

Répercussions des changements climatiques sur la protection contre les crues en Suisse

Prise de position de la Commission pour la Protection contre les Crues de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux (KOHS)

■ KOHS

En bref

L'influence des changements climatiques sur les événements de crues ne peut être pronostiquée aujourd'hui que sous forme de tendance. Les experts tablent sur une augmentation du nombre de crues et sur une intensification des valeurs extrêmes. Les principes actuels qui régissent la protection contre les crues restent pertinents face aux effets attendus des changements climatiques. Ils gardent ainsi toute leur validité et il faut en poursuivre la mise en œuvre rationnelle.

Pour être du côté de la sécurité, les grandeurs de dimensionnement (débit, volume d'eau, charriage) doivent être choisies vers le haut de la fourchette des valeurs possibles.

La fonction protectrice des installations existantes et le potentiel de dommages devront être réévalués périodiquement; des adaptations seront prévues le cas échéant.

Le comportement du système de protection sera vérifié dans les cas de surcharge, tant pour les nouveaux projets qu'à l'occasion de contrôles d'ouvrages existants.

Les décideurs et les acteurs concernés doivent être rendus attentifs à la nécessité d'entreprendre des actions.

Les moyens nécessaires devront être mis à disposition.

1. Introduction

La KOHS est la commission technique traitant des questions de protection contre les crues au sein de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux. Elle réunit des spécialistes de la Confédération, des Cantons, des Hautes Ecoles et de la pratique.

Par ce document de base, la KOHS prend position sur une question d'actualité: «Changements climatiques et protection contre les crues».

La KOHS y présente comment les changements climatiques doivent être pris en compte dans la protection contre les crues; elle montre les mesures qu'il convient de prendre dorénavant dans les projets de protection contre les crues.

Ce document de base récapitule les connaissances actuelles sur les changements climatiques et leurs effets sur les relations pluie-débit et en déduit des recommandations pour la pratique. Il a été élaboré dans le cadre d'un atelier de la KOHS tenu mi-novembre 2006, auquel ont participé une quinzaine de spécialistes œuvrant dans les secteurs de la météorologie, de l'hydrologie, des ouvrages hydrauliques et de la protection contre les crues. Les trois dernières décennies ont

été marquées par un nombre important d'événements de crues ayant causé des dommages considérables. Cette même période a connu par ailleurs une forte croissance de la densité d'urbanisation et de la concentration de biens matériels le long des cours d'eau.

Les dégâts de crues sont dus aux inondations, à l'érosion, aux dépôts sédimentaires, aux laves torrentielles et à l'obstruction de rétrécissements (par ex. ponts et passages sous route) par des bois flottants. Lors de l'élaboration de projets de protection contre les crues, il importe de savoir comment les changements climatiques agissent sur ces processus.

Il convient de déterminer si les principes régissant la protection contre les crues sont suffisants face aux changements climatiques, ou si des adaptations sont requises.

2. Principes régissant la protection contre les crues

La protection contre les crues repose sur le principe de la durabilité. Son but est de protéger la vie humaine, de maintenir les conditions naturelles d'existence et de protéger les biens importants à un coût

économiquement acceptable. La gestion des crues doit répondre aux questions suivantes:

- Que peut-il se passer?
- Que peut-on tolérer?
- Comment pouvons-nous nous protéger?
- Comment minimiser les risques résiduels?

2.1 Que peut-il se passer?

L'évaluation de la menace est basée entre autres sur la documentation et l'analyse d'événements passés. La carte des dangers décrit les surfaces menacées par les dangers naturels ainsi que l'ampleur des menaces possibles. Elle sert de base à des analyses plus approfondies des risques.

2.2 Que peut-on tolérer?

Le risque acceptable est évalué en tenant compte des aspects sociopolitiques, écologiques et économiques.

2.3 Comment pouvons-nous nous protéger?

La gestion des dangers naturels exige une gestion intégrale des risques; pour ce faire, on s'appuie sur une vaste palette de mesures, parmi lesquelles on compte: les mesures d'aménagement du territoire visant à éloigner les zones d'activités des périmètres menacés, l'entretien approprié des cours d'eau, les mesures de protection structurales, l'alerte et l'évacuation, ainsi que la couverture des dégâts par des assurances.

La planification des mesures de protection a pour objectif de maîtriser sans dommage un événement bien défini: l'événement de dimensionnement, par exemple un débit de crue. La détermination de telles grandeurs de dimensionnement s'appuie entre autres sur le traitement statistique d'observations. Un des problèmes essentiels est que les séries de mesures disponibles sont souvent courtes, ce qui rend difficile l'estimation des événements

extrêmes. Les crues sont toujours accompagnées d'érosions, de charriage et de bois flottants. Ces processus se conjuguent, souvent aléatoirement, dans différentes combinaisons. De plus, les conditions antécédentes jouent également un rôle prépondérant. La saturation du sol par exemple, par les pluies antécédentes qui précèdent l'événement, joue ainsi un rôle important sur la formation des crues. Cette variabilité des processus naturels ne peut être prise en compte que dans une mesure limitée lors de l'élaboration des mesures. C'est pourquoi la planification repose sur un choix représentatif de combinaisons de processus – appelées scénarios.

2.4 Comment minimiser les risques résiduels?

Une protection totale contre les crues n'est pas possible. Des événements rares mais violents surchargent les systèmes de protection préventifs et structuraux, fixés pour un objectif de protection défini. Les risques résiduels qui en découlent doivent être identifiés, puis minimisés par des dispositifs appropriés. L'alerte et l'évacuation, les protections d'objets spécifiques ainsi que la couverture des dommages par des

assurances sont des éléments essentiels de la gestion des risques résiduels.

Les mesures structurales de protection contre les crues doivent être robustes et résister aux surcharges, de manière à ce qu'elles ne se rompent pas brusquement et que les dommages consécutifs n'augmentent pas brutalement. Le comportement en cas de surcharge importante doit être évalué dans le cadre de l'élaboration du projet. La délimitation des périmètres concernés en cas de surcharge constitue la base de l'évaluation des risques résiduels.

3. Changements climatiques et crues extrêmes: bases et faits

Les assertions relatives aux effets possibles des changements climatiques sur l'hydrologie en Suisse dans les 50 prochaines années, et tout spécialement sur l'évolution des crues, procèdent d'estimations établies par des experts s'appuyant sur l'état des connaissances actuelles. Une présentation détaillée de ces estimations est annexée à ce document.

3.1 Régime d'écoulement

Les volumes des précipitations annuelles diminuent d'environ 7%. Le semestre d'été verra les précipitations diminuer, alors que la tendance en hiver irait vers une pluviométrie accrue. L'évaporation étant en outre plus élevée, le volume d'écoulement annuel moyen devrait diminuer d'environ 10%. La fonte des neiges débute plus tôt et la limite de la neige devrait être plus élevée; les précipitations sous forme neigeuse seraient moindres dans les zones de moyenne et basse altitude. Les basses eaux en été et en automne seront plus marquées.

3.2 Crues

Régions inférieures à 1500 m d'altitude: En hiver, du fait d'une saturation plus importante des sols (en raison de l'augmentation des précipitations) et de l'accroissement de l'intensité des précipitations, il faut s'attendre à des pointes de crue plus élevées. Sur le Plateau suisse et malgré le réchauffement, il faut en outre s'attendre occasionnellement à la présence d'une couverture neigeuse et à l'apparition d'événements combinant fonte de neige et pluie. L'influence des événements de fonte augmente avec l'altitude des bassins versants; ils peuvent se produire jusqu'au printemps. Dans cette gamme d'altitudes, les crues exceptionnelles se manifestent aujourd'hui déjà en hiver ou au printemps: leurs débits de pointe seront plus élevés.

En été, les crues vont s'affaiblir – particulièrement dans les basses altitudes – la prédisposition à l'écoulement des sols étant notablement réduite au vu des précipitations moindres et de l'évaporation plus élevée. Il n'en reste pas moins qu'en été, il faut toujours s'attendre à des orages (fortes précipitations convectives) qui peuvent provoquer des crues, principalement dans les petits bassins versants.

Régions alpines et nord alpines au-dessus de 1500 m d'altitude: Les écoulements augmentent quelque peu en hiver en raison de chutes de pluie occasionnelles. Au printemps il y a de faibles crues de fonte de neige dont les pointes seront toutefois plus importantes qu'aujourd'hui. Les crues exceptionnelles vont se manifester comme aujourd'hui en été et ne devraient pas être plus importantes selon toute vraisemblance. A l'automne, guère de changements. Les régions centre alpines (Valais, Engadine) qui subissent les pluies débordant du Sud ont un comportement analogue à celui des régions du Sud des Alpes.

Régions du Sud des Alpes: Dans le Sud des



Figure 1. La Töss en crue.



Figure 2. Les pompiers de Lufingen en intervention.



Figure 3. Crue de 1878 à Zurich (Seefeldstrasse).

Alpes, aucune différenciation en fonction de l'altitude n'est possible. En hiver et au printemps, les crues vont augmenter en raison des volumes et des intensités de précipitations plus importants. En été, la diminution des volumes précipités conduira à des débits de pointe plus faibles. L'automne reste la saison privilégiée pour les crues annuelles, avec des pointes vraisemblablement supérieures.

3.3 Transport de sédiments

Le volume de matières solides mobilisables par l'érosion augmente notablement dans les Alpes en haute altitude. Les causes en sont le recul des glaciers et le dégel du permafrost dans les régions situées environ entre 2300 et 2800 m d'altitude. Le transport de sédiments augmentera également en raison de précipitations qui se produiront plus sous forme de pluie que de neige, avec des intensités plus importantes.

3.4 Glissement de terrain

Dans les Préalpes, le volume et l'intensité des précipitations sous forme de pluie augmentent et l'étendue de la couverture neigeuse diminue. De ce fait, le sol dans les Préalpes peut être saturé sur une longue durée en hiver et au printemps. Les précipitations plus intenses augmentent le risque de glissements de terrain et de laves torrentielles. En conséquence, la charge sédimentaire dans les cours d'eau augmente.

4. Evaluation de la stratégie actuelle de protection contre les crues face aux répercussions des changements climatiques

Compte tenu de l'appréciation ci-dessus on peut admettre qu'en Suisse la fréquence et l'ampleur des crues se modifient, avec d'importantes différences régionales et saisonnières. Très généralement, une augmentation des volumes et des pointes de crues est à craindre surtout dans le semestre d'hiver. Le transport de sédiments va globalement augmenter. Les débits de crues saisonnièrement accrus et d'importantes charges en sédiments exigent des sections d'écoulement appropriées et la mise à disposition de zones de dépôts des sédiments. On peut en conclure que nos cours d'eau vont nécessiter plus d'espace qu'aujourd'hui.

Cependant, on manque actuellement en Suisse de bases fiables permettant de définir les conséquences des changements climatiques sur l'estimation des grandeurs de dimensionnement pour les mesures de protection contre les crues.

Bien qu'ils n'aient pas été ciblés sur les changements climatiques, les principes régissant actuellement la protection contre

les crues présentent cependant une grande flexibilité. Ceux-ci permettent d'anticiper les changements grâce à la prise en compte de scénarios appropriés. Sur la base de cette démarche pour le moment encore qualitative, la prise en considération de scénarios de surcharge – qui dépassent considérablement l'événement de dimensionnement – revêt une grande importance.

Les principes fédéraux et cantonaux mentionnés permettent une certaine anticipation, mais ne sont que peu mis en pratique. Les crues d'août 2005 ont toutefois montré que des dommages bien plus importants encore ont pu être évités là où des projets avaient été réalisés selon les principes d'une protection moderne contre les crues.

Les besoins en protection contre les crues sont toutefois très importants, car nombre de mesures de protection existantes ne satisfont plus aux exigences. Il s'avère souvent qu'elles ne supportent pas de surcharge et que leur adaptation à l'augmentation du risque de crues dévastatrices n'est possible qu'à grand prix. D'autres déficits vont en outre apparaître avec les cartes des dangers qui ne sont pas encore établies.

La protection contre les crues est une tâche de longue haleine, la mise en place de la stratégie actuelle de protection contre les crues a besoin de temps et de ressources.

5. Recommandations de la KOHS

Une protection durable contre les crues exige une réalisation bien pensée de la gestion intégrale des risques.

- La planification des mesures doit tenir compte de la répercussion des changements climatiques par des scénarios appropriés.
- L'espace nécessaire aux cours d'eau pour le passage des événements extrêmes doit être établi sur la base des scénarios les plus défavorables; cet espace doit être réservé.
- La conception des mesures de protection structurales doit permettre des adaptations futures à un coût acceptable. Ces mesures structurales doivent être robustes et résister aux surcharges.
- La prise en compte des cas de surcharge dans la planification et la réalisation des mesures de protection gagne en importance avec les changements climatiques.
- Les risques résiduels ne sont pas tous évitables, mais on peut cependant en minimiser les conséquences par des mesures complémentaires (protections d'objets) et des dispositifs organisationnels (planifications et concepts d'urgence).

Comblant les lacunes présentes dans nos connaissances revêt une importance cruciale: des bases solides constituent le fondement d'une gestion adéquate des risques naturels.

- La quantification des répercussions des scénarios climatiques actuels sur l'hydrologie exige des modèles à haute résolution temporelle et spatiale du régime des eaux. Ceci implique une densification conséquente des réseaux de mesures hydrologiques.
- L'étude des mesures basée sur des scénarios exige une connaissance approfondie tant des processus naturels que du fonctionnement des dispositifs prévus. L'analyse détaillée des événements contribue à l'augmentation des connaissances et à la réduction des incertitudes.

L'opinion publique doit être mieux sensibilisée, ce qui implique le transfert des connaissances dans le domaine des dangers inhérents aux crues, afin que chacun prenne conscience de sa responsabilité individuelle.

- Des mesures constructives simples sur les bâtiments et les installations permettent de diminuer les dommages résultant d'événements extrêmes. Les connaissances nécessaires doivent être dispensées aux maîtres d'ouvrage, architectes et planificateurs par des publications et dans le cadre de la formation.
- L'implication des assurances immobilières dans la promotion de la responsabilité personnelle par une information adaptée et le calcul adéquat des primes revêt également une grande importance.

Les ressources disponibles pour la protection contre les crues sont limitées. Toutes les mesures déjà requises aujourd'hui ne peuvent être réalisées simultanément. Là où des projets de protection contre les crues doivent être mis en attente, des mesures issues d'autres secteurs de la gestion intégrale des risques peuvent avantageusement prendre le relais pour assurer une réduction appréciable des risques, notamment: la réservation d'espaces, la protection d'objets ou encore la planification d'urgence.

6. Conclusion

La lutte immédiate et durable contre les causes des changements climatiques est une priorité de notre société. En tout état de cause, les mesures de protection contre les crues ne s'attaquent qu'aux divers symptômes des changements climatiques, et non à leur source.

1. Climat et fortes précipitations

1.1 Bases

Les scénarios décrits ci-après s'appuient sur des simulations étendues des modèles climatiques globaux et régionaux dans les projets de recherche de l'Union Européenne (PRUDENCE: Christensen et al., 2007; STARDEX: Goodess, 2003), et leur évaluation spécifique pour l'arc alpin (Frei, 2006, Frei et al., 2006, Schmidli et al., 2007). Les scénarios expriment l'état actuel des connaissances (début 2007). La prise en compte de diverses estimations des futures émissions de gaz à effet de serre permet une description quantitative des incertitudes en jeu. Les scénarios décrivent les changements attendus jusqu'au milieu du 21^e siècle (2050) par rapport à la fin du 20^e siècle (1990).

1.2 Evolution moyenne du climat

Température: On table actuellement pour la Suisse sur une augmentation de température de 1 à 3,5 °C. Cet accroissement dépend peu des saisons et les différences régionales du réchauffement sont inférieures à la fourchette d'incertitude. (Fig. 1).

Limite de la neige et du permafrost: Le réchauffement induit un déplacement de la structure verticale des températures at-

mosphériques. On s'attend ainsi à ce que la limite moyenne de la neige et du permafrost s'élève de 150 à 600 m.

Précipitations: Contrairement à la température, la variation annuelle moyenne de la pluviométrie se modifie considérablement avec des hausses de 0–20% en hiver (décembre – février) et des baisses de 5–30% en été (juin – août). Au printemps et en automne les variations se situent entre ces valeurs. Une évolution vers des étés plus secs représente la caractéristique principale des variations de volumes annuels précipités, dont on estime la diminution à 5–10% (Fig. 1).

1.3 Evolution des fortes précipitations

L'analyse des simulations climatiques permet une quantification grossière des valeurs de précipitations extrêmes pour des temps de retour compris entre 5 et 50 ans. Seules de petites différences se présentent pour les extrêmes d'une durée comprise entre 1 et 5 jours. Les changements saisonniers et régionaux sont décrits ci-dessous:

Automne, hiver, printemps: En automne, on table sur une croissance des valeurs extrêmes allant jusqu'à 10% au Nord des Alpes et jusqu'à 20% au Sud des Alpes. En hiver et au printemps, l'augmentation se

situe pour les deux côtés des Alpes entre 0 et 20%. Dans le cas le plus défavorable, un événement aujourd'hui centennal peut à l'avenir devenir vingtenal (Frei et al. 2006). En hiver et au printemps on s'attend à une augmentation des volumes de précipitations en raison de la combinaison de pics plus élevés et de durées allongées des événements.

Eté: Pour l'été, l'importante variabilité des résultats ainsi que la confiance limitée dans les modèles de simulation ne permettent pas de se prononcer valablement. Tout au plus peut-on déceler des tendances à la hausse sur le versant nord alpin et à la baisse sur le versant sud alpin.

1.4 Comparaison avec les variations observées

Les scénarios décrits pour l'avenir sont qualitativement cohérents et reflètent bien les changements climatiques observés durant le 20^e siècle sur l'arc alpin, à savoir la croissance de la température moyenne, les précipitations hivernales et la fréquence des précipitations intenses.

2. Hydrologie

2.1 Bases

Les assertions relatives aux répercussions hydrologiques, s'agissant en particulier de l'évolution des crues reposent sur des évaluations qualitatives, seules autorisées en l'état actuel des connaissances. Il s'agira de les quantifier à l'avenir.

Les estimations ci-dessous expriment une évolution moyenne. En l'absence d'informations essentielles, les cas extrêmes ne peuvent pas être cernés actuellement. Entrent en jeu le futur déroulement des précipitations, que ce soit pour des événements isolés ou des longues périodes, l'évolution des pluies précédant un événement majeur, la teneur en eau du sol, les niveaux des eaux souterraines, l'évolution de la couverture neigeuse (constitution, fonte) ainsi que la combinaison de ces éléments (OFEG, 2000; et Fig. 2). A lui seul, un accroissement des intensités des précipitations ne conduit pas forcément à des débits exceptionnels (OFEG,

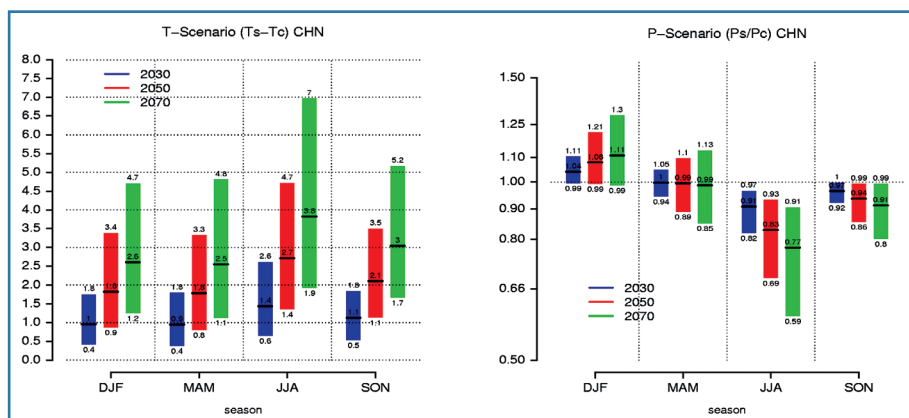


Figure 1. Variation de la température moyenne (à gauche, en degrés) et des précipitations moyennes (à droite, relation avenir/présent) dans les quatre saisons pour le Nord de la Suisse. Les barres montrent les incertitudes et les lignes la meilleure estimation du changement dans le cas concerné. Les changements sont présentés pour les périodes 2020–2040 (bleu), 2040–2060 (rouge), 2060–2080 (vert) par rapport à 1980–2000. (Frei, 2006).

2000). Il convient de préciser enfin que les processus complexes se déroulant dans les bassins versants, à l'exemple de l'influence et la gestion des lacs sont difficiles à quantifier.

2.2 Evolution moyenne des débits

Régimes d'écoulement: Les régimes varient de 1–2 classes vers les modes nival et pluvial. Les simulations de Horton et al. (2006) étayent cette assertion. La fonte des neiges débute plus tôt et son importance diminue dans les zones de moyenne et basse altitude. Les étiages en été et en automne deviennent plus marqués.

Volumes d'écoulement: Les volumes des précipitations annuelles diminuent d'environ 5 à 10%. Comme en outre l'évaporation s'élève, le volume d'écoulement annuel devrait se réduire de 7 à 12%. Les apports d'eau de fonte des glaciers, qui participent pour moins de 1% à l'écoulement dans les grandes rivières sont comparativement faibles et ne peuvent compenser la diminution attendue, même temporairement.

2.3 Evolution des crues

Les hypothèses sur l'évolution des débits des crues sont à distinguer selon les saisons, les régions et selon la taille des bassins versants.

Crues dans les régions nord alpines en dessous de 1500 m d'altitude: En hiver, du fait des teneurs en eau accrues dans le sol et d'apports de précipitations plus élevés, il faut s'attendre à des pointes de crues plus grandes. Malgré le réchauffement, des couvertures neigeuses peuvent encore être présentes dans le Plateau et des événements combinés de fonte/pluie sont ainsi toujours possibles (par ex. OFEG, 2000). L'influence des événements de fonte augmente comme à présent avec l'altitude des bassins versants dans la gamme d'altitude considérée. Dans ces régions, des crues exceptionnelles se manifestent d'ores et déjà en hiver ou au

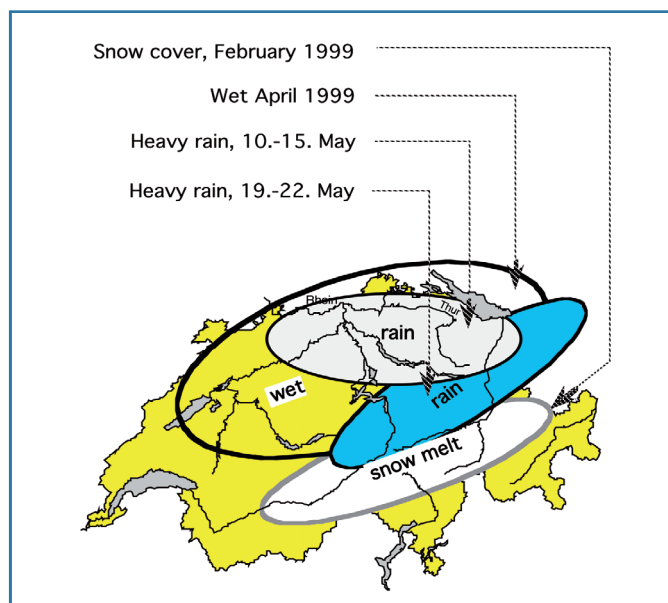


Figure 2. Schéma de la distribution spatio-temporelle des apports des débits dans la période des crues en mai et juin 1999. Grande ellipse: régions d'inondations (Grebner et Gurtz, 2003).

printemps. Elles peuvent encore à l'avenir avoir lieu jusqu'au printemps, mais seront plus importantes en raison du climat.

En été, les crues vont s'affaiblir – particulièrement dans les basses altitudes – la prédisposition à l'écoulement des sols étant notablement réduite en raison de précipitations moindres et d'une évaporation plus élevée. Il n'en reste pas moins qu'en été il faut toujours s'attendre à des fortes précipitations convectives, qui peuvent induire des crues principalement dans les petits bassins versants.

Crues dans les régions nord alpines et centre alpines au-dessus de 1500 m d'altitude: Les régimes dans les Alpes passent du caractère glacial au caractère nival. En hiver les débits augmentent quelque peu à la faveur de chutes de pluies occasionnelles. Mais il n'en résulte pas pour autant de réelles crues. Au printemps de petites crues de fonte sont possibles, les pointes en seront plus grandes qu'aujourd'hui. Les crues annuelles vont se manifester comme aujourd'hui en été et probablement ne pas être plus importantes. En automne il n'y aura guère de changements. Enfin, il convient de noter que les régions centre alpines qui subissent des précipitations débordant du

Sud ont un comportement analogue à celui des régions du Sud des Alpes.

Versant sud des Alpes: aucune différenciation en fonction de l'altitude n'est possible. En hiver et au printemps, la forte croissance des précipitations provoquera une augmentation des crues. En été, les précipitations en baisse impliquent des débits de pointe plus faibles. L'automne reste la saison privilégiée pour les crues annuelles; les précipitations plus élevées font craindre une augmentation des crues.

Transport de sédiments: Le recul des glaciers et le dégel du permafrost induit un potentiel sédimentaire notablement plus important dans les régions situées entre 2300 et 2800 m d'altitude environ. Des précipitations liquides plus intenses accroissent encore le potentiel de transport de sédiments.

Glissements de terrain: Dans les Préalpes, les futures conditions hydrométéorologiques susmentionnées (précipitations, couverture neigeuse, évaporation) impliquent en hiver et au printemps des sols saturés d'eau sur de longues périodes. On peut en déduire un risque accru de glissements de terrain et donc de transports sédimentaires.

Kommissionsmitglieder und Klima-Experten, die am Workshop vom 12.–14. November 2006 teilgenommen respektive an diesem Dokument mitgearbeitet haben:

Membres de la commission et experts en climat qui ont participé à l'atelier du 12 au 14 novembre 2006 ou qui ont collaboré à ce document:

Membri della commissione e esperti per fenomeni climatici, che hanno partecipato al workshop del 12–14 novembre 2006, rispettivamente che hanno collaborato alla redazione di questo documento:

Members of the Commission and climate experts who participated in the workshop from November 12 to 14, 2006 and/or who contributed to this document:

Prof. Dr. Anton Schleiss, Präsident der Kommission, Laboratoire de constructions hydrauliques ETH Lausanne.

Prof. Dr. Walter Meier, a. Direktor Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik in Tänikon (Moderation Workshop).

Dr. Gian Reto Bezzola, BAFU Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention (Redaktionsteam).

Dr. Dominique Bérod, Service des routes et des cours d'eau, Kanton Wallis.

Andri Bischoff, Tiefbauamt des Kantons Graubünden, Chef Abteilung Wasserbau.

Laurent Filippini, Ufficio dei corsi d'acqua, Cantone Ticino.

Dr. Christoph Frei, MeteoSchweiz, Zürich.

Christian Göldi, vorm. Abteilung Wasserbau Kanton Zürich (Redaktionsteam).

Dr. Dietmar Grebner, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich (Redaktionsteam).

Urs Gunzenreiner, Tiefbauamt des Kantons St. Gallen, Abteilung Gewässer, St. Gallen.

Dr. Walter Hauenstein, Schweizerischer Wasserversbandsverband, Baden.

Dr. Christoph Hegg, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

Wolfgang Hennegriff, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

PD Dr. Martin Jäggi, Beratender Ingenieur für Flussbau und Flussmorphologie, Ebmatingen
Prof. Dr. Hans Kienholz, Geografisches Institut Universität Bern.

Prof. Dr. Erwin Minor, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich.

Dr. Dieter Müller, Colenco Power Engineering AG, Abteilung Wasserbau und Umwelt, Baden.

Dr. Matthias Oplatka, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Wasserbau, Zürich.

Dr. Hans Romang, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

Dr. Bruno Schädler, BAFU Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie, Bern.

Rolf Studer, Direction de l'aménagement de l'environnement et des constructions, Kanton Freiburg.

Dr. Heinz Willi Weiss, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Zürich.

Hans Peter Willi, BAFU Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention, Bern.

Dr. Benno Zarn, Hunziker, Zarn + Partner AG, Domat/Ems.

Literatur/Bibliographie/Letteratura

BWG, 2000: Hochwasser 1999 – Analyse der Ereignisse. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Studienbericht Nr. 10.

Christensen, J.H., T.R. Carter, und M. Rum-

mukainen, 2007: Evaluating the performance and utility of regional climate models: The PRUDENCE project. Clim. Change, (in press).

Frei, C., 2006: Die Klimazukunft der Schweiz – Eine probabilistische Projektion. Erhältlich unter http://www.occc.ch/Products/CH2050/ch2050_scenario_d.html, und <http://www.meteoschweiz.ch>.

Frei, C., R. Schöll, S. Fukutome, J. Schmidli, und P.L. Vidale, 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. J. Geophys. Res., 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.

Grebner, D. und A. Gurtz, 2003: Hochwasser als Phänomen – Wahrnehmung und Differenzierung. Bulletin – Magazin der Eidgenössischen Hochschule Zürich, Nummer 289, 22–25.

Goodess, C. M., 2003: Statistical and regional dynamical downscaling of extremes for European regions: STARDEX, EGGS, 6.

Horton, P., B. Schaeffli, A. Mezghani, B. Hingray und A. Musy, 2006: Assessment of climate-change impacts on alpine discharge regimes with climate model uncertainty. Hydrol. Process. 20, 2091–2109.

PRUDENCE: Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining European climate change risks and effects. Forschungsprojekt der Europäischen Union. <http://prudence.dmi.dk/>.

Schmidli, J., C. M. Goodess, C. Frei, M. R. Haylock, Y. Hindecha, J. Ribalaygua, und T. Smith, 2007: Statistical and dynamical downscaling of precipitation: An evaluation and comparison of scenarios for the European Alps. J. Geophys. Res., 112, (in press).

STARDEX: Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions. Forschungsprojekt der Europäischen Union. <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>.