la fin du document.

Pilotage du projet: Service des forêts et du paysage, Section dangers naturels, 1950 Sion,
<https://www.vs.ch/web/sfp/dangers-naturels>

Auteur: Markus Nausser, dialog:umwelt GmbH, Schwarzenburgstr. 11, 3007 Bern, www.dialogumwelt.ch

Sion/Berne, automne 2016

Table des matières

1 – Etat du climat / évolution climatique	4
2 – Evolution de l'espace naturel	5
3 – Utilisation de l'eau / gestion de l'eau	8
4 – Dangers naturels.....	11
5 – Conséquences pour l'adaptation.....	14
Annexe.....	18
Sources utilisées (selon les renvois figurant dans le texte).....	21
Sources utilisées (par ordre alphabétique)	24
Abréviations.....	27

Les personnes suivantes ont participé à la revue de ce document:

Dr Hugo Aschwanden, OFEV
Dr Peter Brang, WSL Birmensdorf
Dipl. Geol. Gabriel Chevalier, SFP, Canton du Valais
Dr Pierre Christe, SPE, Canton du Valais
Dr Andreas Fischer, MétéoSuisse
Prof. Martin Funk, VAW ETH Zürich
Dipl Ing. Christian Kuchli, OFEV
Dr Mark Liniger, MétéoSuisse
Dipl. Ing. Roland Métral, SFP, Canton du Valais
Dipl. Ing. Christian Pernstich, SFP, Canton du Valais
Dr Thomas Probst, OFEV
Dipl. Ing. Jean-Christophe Putallaz, SRTCE, Canton du Valais
Dr Hugo Raetzo, OFEV
Dipl. Ing. Arthur Sandri, OFEV
Dr Bruno Schädler, Université de Berne
Dipl Ing. Pascal Stoebener, SFP, Canton du Valais
Prof. Markus Stoffel, Université de Berne /Université de Genève
Dr David Volken, OFEV
Prof. Rolf Weingartner, Université de Berne
Dipl. Geol. Frédéric Zuber, SEFH, Canton du Valais

L'auteur remercie ces personnes pour leur regard critique et leurs remarques constructives.

1 – Etat du climat / évolution climatique¹

Références

Généralité

1.1 Les conditions climatiques de l'arc alpin sont très variables à petite échelle, ce qui limite fortement la portée d'un message généralisé sur l'évolution du climat. Le présent rapport s'appuie en premier lieu sur les aspects pour lesquels une tendance claire se dessine également à l'échelle régionale.

[1], [5], [59]

Température

1.2 La vallée du Rhône a enregistré jusqu'à maintenant un réchauffement supérieur à la moyenne. A moyen terme il faut s'attendre à la poursuite de l'augmentation de la température moyenne (cf. Annexe, Figure 1). Cette augmentation sera de 2 à 3 degrés (marge d'incertitude $\pm 1^\circ\text{C}$) en fonction de la saison et de l'altitude et va se poursuivre jusqu'à la fin du 21^{ème} siècle.

[1], [2], [3], [6], [8], [42], [49], [57]

En Valais, l'on s'attend à un réchauffement légèrement supérieur à la moyenne suisse. Il sera nettement plus important que la variabilité naturelle actuelle. Dans 40 ans, un été normal pourrait correspondre à un été de caniculaire comme celui de 2003.

1.3 Les journées où la température maximale atteint plus de 30 degrés (journées tropicales) sont plus fréquentes en Valais. Annuellement, ce sont les stations de mesures de la vallée du Rhône qui enregistrent le plus grand nombre de journées tropicales en Suisse, en moyenne 16 pour la période 1981-2010, une bonne vingtaine par année actuellement (cf. Annexe, Tableau 1).

[3], [4], [50]

1.4 Le nombre de journées de gel (température minimale en-dessous de 0°C) va diminuer, à moyen terme, de 40 à 45 unités. A haute altitude (1981-2010 >280 jours de gel/an) cette tendance sera plus prononcée qu'au-dessous de 800 mètres (1981-2010 <100 jours de gel/an). Pour visualiser le nombre de journées de gel pour une sélection de stations de mesures en Valais, cf. Annexe, Tableau 2.

[1], [3]

Précipitations

1.5 En Valais étant un canton à la topographie accidentée, les écarts des quantités de précipitations peuvent être très importants sur de courtes distances; les régions de hautes montagnes sont fortement arrosées alors que les fonds de vallées sont plus secs. Il faut tenir compte de la complexité topographique et des influences climatiques à l'échelle locale dans l'évaluation des tendances à venir.

[1], [21]

1.6 Les quantités de précipitations diminuent nettement dans la vallée du Rhône en allant de l'ouest à l'est en raison de l'effet de barrage des montagnes. A l'ouest, la somme des précipitations annuelles moyennes est de 1051 mm (Bex), au coude du Rhône, vers Martigny, elle est de 855 mm puis diminue encore dans la partie centrale entre Sion et Viège ainsi que dans la basse vallée de la Viège pour atteindre, localement, moins de 600 mm. A l'est de Brig, les valeurs augmentent à nouveau nettement, avec l'altitude, à plus de 1000 mm (p.ex. Ulrichen : 1212 mm).

[3], [36]

1.7 Le Valais central se différencie sur plusieurs aspects des autres régions de la Suisse d'un point de vue climatique.

[42], [50]

- Il s'agit de la région la plus aride de Suisse (mesuré par rapport à la somme des précipitations annuelles moyennes)
- Contrairement aux autres régions de Suisse, il y a moins de précipitations pendant la période estivale (avril à septembre) qu'en hiver.

¹ Les données sur l'état et l'évolution du climat pour une sélection de stations de mesures de la vallée du Rhône figurent dans l'annexe.

- Les périodes de sécheresse y sont plus fréquentes, la variabilité des précipitations d'une année à l'autre est plus importante que dans les autres régions de la Suisse (Viège: somme minimale des précipitations annuelles moyennes <400mm).

1.8 Les pronostics sur l'évolution des précipitations ont une grande marge d'incertitude. C'est seulement à partir du milieu du 21^{ème} siècle qu'il y a une tendance claire à la diminution des précipitations en été (Sion 9-28% ; Gd St-Bernard 6-15%). Pour la période hivernale et pour les sommes des précipitations annuelles il n'y a pas de tendance claire, même à long terme (cf. Annexe, Figure 2). [1], [2], [6], [9], [25], [49]

1.9 Même sans recul des précipitations, le risque de sécheresse pourrait être plus prononcé à cause des températures plus élevées qui conduisent à davantage d'évaporation. [21], [42]

1.10 Les précipitations tomberont davantage sous forme de pluie (à la place de la neige), surtout aux altitudes moyennes (1000-2000 mètres environ). Mais même à plus haute altitude (en-dessus de 2500 mètres) la part de précipitations qui tombe sous forme de pluie augmentera de 10-20%. [9], [57]

1.11 La limite des chutes de neige va être repoussée en altitude de 150-200 mètres par degré d'augmentation de la température. A moyen terme elle pourrait remonter de 300 m voire même de plus de 500 m vers la fin du siècle. A moyen terme il faut s'attendre à une diminution de 20-30% des jours de neige fraîche aux altitudes supérieures à 1500 m. [1], [8], [43], [48]

Conditions climatiques extrêmes

1.12 Les conditions climatiques extrêmes (en particulier les extrêmes de chaleur, les vagues de canicules, les sécheresses estivales/automnales) deviendront plus fréquentes à moyen terme, les basses températures en hiver se feront plus rares. L'évolution à court et moyen terme des épisodes de fortes précipitations (y compris les intenses chutes de neiges et les risques d'avalanches qui leurs sont liés) est très incertaine. A long terme, l'on devrait s'attendre à davantage d'épisodes de fortes précipitations au printemps et en automne et à des périodes de sécheresse notamment en été. [1], [57], [60]

2 – Evolution de l'espace naturel

Glaciers

2.1 Entre 1973 et 2010 les surfaces englacées du bassin versant du Rhône se sont réduites d'environ un cinquième. D'ici à 2050 il faut s'attendre à une nouvelle réduction de 20%. A long terme, la superficie des glaciers pourrait être réduite de moitié par rapport à la situation du début du 21^{ème} siècle. [7], [10], [54]

2.2 Volume: 80% du volume des glaciers suisses est situé en Valais. A moyen terme ce volume pourrait être réduit de moitié, à long terme des deux-tiers par rapport à la période 1980-2009. [7], [9]

2.3 Les glaciers les plus petits ou les plus exposés (p.ex. Gries, Trient, Ferret, Plaine Morte) auront quasiment disparu d'ici 2100, les autres (p.ex. glacier du Rhône, Mattmark) subiront une forte réduction de leur taille et de leur volume. La superficie du grand glacier d'Aletsch sera réduite de près de 70% et son volume de plus de 90% par rapport à 2010. [7], [9], [11], [14], [55]

Permafrost

2.4 La limite du permafrost se situe, dans les Alpes, à environ 2400 m d'altitude. Elle s'est élevée de 150 à 200 mètres au cours des 100 dernières années. Les températures du sol sont influencées par la couverture neigeuse, la roche, l'exposition, la topographie et les régimes hydrologiques spécifiques à une région. Ces dernières décennies, la température du sol à 10 m de profondeur s'est réchauffée, en moyenne, de 0.4°C par décennie et la température de la couche de dégel (en été) de 0.8°C. La limite du permafrost pourrait encore remonter de 200 à 700 mètres au cours du 21^{ème} siècle, en fonction de l'exposition, de l'épaisseur et des caractéristiques du terrain. Les incertitudes concernant cette évolution sont toutefois relativement grandes.

[30]², [43], [51], [56]

Régimes des cours d'eau

2.5 Le débit naturel de beaucoup de cours d'eau valaisans reste aujourd'hui suffisant pendant les périodes prolongées de sécheresses estivales, grâce aux réserves importantes liées à l'eau de fonte (neige et glace). Ceci n'est pas valable pour les cours d'eau dont les bassins versants sont dépourvus de glaciers ou pour ceux situés à l'aval des barrages.

[7], [42]

2.6 L'altitude des bassins versants joue un rôle important dans le changement de régime des cours d'eau, car le degré d'englacement et l'augmentation de la part d'eau dans les précipitations totales y sont étroitement liés. Beaucoup de rivières valaisannes ont une sensibilité relativement élevée aux changements climatiques en raison de leurs bassins versants situés en altitude avec des portions moyennement à fortement englacées. Par contre, pour les bassins versant dépourvus de glaciers, l'on ne s'attend pas, à moyen terme, à des effets significatifs liés aux changements climatiques sur les débits annuels.

[7], [8]

2.7 Les débits annuels des cours d'eau alimentés par des glaciers situés à plus basse altitude (p.ex. Trift, Mattmark, Gries) stagnent déjà aujourd'hui ou indiquent même une tendance à la baisse. Tandis que ceux alimentés par des glaciers dont le bassin versant s'étend plus haut en altitude (p.ex. Aletsch, Fiesch, Gorner), peuvent encore augmenter durant deux à trois décennies pour diminuer seulement pendant la deuxième moitié du 21^{ème} siècle.

[7], [8]

2.8 A court et moyen terme, l'influence des changements climatiques se superpose à la grande variabilité naturelle des régimes des cours d'eau ainsi qu'à l'effet lié à l'exploitation de l'eau pour les forces hydrauliques.

[7], [8], [24], [49]

A plus long terme, les régimes seront marqués par:

- une diminution des précipitations en été (cf. point 1.8),
- des périodes de sécheresse plus fréquentes/longues,
- une augmentation éventuelle de la fréquence d'épisodes de fortes précipitations.

A long terme, la variabilité des régimes devrait augmenter en raison de la disparition de l'effet régulateur de la fonte (neige et glace).

2.9 A l'avenir les débits de crues liés à la fonte des neiges auront lieu un à deux mois plus tôt par rapport à la période 1980-2009 (pour les bassins versants alimentés par des glaciers : fin juin à début juillet). Pour les bassins versant encore fortement englacés, ils seront temporairement plus élevés par rapport à aujourd'hui. A long terme, c'est-à-dire avec un recul des glaciers important, ils diminueront par contre nettement. Le volume d'eau écoulé pendant les mois de juin à août va nettement diminuer par rapport à la période 1980-2009 ; les été plus secs pourront par ailleurs conduire à des niveaux de débit très faibles jusqu'en automne.

[7], [8], [26], [27], [42]

2.10 L'alimentation annuelle des sources de montagne et leur sensibilité aux effets des changements climatiques sont dépendantes:

- de l'évolution du type (rapport pluie-neige) et de la quantité de précipitations,

[15], [16]

² Basé d'après CIPRA (2002): Le changement climatique et les Alpes – un rapport de synthèse

- du volume d'eau stocké dans les glaciers situés dans les bassins versants,
- du décalage de la période de la fonte,
- de la capacité d'absorption et de stockage du sous-sol dans les bassins versants,
- de la taille des bassins versants.

Ces conditions étant très différentes à l'échelle locale, chaque source réagira différemment aux influences du climat. De façon générale, il faut s'attendre à une augmentation de la variabilité des débits des sources d'ici la fin du 21^{ème} siècle.

Charriage

2.11 La variabilité du charriage augmente également avec celle des débits. Les quantités moyennes de matériaux charriés sont modifiées en fonction des changements de régime des cours d'eau (cf. section précédente 'Régime des cours d'eau'). A moyen et long terme, la diminution de la capacité de charriage des cours d'eau alimentés par des bassins versants englacés provoquera une augmentation des dépôts dans les lits des cours d'eau et, par conséquent, une augmentation du risque d'inondation en cas de crues. Il n'est pas possible de faire un pronostic global sur l'évolution des quantités de matériaux charriés lors d'épisodes de crues. Cela dépend largement des conditions locales au niveau du bassin versant (potentiel de remobilisation de matériaux meubles suite au retrait des glaciers ou à cause de l'élévation de la limite du permafrost).

[8], [17] - [19]

Forêt

2.12 Les forêts réagissent aux changements de température et de précipitations. La croissance de la forêt est notamment perturbée par les épisodes de sécheresse ainsi que par les basses températures.

La sécheresse est un facteur de stress qui augmente la fragilité de la forêt par rapport aux attaques de parasites et diminue sa capacité de régénération (p.ex. tempêtes, attaques du bostryche, incendies ou avalanches). La réaction de la forêt dépend beaucoup de sa situation actuelle (climat local, conditions du sol) et de son état (historique lié à son exploitation, répartition des essences et des âges).

[33] - [36], [43], [45]

2.13 Des conditions très sèches et des températures élevées rendent la végétation sensible aux effets des changements climatiques dans les zones de basse altitude en Valais central (disparition du pin sylvestre dans les milieux secs en dessous de 1200 m). En altitude, par contre, l'augmentation des températures a un effet positif sur l'évolution de la forêt (meilleures croissance, propagation de l'arolle et de l'épicéa).

En altitude, les forêts valaisannes vont profiter des changements climatiques à moyen terme. La biomasse et la densité de la forêt augmenteront. Les forêts plus denses sont toutefois davantage exposées aux incendies, au bostryche, aux tempêtes et aux dégâts de neige lourde. Ces conditions climatiques favorables à l'évolution de la forêt sont à relativiser avec l'augmentation observée des chutes de pierres dans les vallées latérales au sud du Rhône.

A long terme, avec la poursuite de la diminution des précipitations en été et les périodes de sécheresses plus longues et plus fréquentes, les conditions se détérioreront nettement pour la plupart des essences indigènes ; la biodiversité diminuera.

[33], [36], [40] - [42], [45]

2.14 En considérant un scénario de réchauffement élevé (SRES A2), des recherches menées sur l'évolution possible de la forêt en dessus du village de St. Niklaus indiquent que l'effet protecteur de la forêt contre les chutes de pierres est globalement affaibli et qu'à long terme le danger de chute de pierres augmenterait. Cela aurait des effets sur le développement territorial (éviter les zones particulièrement exposées). Ces résultats sont toutefois difficilement transposables à d'autres lieux.

[34]

2.15 La fonction prioritaire de 87% des forêts valaisannes est de protéger les personnes et les infrastructures contre les dangers naturels (chutes de pierres, avalanches, laves

[37] - [39], [41]

torrentielles, glissements de terrain). Les forêts protectrices jouent un rôle central dans la gestion des dangers naturels. Les forêts qui disposent d'une bonne mixité au niveau de l'âge et de la taille des arbres présentent des conditions optimales pour assurer leur fonction protectrice.

L'augmentation de la sécheresse à basse altitude (également dans les altitudes moyennes à plus long terme) affaiblit le rajeunissement et conduit au dépérissement de la forêt, notamment dans les versants exposés au soleil et où il y a une faible couverture du sol. Cela affecte la fonction protectrice de la forêt. Celle-ci pourrait par contre être améliorée en altitude, là où l'augmentation des températures favorise la croissance des arbres.

3 – Utilisation de l'eau / gestion de l'eau

Etat actuel et évolution possible

- 3.1 Le Valais est bien préparé aux pénuries locales d'eau – dans le cadre de la variabilité connue jusqu'à maintenant. C'est entre autre grâce à l'existence des bisses, systèmes traditionnels sophistiqués d'approvisionnement en eau. Les bisses jouent un rôle important pour l'alimentation et la distribution de l'eau là où le besoin en eau n'est pas couvert par des captages d'eau souterraine. Les lacs de barrages, les réservoirs et les réseaux d'eau locaux complètent et remplacent progressivement les systèmes traditionnels. Lorsque le besoin en eau augmente pour des raisons spécifiques (p.ex. irrigation, enneigement artificiel), le manque est principalement comblé par l'augmentation de la capacité de stockage et un pilotage technique des réseaux d'eau. [22], [23], [27], [28], [30], [44]
- 3.2 Il y a deux facteurs importants concernant l'évolution future de la consommation d'eau : les changements climatiques et l'évolution socio-économique. Diverses études –p.ex. le projet MontanAqua dans la région de Crans-Montana – Sierre- montrent qu'à moyen terme la consommation et l'approvisionnement en eau dépendront principalement de l'évolution socio-économique. Cependant, à long terme, l'influence liée aux changements climatiques gagnera en importance. [21], [22], [27], [28]
- 3.3 Le potentiel d'exploitation des eaux souterraines est incertain voir inconnu. On ne peut exclure l'existence d'importantes ressources en eau encore inexploitées parmi les aquifères karstiques et fissurés particulièrement répandus dans le canton du Valais. [15], [27], [29]
- 3.4 Les facteurs suivants sont indépendants du climat mais ont une grande influence sur les besoins / les disponibilités³ en eau :
- évolution de la population,
 - évolution de l'économie,
 - production énergétique liée aux forces hydrauliques,
 - utilisation de l'eau pour les loisirs et le tourisme (piscines/bains, enneigement artificiel),
 - évolution des surfaces agricoles exploitables ; modification au niveau des pratiques de subventionnement dans le domaine de l'irrigation,
 - directives concernant les quantités d'eau résiduelles.
- Les exemples suivants illustrent l'éventail des évolutions possibles pour Crans-Montana – Sierre jusqu'en 2050 :

³ La stratégie Eau du canton du Valais [44] envisage que la population cantonale va augmenter d'environ 8% jusque vers 2030. Elle prévoit une diminution globale des surfaces agricoles mais que, par contre, l'étendue des surfaces irriguées va augmenter. Au niveau du tourisme, ce sont les pratiques liées à l'enneigement artificiel qui vont conduire, à moyen terme, à une augmentation du besoin en eau. A long terme, l'importance croissante du tourisme estival va aussi y contribuer. Il n'y a pas de tendances claires au niveau de l'industrie.

- scénario 'croissance': besoin en eau moyen +24%, besoin de pointe y compris besoins liés à l'irrigation lors d'étés secs +60% (en comparaison à la période 2007-2011);
- scénario 'modération': besoin en eau moyen -13%, besoin de pointe y compris besoins liés à l'irrigation lors d'étés secs +18% (en comparaison à la période 2007-2011).

3.5 Domaines dépendant du climat qui impliquent une augmentation du besoin en eau :

- irrigation pour les surfaces agricoles, les espaces verts, les terrains de golf, les jardins (sécheresse estivale, évtl. évaporation plus importante),
- enneigement artificiel (diminution du nombre de jours de neige fraîche),
- eau de refroidissement pour les besoins industriels/commerciaux,
- dilution des eaux usées épurées avant de les relâcher aux exutoires (en période d'étiage),
- réserve d'incendie (sécheresse estivale).

3.6 La grande variabilité mensuelle du besoin en eau va, à l'avenir, continuer à augmenter. La pression sur les ressources en eau (de surface et souterraines) augmentera notamment en hiver (production de neige artificielle, besoin de pointe dans les régions touristiques) ainsi que vers la fin de l'été pour l'irrigation en raison des situations d'étiages aux sources et dans les cours d'eau. Des phases de sécheresse extrême accentueront cette situation. Par ailleurs l'augmentation de la température de l'eau pourrait perturber la qualité de l'eau.

3.7 De nouveaux lacs pourront se former là où, suite au recul glaciaire, des dépressions seront mises à nu dans le terrain. Cela peut occasionner de nouvelles chances de stockage, d'exploitation hydroélectrique ou devenir des attractions touristiques.

Besoins/options d'interventions

A l'échelle locale

3.8 L'approvisionnement en eau ne satisfait pas partout au besoin de pointe ou n'est pas adapté aux variations saisonnières de la disponibilité de l'eau. Les situations critiques seront plus fréquentes en raison des évolutions socio-économiques et des situations climatiques extrêmes, p.ex. pendant la haute saison dans les stations touristiques hivernales ou suite à des périodes de faibles précipitations en été.

- Examiner l'intégration de réseaux d'alimentation régionaux et le besoin d'augmenter la capacité de stockage.
- Les communes doivent s'atteler en priorité au renouvellement des infrastructures d'approvisionnement (captages, réservoirs, bisses, réseaux de distribution) ; dans ce contexte il s'agit aussi de tenir compte des conditions hydrogéologiques (eau souterraine) dans les bassins d'alimentations concernés.

3.9 L'exploitation des infrastructures d'approvisionnement se fait parfois à très petite échelle, ce qui implique un investissement supplémentaire quant à l'entretien.

- Promouvoir et optimiser la coopération entre communes voisines et avec le canton afin de garantir le maintien en bon état et la gestion efficiente des installations.

A l'échelle régionale

3.10 Le défi majeur à l'échelle régionale est la planification et la coordination de l'exploitation de l'eau. Il s'agit d'harmoniser les ressources disponibles dans les bassins d'alimentation avec les différents utilisateurs qui ont des besoins spécifiques ; et cela en respectant le droit d'eau des communes quant aux ressources.

Il manque souvent les données de base pour réaliser une planification efficace et durable ; les flux d'information manquent souvent de coordination.

- L'offre en eau (y compris la caractérisation des sources en regard de leur sensibilité aux influences climatiques, la formation de nouveaux lacs), son utilisation et l'évolution du besoin en eau des différents utilisateurs doivent être répertoriés et

[22], [27], [28],
[44]

[27], [28], [30],
[57]

[8], [52], [53]

[7], [15], [16],
[21] - [23], [25] -
[30], [44]

analysés systématiquement ; il faut améliorer la collaboration entre les communes, les régions et le canton.⁴

→ Il faut élaborer, entre le canton et les communes, des mesures permettant le suivi en continu de la quantité et la qualité de l'eau. Il faut exploiter les potentiels liés à la saisie et à la gestion efficace des données entre tous les partenaires concernés (canton, communes, privés).

3.11 A court terme, il s'agit d'être mieux préparé aux situations de pénuries d'eau, qui seront plus fréquentes, et à la concurrence accentuée sur la ressource en eau. Les petites structures sectorielles d'exploitation de l'eau sont moins bien préparées que les réseaux intégrés à un niveau régional.

→ Définir des règles flexibles qui couvrent les différents besoins en eau lors de situations de pénuries (p.ex. utilisation saisonnières prioritaires⁵).

3.12 Des études montrent qu'à côté des évolutions climatiques, ce sont avant tout les évolutions socio-économiques qui seront décisives dans les situations d'approvisionnement en eau.

→ Tenir compte, lors de décisions concernant l'évolution d'une région, des influences socio-économiques et climatiques sur l'offre et la demande en eau.

A l'échelle cantonale

3.13 Une tâche importante du canton est de promouvoir la (ré-) organisation de l'exploitation de l'eau au sein et entre les communes de sorte à pouvoir réagir à temps et de façon appropriée aux situations de pénuries d'eau.

→ Etablissement de données de bases détaillées sur le cycle de l'eau "des montagnes à la plaine" (type et quantité de précipitations, état et modification des réservoirs ainsi que des écoulements de surface et souterrains). Les systèmes de mesures existants sont à compléter.

→ Optimiser l'utilisation de la base de données cantonale en y intégrant des données de base sur le thème des ressources en eau. Améliorer la coordination entre les différents services concernés et mise en valeur des données disponibles comme aide à la décision.

→ Il faut s'assurer que l'on tienne compte des nouvelles sources d'information sur la modification de l'offre et la demande en eau (p.ex. l'évolution du besoin de pointe selon différents scénarios). C'est par exemple aussi le cas lors de nouvelles négociations sur les droits d'eau au niveau régional (considérer les échéances des concessions comme une chance).

En général

3.14 Dans les régions qui ne sont pas alimentées par des glaciers ainsi que dans les endroits où le volume des glaciers a fortement diminué, où les glaciers ont totalement disparus ou où la capacité de stockage du sous-sol est faible (karst), les régimes d'écoulements seront à l'avenir surtout marqués par la modification du type de précipitations (plus grande proportion de pluie en hiver, fonte des neiges précoce au printemps, débits moindres en été). La variabilité des écoulements et du niveau des eaux souterraines augmentera. La disponibilité de l'eau sera moins prévisible à l'avenir et la dépendance aux réservoirs artificiels –p.ex. lacs de barrages- sera plus importante. Le besoin de capacité de stockage

⁴ p.ex. dans le cadre de la mise en oeuvre de la Stratégie eau du canton du Valais (mesures A1: plateforme d'information Eau ; C1: vue d'ensemble de l'approvisionnement en eau potable dans les communes)

⁵ cf. Stratégie eau du canton du Valais [44], p. 21: ordres de priorité lors de la nécessaire pesée des intérêts en présence :

1. Eau potable
2. Protection de l'eau en tant que ressource et protection des hommes contre les dangers naturels liés à l'eau
3. Mise en valeur de l'eau à d'autres fins

supplémentaire pour une utilisation multifonctionnelle de l'eau ainsi que l'importance de l'utilisation à des fins multiples des lacs de barrages actuels vont augmenter. Les règles traditionnelles utilisées pour la distribution des ressources en eau (p.ex. quantités fixes, indépendantes de l'afflux) ne seront plus suffisantes dans ces régions. Des conditions juridiques complexes auront en outre un effet aggravant.

- Entreprendre des adaptations techniques ainsi qu'une révision globale, respectivement une simplification, des bases légales qui régissent l'utilisation de l'eau.
- Améliorer les connaissances sur les ressources disponibles liées à l'eau souterraine et qui pourraient à l'avenir jouer un rôle important dans l'exploitation de l'eau.

3.15 Il y a un manque de conscience quant à l'importance de l'eau. Bien souvent, on n'est pas conscient des limites de son utilisation.

- Informer et sensibiliser davantage les groupes de consommateurs importants.
- Rendre attentifs aux mesures de réduction du besoin en eau, respectivement du gaspillage de l'eau et mise en œuvre de celles-ci (p.ex. systèmes d'irrigation alternatifs ou optimisés, degré d'efficacité des installations d'enneigement artificiel, potentiels d'économie dans l'hôtellerie, adaptation du prix de l'eau, taxes pour le financement de projets liés à l'eau).

4 – Dangers naturels

Etat actuel et évolution possible

Glaciers dangereux

4.1 L'inventaire suisse des glaciers dangereux recense 84 glaciers, dont 53 sont considérés comme dangereux. On considère comme glaciers dangereux, ceux pour lesquels un événement est possible dans les 10-20 prochaines années et pouvant engendrer des dégâts aux zones à bâtir, aux axes de transport ou à d'autres infrastructures utilisées par l'homme. 32 des 53 glaciers dangereux se situent dans le canton du Valais.

Le recul des glaciers provoque divers dangers. La menace va cependant diminuer avec la poursuite de la fonte des glaciers.

Laves torrentielles

4.2 L'activité des laves torrentielles est principalement dépendante du régime des précipitations et de la disponibilité de matériaux (matériaux meubles libérés par la fonte du permafrost, le recul des glaciers et le matériel morainique formant des lacs aux fronts des glaciers). Un pronostic fiable sur la fréquence et la répartition annuelle des épisodes de fortes précipitations à l'avenir (facteurs déclenchants pour les laves torrentielles) n'est pas possible.

4.3 Entre 1972 et 2011, 35% des coûts liés aux intempéries en Suisse est attribuable au charriage (y compris le bois flottant). Pour le canton du Valais la part moyenne des dégâts liés au charriage est de 60%. 124 des 142 communes valaisannes (87%) ont été touchées par ces dégâts durant la période 1972-2011. La variabilité d'une année à l'autre est toutefois très grande. Les intempéries de Brig de septembre 1993 ont représenté 75% du montant total de dégâts liés au charriage en Valais pour cette période.

Crues

4.4 Dans les Alpes, les crues les plus importantes ont lieu sur les versants nord-ouest des Préalpes et la Suisse méridionale. Les épisodes de fortes précipitations sont nettement moindres dans les vallées intra-alpines. Les pics de crues sont rares dans les régions fortement englacées. Les glaciers, tant qu'ils sont couverts de neige, ont un effet

[12], [30], [52], [53]

[24], [25], [56] - [58], [61]

[20]

[21], [44]

régulateur sur les écoulements lors de fortes précipitations.

- 4.5 Les débits de pointe augmenteront temporairement avec le recul des glaciers, l'élévation de la limite de la neige et la fonte précoce du manteau neigeux. La durée des épisodes de crues sera tendanciellement plus longue (a fortiori, des débits hivernaux plus élevés, des débits de pointe au printemps/début de l'été, des niveaux d'étiage en été/automne) avec, ponctuellement, des épisodes de crues liés aux fortes précipitations. [7], [8], [21]
- 4.6 Les épisodes de fortes précipitations représentent l'élément déclencheur principal pour les crues et les inondations. L'évolution de ces épisodes est incertain ; à long terme il est possible qu'ils deviennent plus fréquents au printemps et en automne. Il n'est actuellement pas possible de faire un pronostic fiable sur l'évolution des crues pour le futur. [1], [57]
- 4.7 Le régime des eaux souterraines ainsi que leur renouvellement dépendent principalement des précipitations et, dans une plus faible mesure, du niveau des cours d'eau (cf. point 3.14). Les situations de niveau élevé de la nappe phréatique affecteront en particulier les communes de la vallée du Rhône. [21], [29]
- Glissements
- 4.8 Pour les glissements aussi, ce sont les épisodes de fortes précipitations qui jouent un rôle central en tant qu'élément déclencheur, en particulier lorsqu'ils se produisent sur des sols déjà saturés en eau. A l'avenir, davantage de précipitations sous forme de pluie et une durée d'enneigement réduite pourraient favoriser les glissements, notamment au printemps. En même temps, les glissements pourraient se faire plus rares durant les périodes de l'année où les précipitations totales sont appelées à diminuer. [21], [30], [56]
- Chutes de pierres / éboulements
- 4.9 La disparition du permafrost augmente la probabilité de chutes de pierres. La fréquence des éboulements pourrait aussi augmenter avec le recul des glaciers et le réchauffement progressif des flancs rocheux abrupts encore soumis au permafrost. En fonction des conditions géologiques, le risque lié aux processus de chute augmentera en altitude en raison des cycles de gel-dégel plus fréquents liés au réchauffement du climat. A l'inverse, ce risque diminue dans les régions situées à plus basses altitudes, là où les cycles de gel-dégel ont tendance à diminuer. [30], [51], [56], [60]
- Avalanches
- 4.10 A moyen terme le risque d'avalanche devrait diminuer, du moins à basse altitude. Cela est principalement lié à l'élévation de la limite des chutes de neige et par conséquent à l'augmentation de la part des précipitations qui tombe sous forme de pluie. Mais puisque l'on s'attend à des épisodes de fortes précipitations plus fréquents en automne et au printemps, on ne peut toutefois pas exclure d'importantes chutes de neige en altitude pouvant provoquer de grandes avalanches de fond et menacer les infrastructures. Dans un climat plus doux, les avalanches de neige mouillée devraient gagner en importance. [51], [60], [61]
- Besoins/options d'interventions
- Glaciers dangereux
- 4.11 Les sources de dangers principaux sont les crues provoquées par la rupture de lacs glaciaires (formés derrière un barrage de glace ou de matériel morainique) ou de poches d'eau se libérant brutalement sous les glaciers et des éboulements de séracs au front des glaciers (ceux-ci pouvant également provoquer une crue soudaine en s'ébouillant dans un lac glaciaire). [7], [13], [18], [19], [21], [26], [30], [32], [34], [37] - [42], [44], [47], [52], [59], [61], [62]

→ Surveiller/observer les glaciers dangereux⁶ et les zones de permafrost ; mise en place de systèmes d'alerte là où il y a un potentiel de dommage reconnu.

4.12 De nouveaux lacs pourront se former là où, suite au recul glaciaire, des dépressions seront mises à nu dans le terrain. Celles-ci devraient représenter un potentiel intéressant pour le stockage et l'utilisation de l'eau. Ce phénomène a déjà pu être observé pour plusieurs grands glaciers de vallées (p.ex. Rhône, Chüboden). Ces lacs peuvent présenter un risque d'inondation pour les zones situées à l'aval (éboulements provoquant des débordements subits). La probabilité d'occurrence de ce genre d'événement est toutefois faible.

→ Prendre des mesures pour réduire le danger, p.ex. en créant des exutoires artificiels permettant d'évacuer l'eau de ces nouveaux lacs de façon contrôlée

Laves torrentielles/éboulement/chutes de pierres

4.13 La fonte du permafrost pourrait engendrer des laves torrentielles qui peuvent atteindre des proportions extrêmes et se propager à des zones qui n'étaient pas touchées jusque-là. Cela est aussi valable pour les chutes de pierres et les éboulements pouvant toucher des zones qui étaient auparavant peu concernées par ces phénomènes. Dans les vallées latérales de la rive sud du Rhône, les évaluations actuelles indiquent qu'il ne faut pas forcément s'attendre à davantage de laves torrentielles mais potentiellement à une augmentation de leur ampleur.

→ Réaliser, compléter et réactualiser périodiquement les cartes de danger en tenant compte des nouveaux risques (zones où il faut s'attendre à être exposé à un danger), prise en compte, dans l'aménagement du territoire, des zones à risques.

→ Sécuriser par des mesures techniques les zones à risques (digues de retenue et de déviation, protection à l'objet, création ou adaptation de bassins de rétention, etc. ; prendre en compte les tendances découlant des changements climatiques dans les calculs de dimensionnement).

Crues/glissements

4.14 La protection contre les crues tient encore très peu compte des effets des changements climatiques. L'augmentation des épisodes de fortes précipitations augmenterait aussi le risque de dégâts aux bâtiments et aux surfaces lors de crues. Les glissements pourraient apporter davantage de matériaux (p.ex. troncs d'arbres) dans les cours d'eau et ainsi également accroître les risques.

Avec l'augmentation de la limite des chutes de neige, les précipitations qui tombent sous forme de pluie vont toucher davantage de zones où la capacité d'absorption des sols est faible. Là où les débits de pointe tendront à diminuer, alors qu'en parallèle, l'apport de matériaux augmentera, il y aura davantage de sédimentation. Le risque d'inondation augmentera à cause de la plus faible capacité d'écoulement des cours d'eau en ces endroits.

→ Utilisation des lacs de barrage comme instrument de stockage à usage multiple, augmentation des volumes de stockage.

→ Adapter, en fonction de la situation, l'entretien des installations hydroélectriques aux modifications des conditions de charriage.

→ Mise en oeuvre de mesures préventives pour l'entretien des cours d'eau (reprofilage, évacuation du bois flottant, élimination des néophytes qui peuvent déstabiliser les berges).

Forêt protectrice/protection contre les avalanches

4.15 Beaucoup de forêts valaisannes sont trop exploitées ; elles sont trop denses et ne présentent pas de structure qui permettrait une régénération permanente de leur

⁶ Régions particulièrement concernées en Valais (selon le concept de surveillance/d'observation [13]) : vallée de Conches, vallée de Zermatt, Lötschental, Aletsch, vallée de Saas.

fonction protectrice. L'entretien et l'exploitation de la forêt devraient être orientés vers la conservation durable de sa fonction protectrice –p.ex. en prenant de mesures d'entretien ciblées, en favorisant les essences adaptées aux conditions futures en fonction de l'emplacement de la forêt et en protégeant les peuplements de l'abrouissement. A moyen terme, l'effet protecteur de la forêt contre les chutes de pierres et les avalanches va diminuer dans les régions de basses altitudes. La chute d'arbres dans les peuplements trop vieux pourra contribuer au risque de chutes de pierres. Le bois mort augmentera nettement le risque d'incendie, en particulier dans les régions de basse altitude de la vallée du Rhône. Les incendies de forêts ont un effet négatif sur la protection contre l'érosion et les chutes de pierres. La remise en état de la fonction protectrice de la forêt après un incendie est très coûteuse⁷.

- Exploitation et entretien plus intensifs des forêts protectrices, favoriser les essences résistantes à la sécheresse, mesures de protection contre l'abrouissement.
- Prendre des mesures pour diminuer le risque d'incendie de forêts, préparer et mettre en oeuvre des plans d'urgence et d'intervention dans le cadre de la lutte contre le feu.

5 – Conséquences pour l'adaptation

5.1 Les changements climatiques : une raison de plus pour une meilleure planification

La population valaisanne est habituée aux situations de pénurie d'eau et aux dangers naturels. A court et moyen terme et selon l'état actuel des connaissances, les changements climatiques ne vont pas avoir d'effets dramatiques sur la disponibilité de l'eau ni l'évolution de la situation face aux dangers naturels. Il est donc compréhensible qu'il n'y ait qu'une faible prise de conscience pour un besoin d'agir au sein de la population et au niveau politique.

Toutefois, la pression sur les ressources en eau ainsi que l'exposition aux dangers naturels augmente là où la population et l'économie indiquent une forte croissance. Les changements climatiques accentuent le besoin d'intervention et apportent des arguments supplémentaires pour une meilleure planification, en particulier dans ces régions.

La portée des effets sera fortement dépendante des décisions engagées sur le long terme afin d'exploiter les chances et contre les risques des changements climatiques (p.ex. exploitation de la forêt, aménagement d'infrastructures, planification de l'économie, dimensionnement des zones de danger).

A court terme il est important d'améliorer la prise de conscience quant aux conséquences à moyen et long terme. C'est la seule façon d'identifier à temps la nécessité d'agir. D'un autre côté, il s'agit d'exploiter les potentiels de synergies : les démarches actuelles dans les domaines de la gestion de l'eau et des dangers naturels peuvent souvent être adaptées avec peu d'efforts aux conséquences prévisibles liées aux changements climatiques. Afin de reconnaître et exploiter ces synergies, il faut souvent sortir d'une perspective locale et sectorielle et adopter une démarche régionale et intersectorielle pour laquelle les compétences entre privés, communes, régions et canton sont clairement définies.

5.2 Exploitation de l'eau: construire sur l'expérience – prendre en compte les nouvelles réalités

Les formes traditionnelles de l'exploitation de l'eau ont fait leurs preuves au fil des siècles. A l'avenir elles ne vont cependant plus suffire, car

[21], [22], [26] -
[28], [34]

[22], [23], [25] -
[28], [46], [57]

⁷ Jusqu'en 2007, les coûts totaux engendrés par les mesures de protection contre les dangers naturels et les soins apportés pour la reprise de la forêt après l'incendie de Loèche en 2003 se sont élevés à env. CHF 2.5 Mio.

- le besoin en eau va augmenter dans les régions qui ont une forte croissance socio-économique et où les effets des changements climatiques vont s'accroître; les situations de pénurie d'eau vont devenir plus fréquentes et la concurrence pour la ressource en eau s'accroîtra;
- les changements dans l'offre et la demande en eau impliquera de nouvelles règles quant à sa distribution et de son utilisation, ciblées selon la situation, en tant qu'eau potable, force hydraulique, réserve d'incendie ou eau d'irrigation;
- la planification optimale des infrastructures liées à l'exploitation de l'eau ainsi que l'utilisation efficiente des ressources impliquent une coordination et une organisation supra-communale.

Une gestion de l'eau bien équipée pour les défis à venir

- construit sur l'expérience acquise au niveau la gestion des pénuries d'eau locales et saisonnières;
- remet en question les anciens règlements au vu du passage d'une société principalement agricole à une société façonnée par l'industrie, les services et la consommation;
- réglemente l'utilisation de l'eau de sorte qu'à l'avenir, les besoins des différents groupes d'intérêts soient pris en compte et permettent d'éviter des conflits ;
- vise une gestion de l'eau régionale et exploite les synergies qui émergent de la collaboration et des mises en réseaux ;
- passe d'une gestion passive des volumes d'eau exploitables ("on prend ce que l'on a") à une gestion proactive de la consommation ;
- cherche des solutions pour une utilisation plus économique et coordonnée de l'eau en étant conscient que l'offre ne peut pas être étendue sans fin ;
- est consciente que l'exploitation de l'eau a, en plus de sa dimension locale, une dimension toujours plus régionale, nationale et même internationale (retenues d'eau lors de crues, constitution de réserves en cas de pénuries);
- exploite les opportunités qui se présentent (p.ex. renouvellement des concessions liés à la force hydraulique) pour trouver également des solutions valables à long terme, notamment en ce qui concerne l'utilisation multifonctionnelle des réserves d'eau ;
- informe et sensibilise la population et en particulier les cercles concernés, des défis à venir et les inclut suffisamment tôt dans les processus de planification.

5.3 Dangers naturels: maîtriser de nouvelles incertitudes

Un environnement façonné par les dangers et les risques est typique pour les milieux alpins. L'anticipation dans l'action appartient au quotidien. Les changements climatiques aussi exigent que l'on sache gérer les dangers et les risques et qu'il faut être préparé à aux événements imprévisibles. Les différents principes qui se sont révélés utiles dans la gestion des dangers naturels peuvent aussi s'appliquer à la prise en compte des effets liés aux changements climatiques :

- Elaborer et améliorer les bases décisionnelles (interpréter les événements récents sous l'angle des changements climatiques opérés depuis 1850, observer/documenter les tendances actuelles, échanger les données récoltées).
- Analyser les situations critiques et apprendre des expériences; impliquer la population et, en particulier, les cercles concernés dans les processus.
- Réévaluation périodique des risques et des stratégies, surtout lorsque de nouveaux résultats sur les changements climatiques sont accessibles (p.ex. pour des régions où la fonte du permafrost engendre de nouveaux dommages potentiels).
- Tenir compte des effets à moyen terme des changements climatiques dans les processus de planification (p.ex. révision des plans d'aménagements du territoire, construction de voies de communication).

[26], [30], [34],
[61]

- Evaluer et tester différentes options d'interventions (techniques, constructives, biologiques, organisationnelles, d'aménagement) tout en appliquant des solutions flexibles et adaptables.
- Tester les scénarios catastrophes et élaborer des solutions robustes qui tiennent compte des cas de surcharge.
- Surveiller les zones dangereuses, mettre en place des systèmes d'alerte et informer les cercles concernés (y.c. les touristes) et les sensibiliser aux comportements à adopter.
- Orienter davantage l'exploitation sylvicole aux exigences liées à une forêt protectrice efficace et durable.

5.4 Renforcer la prise de conscience que certaines fonctions assurées par la nature sont menacées

[34], [39], [46]

Une gestion consciente des effets liés aux changements climatiques signifie qu'il faut aussi saisir ce que les écosystèmes et les espaces naturels peuvent fournir à la société et à l'économie. La fonction protectrice des forêts ou celles d'équilibre et de stockage de la neige et de la glace en sont des exemples.

La disparition de telles fonctions ne va pas seulement engendrer des coûts élevés, mais peut aussi augmenter le potentiel de conflits entre les différents acteurs qui devront entrer en concurrence pour une ressource s'amenuisant (p.ex. pour le cas de l'eau). C'est pourquoi il faut, pour s'adapter aux changements climatiques, apprendre à mieux apprécier l'importance des fonctions de la nature et en tenir compte lors des pesées d'intérêts entre le court et le long terme.

5.5 Agir aujourd'hui pour demain

[25] - [29], [57]

Il est aujourd'hui possible de prendre des décisions importantes au niveau de la planification et des investissements qui tiennent compte des effets liés aux changements climatiques et qui ne représentent pas un grand effort supplémentaire. Mais pour cela il faut avoir un minimum de prise de conscience des problèmes et un engagement aussi bien au niveau cantonal que communal.

Niveau cantonal

C'est la responsabilité du canton, de façon générale, de mettre à disposition les données de base nécessaires à la planification de mesures de protection ainsi que pour la gestion des eaux. Pour cela il faut aussi prendre en compte des horizons de temps plus larges, adaptés aux changements climatiques. Disposer de données permettant une bonne résolution spatiale et temporelle est une condition indispensable pour mettre en œuvre des stratégies adéquates.

Le canton du Valais a, avec l'élaboration de sa stratégie eau, formulé divers objectifs et mesures permettant la conduite et la coordination de la gestion de l'eau. Il peut soutenir les communes dans la planification de l'exploitation des cours d'eau par des conseils, l'octroi de subventions, des obligations, etc. et stimuler une collaboration de plus en plus supra-communale ; pouvant aller jusqu'à la planification et utilisation commune d'infrastructures au niveau d'un bassin versant.⁸

Le canton peut aussi soutenir davantage les communes au niveau de la protection contre les crues en s'assurant que l'entretien des cours d'eau soit réalisé (p.ex. évacuation du bois flottant), que des mesures de protection soient prises, que l'avance se fasse de façon coordonnée dans un cadre régional et en exploitant les synergies. Il tient de plus un rôle important dans les conventions d'utilisations multiples des lacs de barrages (contrats de concessions avec les propriétaires des forces hydrauliques).

Finalement, le canton peut intégrer la prise en compte des risques liés au climat en tant qu'instance de validation des plans d'aménagements communaux, lors de l'évaluation des

⁸ cf. Stratégie eau du canton du Valais [44], p. 23-24

plans communaux de gestion des risques tels que pour les crues, les incendies de forêt, etc., ainsi qu'en adaptant les éventuelles prescriptions de construction ou d'exploitation.

Niveau communal

Les communes valaisannes disposent d'une grande autonomie, en particulier en ce qui concerne la gestion des ressources en eau. Elles portent ainsi une grande responsabilité pour satisfaire aux différents besoins des utilisateurs, également dans des conditions climatiques qui évoluent.

En raison des conditions climatiques, hydrologiques, géologiques et topographiques, les communes sont touchées de façon très différenciée par les effets des changements climatiques. La disponibilité et la demande en eau est, aujourd'hui déjà, fort variable d'un endroit à l'autre. Ces deux facteurs évolueront de façon très différente selon la situation locale dans les prochaines décennies.

L'exposition aux dangers naturels varie aussi fortement d'un endroit à l'autre. En fonction des conditions locales, ce sont les avalanches, les chutes de pierres, les glissements, les laves torrentielles ou les incendies de forêts qui représentent le risque le plus important. L'importance de chacun de ces dangers pourrait changer significativement durant le 21^{ème} siècle, selon les conditions locales.

C'est pourquoi il est important que les communes agissent de façon consciente face aux risques liés aux changements climatiques. Les connaissances actuelles plaident pour une collaboration renforcée au-delà des frontières communales ainsi qu'avec le canton.

Annexe

A) Evolution des températures et des précipitations jusqu'en 2060 (2045-2074, scénario A1B)

Les figures suivantes représentent une estimation de la fourchette de changement de la moyenne pluriannuelle pour la période 2045-2074. Les données sont basées sur 4 stations de mesures situées en-dessous de 800m d'altitude (Aigle, Sion, Visp, Fey) et 4 stations au-dessus de 1500m (Blatten, Zermatt, Evolène, Col du Grand St-Bernard).

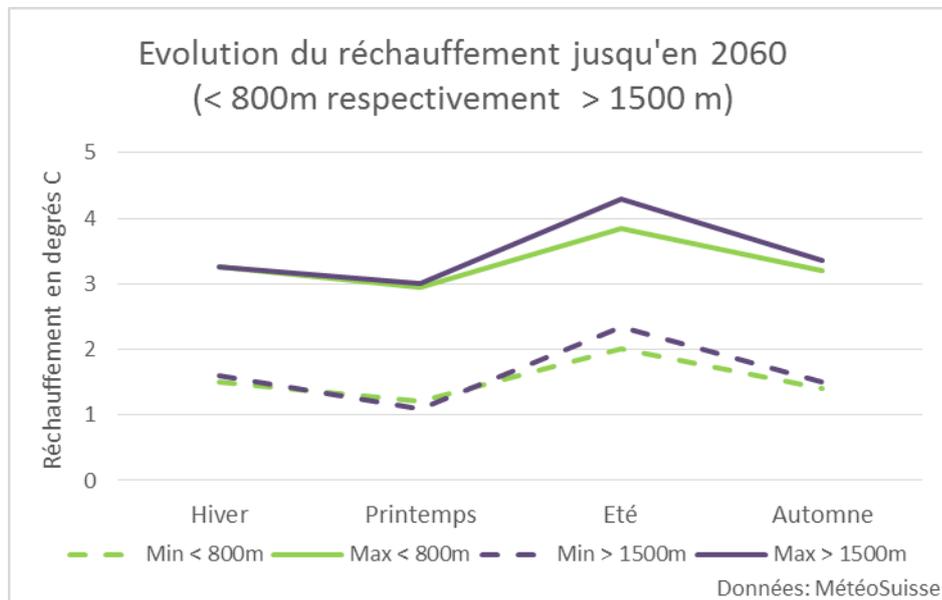


Figure 1 Pour l'horizon 2060 (moyenne pluriannuelle pour la période 2045-2074), il faut s'attendre à une augmentation des températures moyennes de 1 à 3 degrés au printemps, et 2 à 4 degrés en été dans la vallée du Rhône. Ceci en comparaison avec la période de référence 1981-2010 et en admettant qu'il n'y ait aucune action déterminée ni coordonnée au niveau international (=scénario A1B du GIEC). Il n'y a pas de différence notable de cette évolution en fonction de l'altitude, sauf un léger décalage en été.

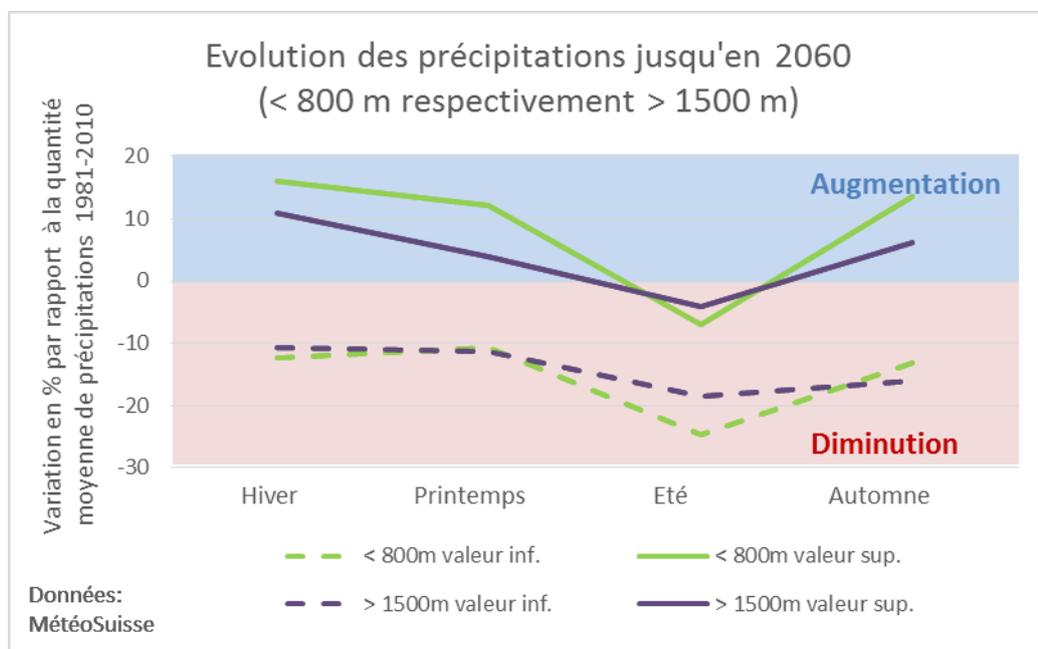


Figure 2 Pour l'horizon 2060 (moyenne pluriannuelle pour la période 2045-2074), il n'y a pas de tendance claire concernant l'évolution des quantités de précipitations par rapport à la période de référence 1981-2010. En été cependant (juin-août) il faut s'attendre à une diminution de 5-20% de la somme des précipitations, notamment à basse altitude (aussi en altitude, mais de façon moins marquée).

B) Normes climatologiques (moyenne de la période 1981-2010) aux stations de mesures de MétéoSuisse dans la vallée du Rhône

Tableau 1: jours tropicaux (journées avec une température maximale de 30°C ou plus) / **température maximale moyenne du mois de juillet**

Altitude (m)	Station de mesure	Moyenne de jours tropicaux par an, 1981-2010	Moyenne de la température journalière max. en juillet, 1981-2010
381	Aigle	3.1	24.7
482	Sion	16.0 ¹	27.0
639	Visp	15.4 ²	26.7
1345	Ulrichen	0.3	21.5
1427	Montana	0.1	20.5
1538	Blatten	0.1	20.5
1605	Grächen	0.1	21.1
1638	Zermatt	0.1	19.9
1825	Evolène / Villa	0.0	17.7
2472	Col du Grand St-Bernard	0.0	11.5

¹ valeur la plus élevée de toutes les stations MétéoSuisse

² 3^{ème} valeur la plus élevée de toutes les stations MétéoSuisse

Tableau 2: jours de gel (journées avec minimum inférieur à 0°C) / **jours d'hiver** (journées avec maximum inférieur à 0°C)

Altitude (m)	Station de mesure	Moyenne de jours de gel par an, 1981-2010	Moyenne de jours d'hiver par an, 1981-2010
381	Aigle	77.7	6.7
482	Sion	93.6	7.6
639	Visp	113.6	19.3
1345	Ulrichen	192.9	52.6
1427	Montana	148.6	36.2
1538	Blatten	204.4	44.6
1605	Grächen	138.7	27.4
1638	Zermatt	178.2	44.8
1825	Evolène / Villa	162.1	51.0
2472	Col du Grand St-Bernard	237.6	146.9

C) Normes climatologiques en comparaison de l'évolution attendue selon le scénario A1B

Tableau 3: températures moyennes saisonnières en hiver 1981-2010 et 2045-2074 (DJF = Décembre – Janvier – Février)

Altitude (m)	Station de mesure	Valeur moyenne DJF, 1981-2010	Valeurs attendues DJF, 2045-2074
381	Aigle	1.5	2.9 – 4.8
482	Sion	0.8	2.3 – 4.0
639	Visp	-0.2	1.4 – 3.1
1345	Ulrichen	-6.5	-5.1 – -3.4
1427	Montana	-1.5	0.1 – 1.8
1538	Blatten	-5.2	-3.6 – -1.9
1638	Zermatt	-3.7	-2.1 – -0.4
1825	Evolène / Villa	-2.5	-0.9 – 0.7
2472	Col du Grand St-Bernard	-7.1	-5.5 – -3.9

Tableau 4: températures moyennes saisonnières en été 1981-2010 et 2045-2074 (JJA = Juin – Juillet – Août)

Altitude (m)	Station de mesure	Valeur moyenne JJA, 1981-2010	Valeurs attendues JJA, 2045-2074
381	Aigle	18.2	20.0 – 21.7
482	Sion	19.1	21.2 – 23.1
639	Visp	18.4	20.4 – 22.3
1345	Ulrichen	13.2	15.4 – 17.3
1427	Montana	13.7	15.9 – 17.8
1538	Blatten	12.1	14.3 – 16.2
1638	Zermatt	12.4	14.7 – 16.6
1825	Evolène / Villa	11.5	13.9 – 15.8
2472	Col du Grand St-Bernard	7.0	9.5 – 11.5

Tableau 5: somme des précipitations en été 1981-2010 et 2045-2074 (JJA = Juin – Juillet – Août)

Altitude (m)	Station de mesure	Somme des précipitations moyennes JJA, 1981-2010	Somme des précipitations attendue JJA, 2045-2074
381	Aigle	323	229 – 293
482	Sion	169 ¹	129 – 158
639	Visp	132 ²	103 – 126
1345	Ulrichen	275	223 – 271
1538	Blatten	274	225 – 265
1638	Zermatt	187	151 – 181
1825	Evolène / Villa	239	193 – 228
2472	Col du Grand St-Bernard	430	355 – 407

¹ Station MétéoSuisse avec la troisième valeur la plus basse (603mm/an)

² Station MétéoSuisse avec la deuxième valeur la plus basse (596mm/an)

La station ayant la valeur la plus basse est Ackersand (commune de Stalden) avec 545mm/an.

Informations de MétéoSuisse concernant l'utilisation de ces données pour l'interprétation de l'évolution du climat

En utilisant ces données il faut tenir compte des limitations suivantes:

- Les modèles climatiques ne peuvent pas reproduire les effets climatiques locaux dans les vallées alpines ni les réactions en chaîne locales. Les modèles ne parviennent pas non plus à reproduire avec une précision suffisante les différences d'altitude dans les Alpes. Les prévisions de hautes altitudes ainsi que des fonds de vallées sont par conséquent entachées d'une marge d'incertitude particulièrement grande.
- Les modifications indiquées des températures ou des précipitations représentent la moyenne pluriannuelle ; des fluctuations annuelles positives et négatives autour de cette moyenne feront toujours partie du climat du futur. Dans cette logique, l'on ne tient pas compte ici de la variation de ces fluctuations annuelles, de modification de la séquence des événements ou de modifications extrêmes.
- Aucune combinaison au niveau de ces variations de températures et de précipitations n'a davantage de probabilité de se produire qu'une autre. Cela signifie par exemple, que l'on ne peut pas faire de pronostic si l'estimation des températures vers des valeurs plus élevées aura plutôt lieu dans le cas de figure d'une modification des précipitations à la baisse ou à la hausse.
- D'une saison à l'autre, le climat futur peut évoluer avec la même probabilité vers les estimations supérieures ou inférieures.

Sources utilisées (selon les renvois figurant dans le texte)

1	MétéoSuisse	Scénarios climatiques Suisse – un aperçu régional, Rapport technique MétéoSuisse Nr. 243 Accès au document	2013
2	MétéoSuisse	Daten saisonale Temperaturmittel und Niederschlagssummen. Internes Datenfile im Rahmen des Pilotprogramms 'Anpassung an den Klimawandel' (in Ergänzung zum MeteoSchweiz-Fachbericht Nr. 243)	2015
3	MétéoSuisse	Normes climatologiques (Consultation: 30.05.2016) Accès au document	2015
4	MétéoSuisse	Indicateurs de climat (Consultation: 30.05.2016) Accès au document	2015
5	Bosshard, Thomas et al.	Lokale Klimaszenarien für die Klimaimpaktforschung in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.267-272	2011
6	Kotlarski, Sven	Wärmer und weniger Schneefall. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.48f	2012
7	Office fédéral de l'environnement (Ed.)	Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet «Changement climatique et hydrologie en Suisse» (CCHydro). OFEV-Série Connaissance de l'environnement Nr. 1217 Accès au document	2012
8	SGHL und CHy (Hrsg.)	Les effets du changement climatique sur l'utilisation de la force hydraulique. Rapport de synthèse. Matériaux pour l'Hydrologie de la Suisse, Nr. 38 Accès au document	2011
9	VAW (ETHZ)	VAW Gletscher- und Abflussveränderungen im Zeitraum 1900-2100 in sieben Einzugsgebieten der Schweiz. VAW-Teilprojekt von CCHydro. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU (unveröffentlicht)	2011
10	Fischer, Mauro et al.	Surface elevation and mass changes of all Swiss glaciers 1980–2010. In: The Cryosphere Discuss., 8, pp.4581-4617	2014
11	VAW (ETHZ)	Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900-2100 – Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. Fachbericht. Im Auftrag von Kanton Wallis (Dienststelle für Energie und Wasserkraft) und Forces Motrices Valaisannes FMV SA	2011
12	VAW (ETHZ)	Naturgefahren Gletscher. Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz. http://glaciology.ethz.ch/inventar/inventar.html (Zugriff: 16.02.2015)	2015
13	Schnyder, Benedikt	Zum Überwachungs-/Beobachtungskonzept gefährlicher Gletscher im Wallis. Teilbeitrag. Berichterstattung nach dem achten Beobachtungsjahr 2013	2013
14	VAW (ETHZ)	Gletscher- und Abflussentwicklung im südöstlichen Einzugsgebiet des Kraftwerks Emosson 1933-2100. Im Auftrag der Electricité d'Emosson SA (unveröffentlicht)	2014
15	Canton du Valais - Programme Opérationnel de Coopération Transfrontalière Italie-Suisse 2007-2013 INTERREG	Projet STRADA – Stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour la gestion des risques naturels. Action 3.2 : Gestion et monitoring des sources de montagne, Rapport final	2014
16	Christe, Pierre et al.	Global warming in the Alps: vulnerability and climatic dependency of alpine springs in Regione Valle d'Aosta (Italy) and Canton Valais (Switzerland). In: European Geologist 05/2013; EGM(35), pp.64-69	2013
17	Raymond Pralong, Mélanie et al.	Klimaänderung und Wasserkraft. Auswirkung der Klimaänderung auf die Geschiebefracht – Sektorielle Studie Wallis. Projekt Klimaänderung und Wasserkraftnutzung, Modul D	2011
18	Raymond Pralong, Mélanie et al.	Auswirkungen der Klimaänderung auf die Geschiebefracht in Einzugsgebieten von Kraftwerksanlagen im Kanton Wallis. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.278-285	2011
19	IDEALP Ing. Sàrl et al.	Gewässersanierung Kanton Wallis. Präsentation für die Gemeinden. Einzugsgebiet Vispa und Anniviers. http://slideplayer.org/slide/914584/ (Zugriff: 30.05.2016)	nicht dat.

Le Valais face aux changements climatiques - Effets et options d'adaptation dans les domaines de la gestion des eaux et des dangers naturels (document de synthèse)

20	Andres, Norina et al.	Schäden durch Geschiebetransportprozesse in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 106. Jg., Heft 3, pp.210-214	2014
21	Björnsen Gurung, Astrid et al.	Ressources en eau de la Suisse: ressources disponibles et utilisation – aujourd’hui et demain. Synthèse thématique 1 dans le cadre du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 "Gestion durable de l'eau en Suisse" Accès au document	2014
22	Lanz, Klaus et al.	La gestion des ressources en eau face à la pression accrue de leur utilisation. Synthèse thématique 2 dans le cadre du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 "Gestion durable de l'eau en Suisse" Accès au document	2014
23	European Environment Agency EEA	Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. EEA Report No 8/2009	2009
24	Beniston, Martin et al.	Assessing the impacts of climatic change on mountain water resources. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1129–1137	2013
25	Hill Clarvis, Margot et al.	Governing and managing water resources under changing hydro-climatic contexts: The case of the upper Rhône basin. In: Environ Sci Pol, Vol. 43, pp.56–67	2013
26	Beniston, Martin et al.	Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: Can current water governance cope with future challenges? In: Environ Sci Pol, Vol. 14, pp.734–743	2011
27	Weingartner, Rolf et al.	MontanAqua: anticiper le stress hydrique dans les Alpes – Scénarios de gestion de l’eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Valais). Rapport d’étude du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 Accès au document	2014
28	Reynard, Emmanuel et al.	Projet MontanAqua: Les principaux résultats – où comment communiquer avec les acteurs locaux. In: Aqua & Gas No11/2014, pp.50-57	2014
29	Christe, Pierre	Plate-forme hydrogéologique cantonale STRATES-VS : Saisie, Traitement, Référencement et Accès aux informations relatives à la Terre et aux Eaux Souterraines en Valais (Rapport technique SPE/DTEE)	2015
30	econcept AG	Anpassung an die Klimaänderung im Berggebiet. Fallstudie Saastal. Schlussbericht	2011
31	Fatichi, Simone et al.	Does internal climate variability overwhelm climate change signals in streamflow? The upper Po and Rhône basin case studies. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1171–1182	2013
32	Delaloye, Reynald et al.	Blockgletscher und Hangrutschungen in Permafrostgebieten. Projekt "Mattertal" (2009-2013) - Gemeinde St.-Niklaus und Randa. Abschlussbericht 2013 vom 31.01.2014	2014
33	Brang, Peter et al.	Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Synthese der ersten Programmphase 2009 - 2011. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU	2012
34	Bebi, Peter et al.	Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels. Schlussbericht im Rahmen des Forschungsprogramms "Wald und Klimawandel". Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL & Bundesamt für Umwelt BAFU	2012
35	Rigling, Andreas et al.	Wald und Klimawandel in der inneralpinen Trockenregion Visp. In: Schweiz Z Forstwes 163 (2012) 12, pp.481–492	2012
36	Rigling, Andreas et al.	Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. In: Forum für Wissen, pp.23–33	2006
37	Canton du Valais	Un guide pour la forêt valaisanne. Service des forêts et du paysage (Ed.) Accès au document	2014
38	Canton du Valais	Forêts valaisannes et changements climatiques Service des forêts et du paysage (Ed.) Accès au document	2015
39	WSL (Hrsg.)	Schutzwald – Kostengünstig und naturnah: Über 40 Prozent des Schweizer Waldes schützt vor Naturgefahren. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 1 2013, pp. 10-13	2013
40	WSL (Hrsg.)	Klimawandel – Zunehmende Trockenheit hinterlässt Spuren im Walliser Wald. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 2 2013, pp. 16-20	2013
41	WSL-Institut für Schnee-	Forêts de protection et changements climatiques	2015

Le Valais face aux changements climatiques - Effets et options d'adaptation dans les domaines de la gestion des eaux et des dangers naturels (document de synthèse)

	und Lawinenforschung SLF (Hrsg.)	(Consultation: 30.05.2016) Accès au document	
42	Wohlgemuth, Thomas et al.	Leben mit Waldbrand. Merkblatt für die Praxis Nr. 46. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL	2010
43	Oeschger Centre for Climate Change Research OCCR et al. (Hrsg.)	CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland	2014
44	Conseil d'Etat du Canton du Valais	«Stratégie eau» du canton du Valais. Défis, objectifs, lignes directrices et mesures. Rapport final du « comité de pilotage Eau Valais » à l'attention du Conseil d'Etat Accès au document	2013
45	Engesser, Roland et al.	Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. In: Schweiz Z Forstwes 159 (2008) 10, pp.344–351	2008
46	Huber, Robert et al.	Sustainable Land Use in Mountain Regions Under Global Change: Synthesis Across Scales and Disciplines. In: Ecology and Society 18(3): 36	2013
47	Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern AUE	Les changements climatiques : un défi. Grundlagenbericht. Wirkungen, Folgen und Handlungsfelder im Überblick, Schlussbericht vom 21. Dezember 2010 Accès au document	2010
48	Marty, Christoph et al.	Schneegrenze steigt um 500 Meter. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.50-51	2012
49	Fischer, Andreas et al.	CH2011 Extension Series No 2: Climate scenarios of seasonal means: extensions in time and space; in revision.	2015
50	Volken, David	Mesoklimatische Temperaturverteilung im Rhône- und Vispertal, Diss. ETH Zürich Nr. 17705	2008
51	Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU	Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen. Arbeitspapier 3 zur kantonalen Klimastrategie	2015
52	Haeberli, Wilfried et al.	Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne. Rapport d'étude du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 Accès au document	2013
53	Haeberli, Wilfried et al.	Gletscherschwund und neue Seen in den Schweizer Alpen. Perspektiven und Optionen im Bereich Naturgefahren und Wasserkraft. In: Wasser Energie Luft, 104. Jg., Heft 2, pp.93-102	2012
54	Fischer, Mauro et al.	The new Swiss Glacier Inventory SGI2010: Relevance of using high-resolution source data in areas dominated by very small glaciers. In: Arctic, Antarctic and Alpine Research, 46(4), pp.933-945	2014
55	Farinotti, Daniel et al.	Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900–2100. Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.273-278	2011
56	Stoffel, Markus et al.	Effects of climate change on mass movements in mountain environments. In: Progress in Physical Geography 36(3) pp.421–439	2012
57	Beniston, Martin et al. (Hrsg.)	Assessing climate impacts on the quantity and quality of water. The EU/FP7 ACQWA Project Science and Policy Brief. University of Geneva	2013
58	Stoffel, Markus et al.	Possible impacts of climate change on debris-flow activity in the Swiss Alps. In: Climatic Change (2014) 122, pp.141–155	2014
59	Gobiet, Andreas et al.	21st century climate change in the European Alps – A review. In: Sci Total Environ 493 (2014), pp.1138–1151	2014
60	Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.)	Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Uri	2015
61	AG NAGEF	Klimawandel und Naturgefahren – Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen. Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern, Amt für Wald (KAWA)	2015
62	Geotest AG / econcept AG	Strategien zur Geschiebemanagement im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Schlussbericht im Rahmen des Pilotprogramms "Anpassung an den Klimawandel" des BAFU	2015

Sources utilisées (par ordre alphabétique)

- AG NAGEF (2015): Klimawandel und Naturgefahren – Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen. Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern, Amt für Wald (KAWA)
- Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern AUE (2010): Les changements climatiques: un défi. Grundlagenbericht. Wirkungen, Folgen und Handlungsfelder im Überblick, Schlussbericht vom 21. Dezember 2010. Wirkungen, Folgen und Handlungsfelder im Überblick, Schlussbericht vom 21. Dezember 2010 [Accès au document](#)
- Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU (2015): Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen. Arbeitspapier 3 zur kantonalen Klimastrategie
- Andres, Norina et al. (2014): Schäden durch Geschiebetransportprozesse in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 106. Jg., Heft 3, pp.210-214
- Bebi, Peter et al. (2012): Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels. Schlussbericht im Rahmen des Forschungsprogramms "Wald und Klimawandel". Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL & Bundesamt für Umwelt BAFU
- Beniston, Martin et al. (2011): Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: Can current water governance cope with future challenges? In: Environ Sci Pol, Vol. 14, pp.734–743
- Beniston, Martin et al. (2013): Assessing the impacts of climatic change on mountain water resources. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1129–1137
- Beniston, Martin et al. (Hrsg.) (2013): Assessing climate impacts on the quantity and quality of water. The EU/FP7 ACQWA Project Science and Policy Brief. University of Geneva
- Björnsen Gurung, Astrid et al. (2014): Ressources en eau de la Suisse: ressources disponibles et utilisation – aujourd’hui et demain. Synthèse thématique 1 dans le cadre du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 "Gestion durable de l'eau en Suisse" [Accès au document](#)
- Bosshard, Thomas et al. (2011): Lokale Klimaszenarien für die Klimaimpaktforschung in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.267-272
- Brang, Peter et al. (2011): Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Synthese der ersten Programmphase 2009 - 2011. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL & Bundesamt für Umwelt BAFU
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2015): Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Uri
- Canton du Valais - Programme Opérationnel de Coopération Transfrontalière Italie-Suisse 2007-2013 INTERREG (2014): Projet STRADA – Stratégie d’adaptation aux changements climatiques pour la gestion des risques naturels. Action 3.2 : Gestion et monitoring des sources de montagne, Rapport final
- Canton du Valais (2014): Un guide pour la forêt valaisanne. Service des forêts et du paysage (Ed.) [Accès au document](#)
- Canton du Valais (2015): Forêts valaisannes et changements climatiques Service des forêts et du paysage (Ed.) [Accès au document](#)
- Conseil d'Etat du Canton du Valais (2013): «Stratégie eau» du canton du Valais. Défis, objectifs, lignes directrices et mesures. Rapport final du « comité de pilotage Eau Valais » à l’attention du Conseil d’Etat. [Accès au document](#)
- Christe, Pierre et al. (2013): Global warming in the Alps: vulnerability and climatic dependency of alpine springs in Regione Valle d'Aosta (Italy) and Canton Valais (Switzerland). In: European Geologist 05/2013; EGM(35), pp.64–69
- Christe, Pierre (2015): Plate-forme hydrogéologique cantonale STRATES-VS : Saisie, Traitement, Référencement et Accès aux informations relatives à la Terre et aux Eaux Souterraines en Valais (Rapport technique SPE/DTEE)
- Delaloye, Reynald et al. (2014): Blockgletscher und Hangrutschungen in Permafrostgebieten. Projekt "Mattertal" (2009-2013) - Gemeinde St.-Niklaus und Randa. Abschlussbericht 2013 vom 31.01.2014
- concept AG (2011): Anpassung an die Klimaänderung im Berggebiet. Fallstudie Saastal. Schlussbericht

Le Valais face aux changements climatiques - Effets et options d'adaptation dans les domaines de la gestion des eaux et des dangers naturels (document de synthèse)

- Engesser, Roland et al. (2008): Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. In: Schweiz Z Forstwes 159 (2008) 10, pp.344–351
- European Environment Agency EEA (2009): Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. EEA Report No 8/2009
- Farinotti, Daniel et al. (2011): Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900–2100. Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.273-278
- Fatichi, Simone et al. (2013): Does internal climate variability overwhelm climate change signals in streamflow? The upper Po and Rhône basin case studies. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1171–1182
- Fischer, Andreas et al. (2015): CH2011 Extension Series No 2: Climate scenarios of seasonal means: extensions in time and space; in revision
- Fischer, Mauro et al. (2014): Surface elevation and mass changes of all Swiss glaciers 1980–2010. In: The Cryosphere Discuss., 8, pp.4581-4617
- Fischer, Mauro et al. (2014): The new Swiss Glacier Inventory SGI2010: Relevance of using high-resolution source data in areas dominated by very small glaciers. In: Arctic, Antarctic and Alpine Research, 46(4), pp.933-945
- Geotest AG / econcept AG (2015): Strategien zur Geschiebebewirtschaftung im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Schlussbericht im Rahmen des Pilotprogramms "Anpassung an den Klimawandel" des BAFU
- Gobiet, Andreas et al. (2014): 21st century climate change in the European Alps – A review. In: Sci Total Environ 493 (2014), pp.1138–1151
- Haerberli, Wilfried et al. (2012): Gletscherschwund und neue Seen in den Schweizer Alpen. Perspektiven und Optionen im Bereich Naturgefahren und Wasserkraft. In: Wasser Energie Luft, 104. Jg., Heft 2, pp.93-102
- Haerberli, Wilfried et al. (2013): Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne. Rapport d'étude du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 [Accès au document](#)
- Hill Clarvis, Margot et al. (2013): Governing and managing water resources under changing hydro-climatic contexts: The case of the upper Rhône basin. In: Environ Sci Pol, Vol. 43, pp.56–67
- Huber, Robert et al. (2013): Sustainable Land Use in Mountain Regions Under Global Change: Synthesis Across Scales and Disciplines. In: Ecology and Society 18(3), p.36
- IDEALP Ing. Sàrl et al. (n.dat.): Gewässersanierung Kanton Wallis. Präsentation für die Gemeinden. Einzugsgebiet Vispa und Anniviers. <http://slideplayer.org/slide/914584/> (Zugriff: 30.05.2016)
- Kotlarski, Sven (2012): Wärmer und weniger Schneefall. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.48–49
- Lanz, Klaus et al. (2014): La gestion des ressources en eau face à la pression accrue de leur utilisation. Synthèse thématique2 dans le cadre du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 "Gestion durable de l'eau en Suisse" [Accès au document](#)
- Marty, Christoph et al. (2012): Schneegrenze steigt um 500 Meter. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.50–51
- MétéoSuisse (2013): Scénarios climatiques Suisse – un aperçu régional, Rapport technique Nr. 243 [Accès au document](#)
- MeteoSchweiz (2015): Daten saisonale Temperaturmittel und Niederschlagssummen. Internes Datenfile im Rahmen des Pilotprogramms 'Anpassung an den Klimawandel' (in Ergänzung zum MeteoSchweiz-Fachbericht Nr. 243)
- MétéoSuisse (2015): Normes climatologiques (Consultation: 30.05.2016). [Accès au document](#)
- MétéoSuisse (2015): Indicateurs de climat (Consultation: 30.05.2016). [Accès au document](#)
- Oeschger Centre for Climate Change Research OCCR et al. (Hrsg.) (2014): CH2014-Impacts. Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland
- Office fédéral de l'environnement (Ed.) (2012): Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet «Changement climatique et hydrologie en Suisse» (CCHydro). OFEV-Série Connaissance de l'environnement Nr. 1217 [Accès au document](#)

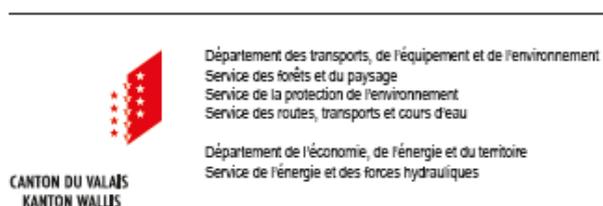
Le Valais face aux changements climatiques - Effets et options d'adaptation dans les domaines de la gestion des eaux et des dangers naturels (document de synthèse)

- Raymond Pralong, Mélanie et al. (2011): Klimaänderung und Wasserkraft. Auswirkung der Klimaänderung auf die Geschiebefracht – Sektorielle Studie Wallis. Projekt Klimaänderung und Wasserkraftnutzung, Modul D
- Raymond Pralong, Mélanie et al. (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Geschiebefracht in Einzugsgebieten von Kraftwerksanlagen im Kanton Wallis. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.278–285
- Reynard, Emmanuel et al. (2014): Projet MontanAqua. Les principaux résultats – où comment communiquer avec les acteurs locaux. In: Aqua & Gas No11/2014, pp.50–57
- Rigling, Andreas et al (2006): Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. In: Forum für Wissen, pp.23–33
- Rigling, Andreas et al. (2012): Wald und Klimawandel in der inneralpinen Trockenregion Visp. In: Schweiz Z Forstwes 163 (2012) 12, pp.481–492
- Schnyder, Benedikt (2013): Zum Überwachungs-/Beobachtungskonzept gefährlicher Gletscher im Wallis. Teilbeitrag. Berichterstattung nach dem achten Beobachtungsjahr 2013
- SGHL und CHy (Hrsg.) (2011): Les effets du changement climatique sur l'utilisation de la force hydraulique. Rapport de synthèse. Matériaux pour l'Hydrologie de la Suisse, Nr. 38 [Accès au document](#)
- Stoffel, Markus et al. (2012): Effects of climate change on mass movements in mountain environments. In: Progress in Physical Geography 36(3) pp.421–439
- Stoffel, Markus et al. (2014): Possible impacts of climate change on debris-flow activity in the Swiss Alps. In: Climatic Change (2014) 122, pp.141–155
- VAW (ETHZ) (2011): VAW Gletscher- und Abflussveränderungen im Zeitraum 1900-2100 in sieben Einzugsgebieten der Schweiz. VAW-Teilprojekt von CCHydro. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU (unveröffentlicht)
- VAW (ETHZ) (2011): Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900-2100 – Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. Fachbericht. Im Auftrag von Kanton Wallis (Dienststelle für Energie und Wasserkraft) und Forces Motrices Valaisannes FMV SA
- VAW (ETHZ) (2014): Gletscher- und Abflussentwicklung im südöstlichen Einzugsgebiet des Kraftwerks Emosson 1933-2100. Im Auftrag der Electricité d'Emosson SA (unveröffentlicht)
- VAW (ETHZ) (2015): Naturgefahren Gletscher. Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz. <http://glaciology.ethz.ch/inventar/inventar.html> (Zugriff: 30.05.2016)
- Volken, David (2008): Mesoklimatische Temperaturverteilung im Rhône- und Vispental, Diss. ETH Zürich Nr. 17705
- Weingartner, Rolf et al. (2014): MontanAqua: anticiper le stress hydrique dans les Alpes – Scénarios de gestion de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Valais). Rapport d'étude du Fonds national suisse de la recherche scientifique PRN 61 [Accès au document](#)
- Wohlgemuth, Thomas et al. (2010): Leben mit Waldbrand. Merkblatt für die Praxis Nr. 46. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
- WSL (Hrsg.) (2013): Schutzwald – Kostengünstig und naturnah: Über 40 Prozent des Schweizer Waldes schützt vor Naturgefahren. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 1 2013, pp.10–13
- WSL (Hrsg.) (2013): Klimawandel – Zunehmende Trockenheit hinterlässt Spuren im Walliser Wald. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 2 2013, pp.16–20
- WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (Hrsg.) (2015): Forêts de protection et changements climatiques (Consultation: 30.05.2016) [Accès au document](#)

Abréviations

CH2011	Scénarios du changement climatique en Suisse, publiés en 2011, basés sur les rapports et scénarios du GIEC.
ENSEMBLES	Projet de l'UE qui a élaboré des simulations climatiques pour l'Europe pour la période 2004-2009 en se basant sur les travaux du GIEC.
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
MétéoSuisse	Office fédéral de météorologie et de climatologie, Zurich-Aéroport
OFEV	Office fédéral de l'environnement, Berne-Ittigen
SEFH	Service de l'énergie et des forces hydrauliques, canton du Valais
SFP	Service des forêts et du paysage, canton du Valais
SPE	Service de la protection de l'environnement, canton du Valais
SRES A1B	<p>Scénario qui a été développé pour le rapport spécial du GIEC <i>Special Report on Emissions Scenarios (2000)</i> et qui a été utilisé dans les 3^{ème} et 4^{ème} rapports d'évaluation du GIEC. Les scénarios SRES décrivent l'évolution et les conséquences sur le climat des émissions globales de gaz à effet de serre, indépendamment de mesures climatiques politiques coordonnées.</p> <p>Les scénarios A1 sont basés sur un monde caractérisé par une croissance économique très marquée, une évolution démographique mondiale culminant vers le milieu du 21^{ème} siècle, puis décroissante ainsi que sur la mise en œuvre rapide de nouvelles technologies plus efficaces. Le scénario A1B représente la variante caractérisée par une utilisation équilibrée des différentes sources d'énergie (fossile, nucléaire, renouvelable).</p>
SRTCE	Service des routes, transports et cours d'eau, canton du Valais
VAW ETH	Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'École polytechnique fédérale de Zurich
WSL	Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

Le Valais face aux changements climatiques - Effets et options d'adaptation dans les domaines de la gestion des eaux et des dangers naturels (document de synthèse)



Projet mis en oeuvre dans le cadre du programme pilote Adaptation aux changements climatiques, soutenu par l'Office fédéral de l'environnement OFEV. Seuls les auteurs du rapport portent la responsabilité de son contenu.

