Photo : Thierry Lachat

# Partie 2 : Incidence et adaptation

## Auteures et auteurs

**Prof. Dr Konstantinos Boulouchos**
Professeur, Laboratoire d'aérothermochimie et de systèmes de combustion de l'Institut de technique énergétique (IET) de l'EPF de Zurich

**Prof. Dr David N. Bresch**
Professeur en risques météorologiques et climatiques, Institut pour les décisions environnementales (IED) de l'EPF de Zurich et Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)
Jusqu'en juin 2016 : Responsable des partenariats mondiaux pour le développement des affaires chez Swiss Re, Zurich

**Prof. Dr Harald Bugmann**
Professeur d'écologie forestière à l'Institut des écosystèmes terrestres (ITES) de l'EPF de Zurich

**Prof. Dr Reynald Delaloye**
Professeur de géographie physique, Département des géosciences de l'Université de Fribourg

**Sabine Döbeli**
PDG de Swiss Sustainable Finance, Zurich

**Prof. Dr Markus Fischer**
Directeur de l'Institut des sciences végétales de l'Université de Berne

**Prof. Dr Jürg Fuhrer**
Responsable du groupe de recherche « Climat et hygiène de l'air » de l'Agroscope, Zurich

**Prof. Dr em. Wilfried Haeberli**
Professeur (émérite) de géographie, spécialiste de géographie physique, Institut de géographie de l'Université de Zurich

**Prof. Dr Martin Hoelzle**
Professeur de géographie physique, Département des géosciences de l'Université de Fribourg

**Dr Roland Hohmann**
Chef de la section Rapports climatiques et adaptation aux changements de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Ittigen

**PD Dr Christian Huggel**
Chercheur sénior, Conséquences climatiques, risques et adaptation aux changements, groupe de recherche « glaciologie et géomorphodynamique », Institut de géographie de l'Université de Zurich.

**PD Dr Margreth Keiler**
Maître de conférences en géomorphologie, risques naturels et recherche sur les risques à l'Institut de géographie de l'Université de Berne

**Prof. em. Dr DDr h.c. Christian Körner**
Professeur (émérite) de botanique, Département des sciences de l'environnement de l'Université de Bâle

**Isabelle Kull**
Cheffe de projet chez GEOTEST AG, Zollikofen

**Prof. Dr Nino Künzli**
Professeur de médecine sociale et préventive à l'Institut tropical et de santé publique suisse de l'Université de Bâle

**Dr Therese Lehmann Friedli**
Responsable adjointe de l'Unité de recherche en tourisme (CRED-T), Centre de développement régional de l'Université de Berne

**Prof. Dr Olivia Martius**
Professeure spécialiste des conséquences climatiques, Institut de géographie du Centre Oeschger pour la recherche sur le changement climatique de l'Université de Berne

**Dr Christoph Marty**
Collaborateur scientifique, Neige et pergélisol, Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF), Davos Dorf

**Gabriele Müller-Ferch**
Collaboratrice scientifique, ProClim – Forum pour le climat et les changements globaux de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT), Berne

**Lea Müller**
Experte en risques naturels chez Swiss Re, Zurich

**Dr Jeannette Nötzli**
Collaboratrice scientifique, Neige et pergélisol, WSL Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF), Davos Dorf
Jusqu'en juillet 2015 : Maître-assistante, groupe de recherche « Glaciologie et géomorphodynamique », Institut de géographie de l'Université de Zurich

**Prof. Dr Anthony Patt**
Professeur en protection du climat et adaptation aux changements à l'Institut pour les décisions environnementales (IED) de l'EPF de Zurich

**Dr Frank Paul**
Chercheur sénior, groupe de recherche « Glaciologie et géomorphodynamique », Institut de géographie de l'Université de Zurich

**Prof. Dr Etienne Piguet**
Professeur de géographie des mobilités à l'Institut de géographie de l'Université de Neuchâtel

**Dr Marco Pütz**
Responsable du groupe de recherche « Economie et développement régionaux » de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf

**Prof. Dr Christoph C. Raible**
Professeur de physique climatique et environnementale à l'Institut de physique de l'Université de Berne

**Prof. Dr Martine Rebetez**
Professeure de climatologie appliquée à l'Institut de géographie de l'Université de Neuchâtel
Chercheuse sénior, cheffe de l'unité de recherche « Dynamique forestière et climat » de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf

**Dr Andreas Rigling**
Responsable de l'unité de recherche « Dynamique forestière » de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf

**Dr Christoph Ritz**
Jusqu'en mars 2016 : Directeur de ProClim – Forum pour le climat et les changements globaux de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT), Berne

**Dr Ole Rössler**
Post-doctorant, groupe de recherche « Hydrologie », Centre Oeschger pour la recherche sur le changement climatique de l'Université de Berne

**Dr Nadine Salzmann**
Chercheuse sénior et maître de conférences, Département des géosciences de l'Université de Fribourg

**Dr Yvonne Schaub**
Vice-présidente, Médecine et sciences naturelles, Université de Zurich
Jusqu'en mai 2015 : doctorante en géographie physique, Institut de géographie de l'Université de Zurich

**Dr Eva Spehn**
Collaboratrice scientifique, Forum Biodiversité, Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT), Berne
Directrice de Global Mountain Biodiversity Assessment (GMBA), Institut des sciences végétales de l'Université de Berne

**Dr Kuno Strassmann**
Coordinateur du projet Consortium CH2018, Institut pour l'atmosphère et le climat (IAC) de l'EPF de Zurich
Jusqu'en juin 2016 : Spécialiste de la protection du climat, Office pour les déchets, les eaux, l'énergie et l'air (ODEEA), canton de Zurich
Jusqu'en avril 2014 : Collaborateur scientifique, Centre Oeschger pour la recherche sur le changement climatique de l'Université de Berne

**Prof. Dr Rolf Weingartner**
Professeur d'hydrologie, Institut de géographie, Centre Oeschger pour la recherche sur le changement climatique de l'Université de Berne

**Mark Zimmermann**
Chef du département NEST (« Next Evolution in Sustainable Building Technologies »), Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (LFEM), Dübendorf

**Dr Markus Zimmermann**
Collaborateur scientifique, Institut de géographie de l'Université de Berne
Expert en gestion des risques et des menaces, directeur du bureau d'études géographiques NDR Consulting GmbH, Thoune

# Défis pour la recherche, la pratique et la société en lien avec les risques naturels causés par le climat – étude de cas à Haslital (canton de Berne)

**Les processus géomorphologiques dans la zone du Spreitgraben dans la commune de Guttannen BE illustrent de façon impressionnante les conséquences du changement climatique observées depuis environ 30 ans de manière récurrente dans la cryosphère alpine et particulièrement visibles ces 10 à 15 dernières années. Les nombreuses coulées de boue apparues au Spreitgraben entre 2009 et 2011 ont été causées par des modifications des conditions du pergélisol au Ritzlihorn. Depuis 2012, le nombre de coulées de boue a certes reculé, une nouvelle intensification de celles-ci est pourtant attendue (peut-être moins conséquente). Les énormes dépôts de matériaux charriés dans l'Aar et la mise en danger en perpétuelle évolution d'habitats et d'infrastructures représentent des exigences élevées dans le cadre de la gestion des dangers et des risques. Le système de surveillance et d'alerte précoce installé en 2009 a pu être vérifié et amélioré plusieurs fois déjà quant à sa fonctionnalité grâce à la densité élevée d'événements. Dans le cadre de la gestion de ces risques, les instruments correspondants en matière d'aménagement du territoire ont pourtant manqué. Les décideurs au niveau du canton et de la commune sont appelés à développer des solutions pertinentes tenant compte des incertitudes présentes et conduisant à l'acceptation des mesures d'adaptation nécessaires au niveau local.**

*Isabelle Kull (GEOTEST SA), Markus Zimmermann (NDR Consulting GmbH et Université de Berne)*

La commune de Guttannen dans l'Oberland bernois oriental se situe à environ 1050 mètres d'altitude ; elle est entouré de montagnes élevées. Les dangers naturels constituent un élément important de l'histoire du village. Le cône de déjection important apparu suite à la dernière ère glaciaire, au pied duquel Guttannen se situe, témoigne de dépôts récurrents de coulées de boue, d'avalanches et de chutes de pierres issus des temps passés.

Au cours des années 2009 et 2010, des éboulements importants ont eu lieu au Ritzlihorn (3263 mètres d'altitude), situé à l'ouest du village de Guttannen. Ces chutes de pierres ont entraîné des modifications considérables au niveau de l'évolution des processus dans le système de coulées de boue du Spreitgraben et ont conduit à court terme à un changement de système : alors que les coulées de boue étaient rares jusqu'ici, celles qui se sont produites annuellement et de manière récurrente depuis ces éboulements présentent une ampleur sans précédent. De ce fait, près de 650 000 mètres cubes de débris ont été déposés au total dans l'Aar entre 2009 et 2011, parmi ceux-ci des blocs rocheux énormes (GEOTEST 2012). Des érosions massives au niveau du cône et des alluvionnements énormes au fond de la vallée ont mis en danger les zones urbanisées ainsi que l'infrastructure. Depuis 2012, l'activité des coulées de boue a retrouvé un niveau normal.

## Processus déclencheurs et chaînes de processus au Ritzlihorn

Le flanc nord abrupt du Ritzlihorn, constitué de gneiss schisteux et sensibles à la météorisation, se situe dans le pergélisol, comme le montre la carte de l'extension potentielle du pergélisol en Suisse (OFEV 2005, Gruber 2012). Des observations de terrain et des mesures de la température de base de la couverture neigeuse l'ont confirmé. La zone de déclenchement des éboulements était située selon toute probabilité dans le pergélisol en cours de dégradation (Hasler et al. 2011). Les premières coulées de boue ont pris naissance dans les dépôts frais de chutes de pierres et ont causé une forte érosion en profondeur au niveau du cône du Spreitgraben. En raison des coulées de boue, des canaux d'écoulement se sont formés en-dessous des champs de névé dans la partie amont du cône de déjection ; des embâcles sont apparus au niveau des canaux d'écoulement. Des percées de tels embâcles renforcent l'érosion déclenchée par les coulées de boue. Le névé a été creusé sur une longue distance en raison de la fragmentation et de l'affouillement mécaniques de celui-ci, jusqu'à ce qu'il s'effondre finalement complètement et libère de nouveaux foyers d'éboulis sujets à l'érosion.

Les masses rocheuses meubles recouvertes jusqu'à présent de neige et partiellement gelées ont été alors soumises directement aux intempéries et aux apports de chaleur, ce qui a en outre augmenté la présence d'éboulis. Un hiver pauvre en neige (2010/2011) ainsi que des températures de l'air élevées et de fortes précipitations au cours de l'été

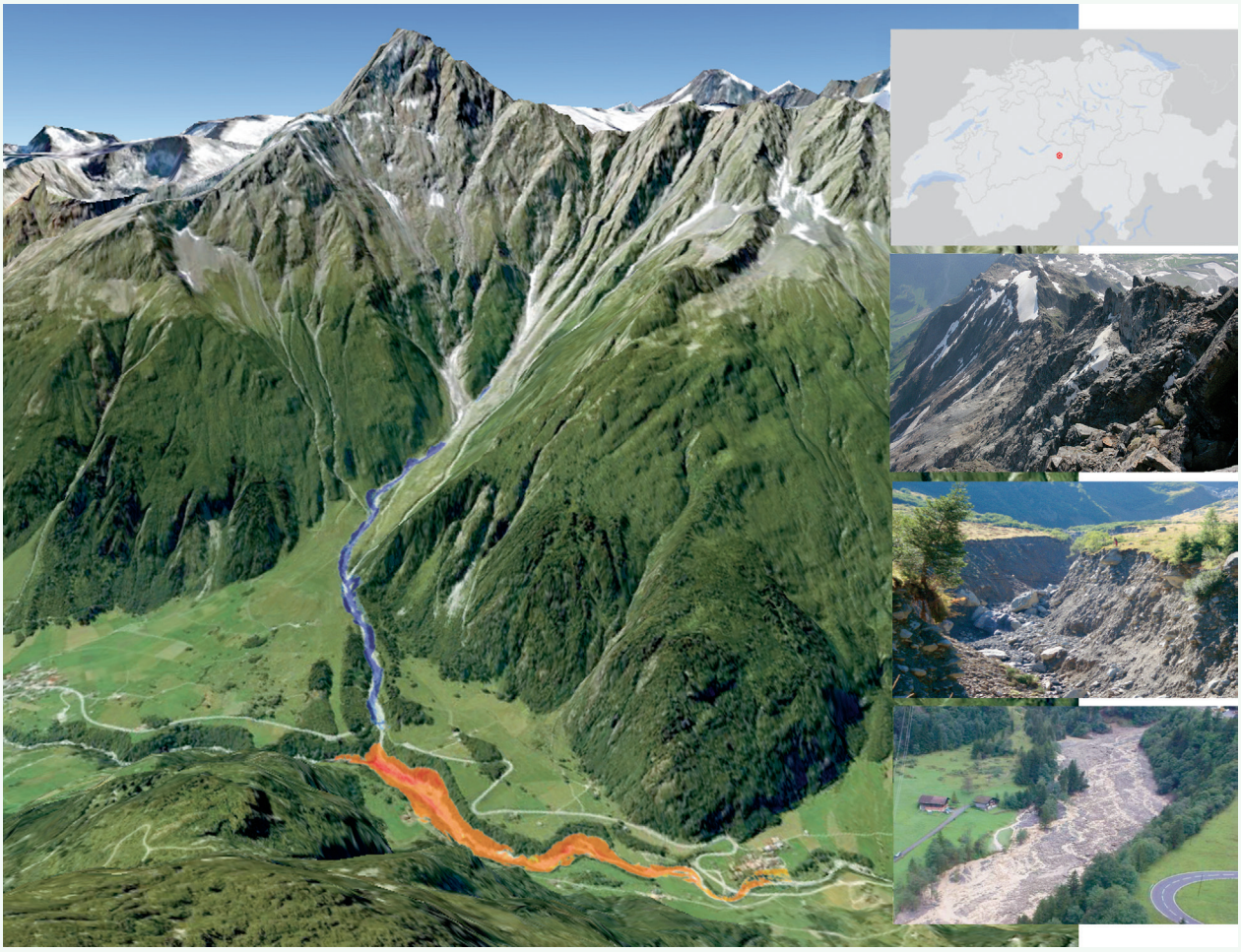


Figure 2.1: Ritzlihorn avec Spreitgraben et zones d'érosion (en bleu) et de dépôt (en orange) actuelles. A droite: illustrations le long du fossé. (Source: GEOTEST 2012)

2011 ont contribué à la poursuite de la dégradation et à la mise au jour des fossés qui étaient recouverts partiellement par le névé depuis des dizaines d'années (ou, le cas échéant, depuis des centaines d'années).

## Facteurs météorologiques provoquant les coulées de boue

Outre les précipitations directes, la quantité de neige, la température de l'air et la saturation en eau du substrat en particulier faisaient partie des principaux facteurs d'influence météorologiques ayant déclenché les coulées de boue. Ces facteurs ont eu une influence élevée sur le dégel du pergélisol et du névé dans le bassin et donc sur la disponibilité d'éboulis facilement mobilisables.

## Nouvelle chaîne de processus – vraisemblablement déclenchée par le changement climatique

Cette chaîne de processus représente un phénomène exceptionnel, probablement d'origine climatique, pour lequel on ne connaît jusqu'à présent aucun parallèle historique dans le Spreitgraben. Le système de coulées de boue marqué par la période périglaciaire paraît réagir non seulement à des modifications climatiques au sens d'événements extrêmes, mais en particulier à des modifications progressives de température, conditionnées par le changement climatique et conduisant à une dégradation du pergélisol et du névé.

Le Spreitgraben ne constitue pas un cas isolé: sur le côté opposé, dans le bassin de la Rotlouwi, des événements météorologiques extrêmes ont conduit à d'importantes coulées de boue en 2005 et en 2011. Dans la partie centrale de l'arc alpin, une intensification des coulées de boue causées par la dégradation du pergélisol a également pu

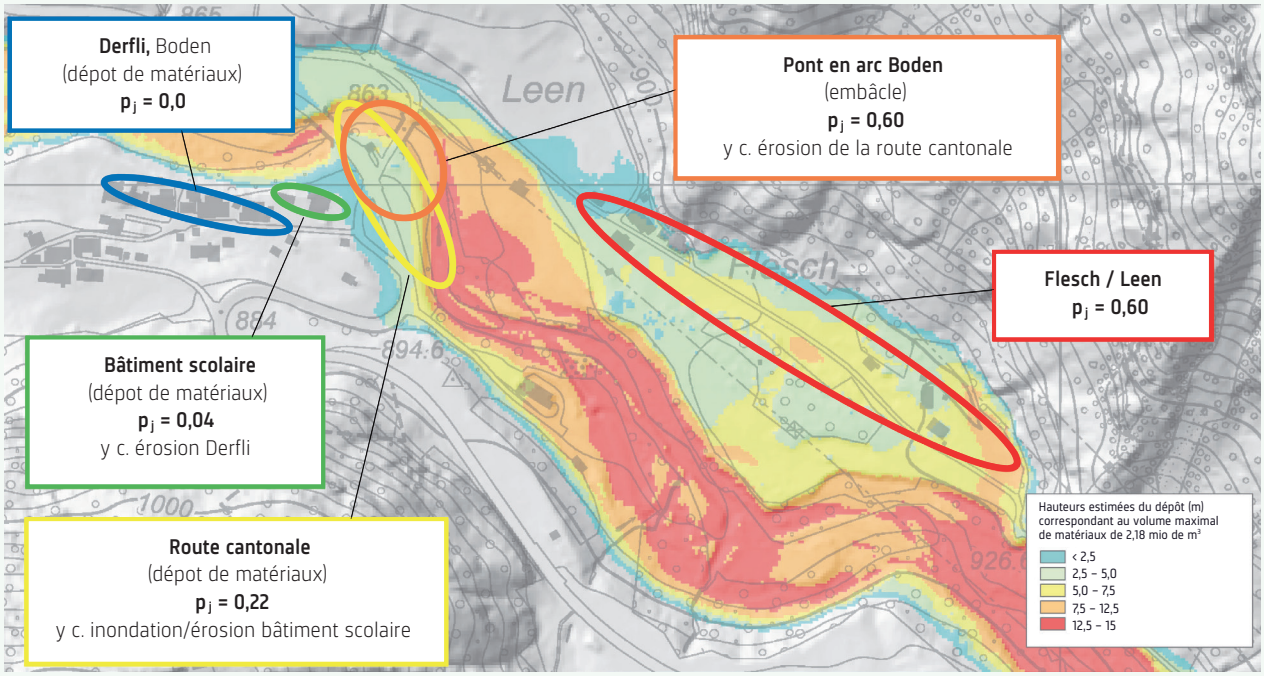



Figure 2.2 : Probabilité pronostiquée de processus et de dommage $p_j$ pour divers objets en l'espace de 25 ans. (Source : GEOTEST 2012)

être constatée durant les fameuses intempéries de 1987 (Zimmermann & Haeberli 1992).

Aussi bien les coulées de boue du Spreitgraben que celles de la Rotlouwi indiquent que les systèmes de coulées de boue réagissent, selon le caractère du bassin, de façon extrêmement sensible aux modifications de processus conditionnées par le climat. Ce phénomène a pu être également constaté dans l'arc alpin central durant les intempéries de 1987 (Zimmermann & Haeberli 1992).

## Impacts et adaptations

Durant les trois années d'événements, la galerie paravalanche ainsi que le gazoduc international ont à nouveau été menacés par la formation d'affouillements et de percements de blocs dans la zone de la route cantonale de Guttannen. Une habitation et une écurie situées directement face à l'embouchure du Spreitgraben dans l'Aar ont été gravement menacées par des coulées de boue ; l'habitation datait du XVIII siècle et se trouvait jusqu'ici à quelque 20 mètres au-dessus du lit de l'Aar. Plus en aval, des coulées de boue et des inondations ont mis à nu le gazoduc, compromettant ainsi sa sécurité. Au cours de la dernière année d'événements, les dépôts de coulées de boue dans l'Aar se sont rapprochés de façon menaçante de la STEP de Guttannen et d'un mât de la ligne à haute tension. Des alluvionnements dans l'Aar au niveau du tronçon des groupes de maisons de Flesch, Leen et de Boden (situées à près d'un kilomètre en-dessous de l'embouchure du Spreitgraben dans l'Aar) ont en outre entraîné des risques d'inondation accrus.

### Mises en œuvre de mesures de protection étendues

Afin de remédier au danger, des mesures de protection étendues ont été mises en œuvre contre les dommages potentiels mentionnés ci-dessus : comme première mesure, un système d'alerte précoce et d'alarme de haute technologie a été mis en place pour l'exploitation routière, les chantiers en aval et les habitants concernés. Dans le domaine de l'affouillement en-dessous de la galerie d'avalanches et du gazoduc de transit, le lit de la rivière a également pu être rempli après plusieurs essais de stabilisation au cours du semestre d'hiver 2010/2011 et a été stabilisé grâce à une structure constituée de poutres métalliques et de gros blocs. En 2011, les bâtiments gravement menacés situés en face de l'embouchure ont dû être abandonnés. Les personnes ont été déplacées, les bâtiments abandonnés. Comme mesure de protection supplémentaire, le gazoduc a été transféré au prix d'efforts considérables vers le côté opposé de la vallée, dans la zone de l'embouchure du Spreitgraben dans l'Aar. Des digues ont été érigées afin de protéger la STEP de l'avancée continue des dépôts de coulées de boue ainsi que de l'érosion locale.

Les adaptations aux modifications de processus actuelles ont coûté près de 50 millions de francs, dont 34 millions

rien que sécuriser le gazoduc. Si de nouveaux événements de l'ampleur de ceux de 2010/2011 devaient avoir lieu, d'autres zones urbaines de Guttannen (Flesch, Leen et Boden) de même que la route cantonale pourraient se trouver dans la zone d'érosion et de dépôt ; cela impliquerait d'autres mesures d'adaptation et des coûts élevés pour les personnes privées et les pouvoirs publics.

## Stratégies d'action face aux modifications de processus dictées par le climat

En raison du changement climatique, on peut s'attendre à l'amplification de la fréquence ainsi que de l'intensité et de l'étendue géographique de processus tels que ceux ayant eu lieu au Spreitgraben.

De nouveaux déroulements de processus et sources de danger peuvent également apparaître dans d'autres régions, de manière similaire à ceux du Haslital. Leurs conséquences possibles sont difficilement évaluables actuellement, celles-ci se trouvant souvent en dehors de l'expérience historique. Les grosses difficultés se trouvent dans la définition de scénarios, de cascades d'événements, de situations de risque et finalement de dangers et de risques. La complexité des interactions, les parallèles historiques manquants et le caractère des modifications de processus d'origine climatique entraînant une modification du paysage rendent difficile la détermination de leurs probabilités d'occurrence futures. Sur la base de ces incertitudes, il n'était jusqu'à présent pas possible d'effectuer une évaluation du danger en réalisant une carte des dangers pour les espaces de processus potentiels dans la région de Guttannen/Boden. Au lieu de cela, des scénarios catastrophes ont prioritairement été conçus. Sans carte de danger, il était toutefois difficile pour la commune de réglementer la gestion des constructions dans la zone dangereuse au sens du droit de la construction ou de prendre des décisions fondamentales concernant l'utilisation future de cette zone.

## Ebauche de solution

Une ébauche de solution, fondée sur différentes probabilités d'occurrence de processus, d'évolutions de processus (cascades) et de dommages consécutifs (GEOTEST & NDR 2014) a été élaborée pour Guttannen et offre une nouvelle approche de tels incertitudes et risques d'origine climatique. Les probabilités de processus se basent sur des combinaisons possibles de déroulements de processus.
Cette procédure doit permettre d'estimer la probabilité de dommages pendant une durée déterminée pour des objets potentiellement menacés. Dans le cas de Guttannen, cette durée basée sur la durée d'amortissement des transformations de bâtiments est d'environ 25 ans,. L'objectif de cette approche consiste à mettre à disposition des autorités locales et cantonales ainsi que des assurances les bases nécessaires pour les décisions de planification (p. ex. pour l'aménagement du territoire et le développement de l'infrastructure) et pour l'assurance de bâtiments et d'installations.

En fonction de la probabilité du processus et des dommages pronostiqués dans la zone d'habitation, il existe diverses possibilités en matière d'aménagement du territoire pour gérer la menace : une relocalisation en cas de danger très important (déjà appliquée au groupe de maisons en face de l'embouchure du Spreitgraben), un développement limité du milieu bâti en cas de danger moyen ou un développement illimité du milieu bâti en cas de danger très faible.

A Guttannen, l'analyse probabiliste a été effectuée pour trois groupes différents de maisons, selon un horizon temporel de 25 ans. Les résultats de l'analyse ont montré que
- dans le cas de deux groupes de maisons (Flesch et Leen), il faut compter avec une probabilité de dommage élevée de 60 pour cent. Cela signifie également qu'aucun dommage ne surviendra avec une probabilité de 40 pour cent au cours de ces 25 prochaines années.
- dans le cas de la route cantonale, la probabilité de dommage se situe à 22 pour cent.
- dans le cas de deux objets (bâtiment scolaire), il faut compter avec une faible probabilité de dommage (0,04 pour cent).
- à Derfli (hameau de Boden), il ne faut s'attendre à aucun dommage.

Les résultats de l'analyse sont représentés spatialement sur la carte à la figure 2.2.

### Bibliographie

GEOTEST (2012) **Guttannen, Murgang Spreitloui – Analyse und Prognose.** Rapport No. 1409237.3.

GEOTEST, NDR (2014) **Guttannen, Spreitgraben – Ereigniswahrscheinlichkeiten.** Grundlagen für eine Risikoevaluation. Rapport No. 1414046.1.

Gruber S (2012) **Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation.** In: Bamber L, Gruber S, Gudmundsson GH, Van den Broeke M (eds.), The Cryosphere 6: 221–233.

Hasler A, Gruber S, Haeberli W (2011) **Temperature variability and offset in steep alpine rock and ice faces.** In Bamber L, Gruber S, Gudmundsson GH, Van den Broeke M (eds.), The Cryosphere 5: 977–988.

OFEV (2005) **Carte de l'extension potentielle du pergélisol en Suisse.** www.bafu.admin.ch/dangers-naturels

Zimmermann M, Haeberli W (1992) **Climatic change and debris flow activity in high-mountain areas.** A case study in the Swiss Alps. Catena Supplement 22: 59–72.

# 2.1 Introduction

**Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC indique que les changements climatiques ont déjà produit des effets au cours des dernières décennies sur les systèmes naturels et anthropiques, sur l'ensemble des continents et des océans. Il est généralement admis que, plus la planète se réchauffe, plus les conséquences du réchauffement seront prononcées et plus les risques sont élevés. Ce constat n'est pas neuf, puisqu'il apparaissait déjà dans les rapports d'évaluation précédents du GIEC. Ce qui est nouveau, en revanche, dans le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, c'est l'approche des risques et de la manière de les éviter ou de les réduire – le cas échéant, au moyen de mesures d'adaptation appropriées. Il recourt pour cela à une analyse de risque qui intègre également les facteurs socioéconomiques, en plus des facteurs climatiques.**

*Christian Huggel (Université de Zurich), Christoph C. Raible (Université de Berne),*
*Kuno Strassmann (ODEEA Zurich, *aujourd'hui EPF de Zurich), Gabriele Müller-Ferch (SCNAT/ProClim)*

## Les effets du climat observés et leur rôle pour les estimations futures

La fonte des glaciers est l'un des indicateurs les plus significatifs des changements climatiques. Les glaciers des Alpes suisses connaissent une fonte continue et très rapide surtout depuis le milieu des années 1980 (cf. chap. 2.3 Neige, glaciers et pergélisol, p. 80). Les écosystèmes terrestres et marins montrent déjà des changements eux aussi. De nombreuses espèces ont vu se modifier leur répartition géographique, leurs activités saisonnières, leurs modèles de migration, leurs fréquences et leurs interactions (cf. chap. 2.8 La biodiversité et les services écosysé témiques, p. 100, chap. 2.9 La forêt, p. 106, chap. 2.7 Ecoє systèmes alpins, p. 96). Ces observations constituent un élément essentiel pour une meilleure compréhension de la nature, de l'intensité et de la rapidité des conséquences des changements climatiques. Les observations de ces conséquences remontent plus ou moins loin dans le passé. La plupart du temps, on ne dispose de données que pour les dernières décennies. Outre les mesures climatologiques pures, telles que la température ou les précipitations, ces données reflètent aussi les évolutions des écosystèmes et de l'environnement façonné par l'homme et révèlent ainsi de manière empirique les rapports entre le climat et ses conséquences. Compte tenu des nombreux facteurs non climatiques qui agissent également sur ces systèmes, comme l'utilisation des terres, c'est pour la science un grand défi que d'attribuer la cause des évolutions observées aux changements climatiques *(Attribution)*. La compréhension des processus des changements du passé, qui aura été corroborée par les observations, peut être exploitée au moyen de modèles d'impacts climatiques pour arriver à des prévisions sur l'évolution future des conséquences des changements climatiques (cf. Partie 1 : Fondements scientifiques, p. 21).

## Les conséquences des changements climatiques engendrent des risques

Les effets du climat entraînent des risques pour les systèmes naturels et anthropiques. A la différence du rapport précédent, le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC aborde résolument la problématique climatique du point de vue des risques. Le risque se définit comme l'interaction entre aléa *(Hazards)*, exposition *(Exposure)* et vulnérabilité *(Vulnerability)* (cf. chap. 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC, p. 77). La nouvelle analyse du risque intègre aussi, en plus des facteurs climatiques, des facteurs socioéconomiques tels que les inégalités ou la pauvreté. Cette approche tient compte de la complexité de la problématique climatique, mais conduit à plus d'incertitudes dans les estimations.

Le rapport d'évaluation du GIEC relève différents risques principaux dus aux graves dangers ou aux fortes vulnérabilités des sociétés et systèmes exposés. Le monde sera affecté par les risques principaux dans des proportions différentes ; il y aura des perdants et des gagnants. A l'échelle mondiale, l'aléa de la sécurité alimentaire fait partie, surtout dans les régions plus démunies, des conséquences potentiellement graves, au même titre que la menace des régions côtières par les ondes de tempête et par l'élévation du niveau de la mer (cf. chap. 2.16 La migration dans le réseau d'interdépendances globales, p. 136, chap. 2.13 L'espace urbain, p. 126). La réduction de la disponibilité de l'eau est considérée comme un risque principal dans le sud de l'Europe, mais elle pourra aussi devenir d'actualité en Suisse si aucune adaptation n'est entreprise sous la forme d'une gestion intégrée de l'eau (cf. chap. 2.4 Eau, p. 84, chap. 2.10 L'agriculture, p. 111). Il en est de même pour les vagues de chaleur extrême qui, sans adaptation, pourraient avoir des incidences sur la santé et causer des dommages à l'économie, également dans notre pays (cf. chap. 2.15 Santé, p. 132, chap. 2.13 L'espace urbain, p. 126). D'autres catastrophes naturelles telles que les inon-

## Conséquences et adaptations aux changements climatiques : les activités de recherche en Suisse

Les rapports d'évaluation du GIEC s'adressent en premier lieu à un public mondial. Afin de pouvoir dresser une image cohérente et actuelle de la Suisse, les différents chapitres de ce rapport prendront en considération des constats additionnels provenant des activités de recherche suisses. Parmi les programmes les plus importants, nous pouvons citer les suivants :

**Programme de recherche « Forêt et changements climatiques »**
Les objectifs du programme de recherche lancé en 2009 par l'OFEV et le WSL consistent à déterminer comment les changements climatiques se répercutent sur la forêt et les prestations forestières, et par quelles mesures d'adaptation ces dernières peuvent être assurées. Les résultats des recherches doivent permettre aux acteurs concernés – services forestiers, propriétaires de forêts, décideurs politiques – d'évaluer correctement les risques liés aux changements climatiques et la capacité d'adaptation des forêts, et de prendre des mesures d'adaptation efficaces là où elles sont nécessaires. Ces résultats alimentent en outre la « Stratégie nationale d'adaptation aux changements climatiques » du Conseil fédéral (OFEV 2012 & 2014) et doivent soutenir la mise en œuvre politique des objectifs de la « Politique forestière 2020 » (OFEV 2015) (cf. chap. 2.9 La forêt, p. 106).

**Programme national de recherche « Gestion durable de l'eau » (PNR 61)**
De 2010 à 2013, le PNR 61 (2015) a jeté les bases scientifiques et élaboré des méthodes pour une gestion durable des ressources en eau, soumises à une pression de plus en plus forte. Les répercussions des changements climatiques et sociétaux sur les ressources en eau ont également été analysées. Les risques et conflits potentiels ont été identifiés, et des stratégies de gestion durable et intégrée des ressources hydriques ont été développées (cf. chap. 2.4 Eau, p. 84).

**ACQWA (Assessing Climate Impacts on the Quality and Quantity of Water)**
De 2008 à 2013, le projet de l'Union européenne ACQWA s'est penché sur les changements climatiques et les ressources en eau dans différentes régions de Suisse. Sur la base de données de modèles climatiques et de différents modèles d'offre et de demande de l'eau, des stratégies d'adaptation ont été développées dans différents secteurs économiques et politiques déterminants (cf. chap. 2.4 Eau, p. 84).

**Pôle de recherche national « Climat »**
De 2001 à 2013, plus de 200 chercheuses et chercheurs ont travaillé dans douze institutions à travers la Suisse autour du « NCCR Climate ». Le programme a généré plus de 800 articles scientifiques publiés dans des revues spécialisées internationales (peer-reviewed). Les recherches ont été menées dans les domaine du climat du passé (variabilité, tendances et événements extrêmes), du climat du futur (processus et prévisions), des conséquences de la variabilité du climat et des changements climatiques, ainsi que de l'évaluation et de la couverture des risques et des réponses socioéconomiques. Ce Pôle de recherche national a donné naissance à deux centres de recherche : le Centre Oeschger de recherche sur le changement climatique (OCCR) de l'Université de Berne et le Centre de modélisation de systèmes climatiques (C2SM) de l'EPF de Zurich, de MétéoSuisse, de l'Empa, du WSL et de l'Agroscope.

**Changement climatique et hydrologie en Suisse (CCHydro)**
Le projet CCHydro (2009-2012) de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) s'est penché sur les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau de la Suisse jusqu'à l'horizon 2100, en incluant une répartition spatiale des phénomènes d'ici à 2050. Les résultats montrent que ce sont surtout les régimes saisonniers des débits qui connaîtront d'importants changements, avec une augmentation probable des inondations, mais aussi, et surtout, des périodes d'étiage (cf. chap. 2.4 Eau, p. 84).

**Initiative CH2014-Impacts**
Les scénarios du changement climatique les plus récents pour la Suisse (scénarios CH2011 ; les scénarios sont actuellement mis à jour dans le cadre du thème prioritaire CH2018) et les modèles des conséquences du changement climatique développés ces dernières années ont débouché sur l'initiative CH2014-Impacts et la quantification des conséquences du changement climatique en Suisse (CH2014-Impacts 2014). Ce rapport contient une série d'études sur les conséquences du changement climatique, qui traitent aussi bien des modifications des conditions environnementales que de leurs répercussions économiques et sociétales, par exemple sur l'agriculture ou la consommation d'énergie. Trois horizons temporels (2030, 2060, 2080) ont été abordés afin de tenir compte, d'une part, des exigences en matière de décisions de planification et de gestion et, d'autre part, des échelles de temps pertinentes en fonction de la conséquence du changement climatique traitée.

**Autres activités**
Au-delà des projets cités, l'ensemble des hautes écoles suisses sont impliquées dans le domaine de la recherche sur le climat. Des activités liées à la recherche sont également en cours, à l'initiative de la Confédération. Citons parmi elles le programme pilote Adaptation aux changements climatiques et l'Analyse des risques et des opportunités liés aux changements climatiques de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

dations, la grêle, les glissements de terrain ou les chutes de rochers peuvent représenter une menace pour la population et porter préjudice à l'économie en Suisse (cf. chap. 2.17 L'industrie de l'assurance et des services financiers, p. 139, chap. 2.6 Dangers naturels provoqués par des changements du système climatique : chaînes de processus et risques complexes, p. 92, chap. 2.12 Bâtiments et infrastructures, p. 121, chap. 2.11 Tourisme, p. 117).

## Une adaptation optimale peut réduire les risques

Au cours de l'histoire, les hommes et les sociétés se sont toujours adaptés au climat, à ses variations et à ses événements extrêmes, et ce, avec plus ou moins de succès. Les nouveaux rapports d'évaluation du GIEC font apparaître encore plus clairement combien le climat, les effets du climat, les risques, l'adaptation et l'atténuation sont étroitement liés (cf. Partie 3: Atténuation, p. 149), et comm bien les approches fructueuses doivent adopter une perspective d'ensemble. Quels risques sont supportables et comment les appréhendons-nous ? Quelle est notre marge de manœuvre ? Une adaptation optimale peut conduire à une réduction substantielle des risques, comme le montre le Groupe de travail II au rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2014/WGII). Les possibilités d'adaptation sont toutefois très différentes selon les régions et les systèmes. La Suisse se distingue par des capacités d'adaptation élevées (cf. chap. 2.18 Stratégies et mesures de la Confédération en matière d'adaptation aux changements climatiques, p. 144), tandis que les pays connaissant une pauvreté importante ou une direction politique peu favorable ou inexistante ont moins de possibilités dans ce domaine.

L'adaptation est parfois incluse dans certains processus de planification, alors que la réalisation de mesures reste plutôt limitée. Des mesures techniques sont par contre souvent mises en œuvre en étant intégrées, la plupart du temps, dans des programmes déjà existants, comme les programmes de gestion des risques de catastrophes ou de gestion de l'eau. Une première étape sur la voie de l'adaptation aux changements climatiques futurs est la réduction de la vulnérabilité et de l'exposition aux variations climatiques actuelles (résilience accrue). Les stratégies qui présentent simultanément des avantages connexes dans d'autres secteurs, par exemple, dans la promotion de la santé humaine ou de la qualité de l'environnement, s'avèrent particulièrement efficaces (IPCC 2014/WGII/SPM).

Le nouveau rapport d'évaluation du GIEC montre en outre que les risques d'un accroissement de la température mondiale de deux degrés sont significativement moins élevés que ceux d'un réchauffement de quatre degrés. Chaque degré supplémentaire de réchauffement entraîne à la baisse la marge de manœuvre économique et technique. Tous les systèmes ne peuvent pas s'adapter et des limites sont atteintes. Il y a donc des possibilités de réagir aux changements climatiques, mais elles ne fonctionnent que dans un cadre donné, et elles doivent s'accompagner d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre. La réduction des émissions est et reste la réaction la plus efficace aux changements climatiques (cf. Partie 3: Atténuae tion, p. 149).

### Bibliographie

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011**. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland**. Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

OFEV (2012) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Objectifs, défis et champs d'action**. Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2014) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Plan d'action 2014-2019**. Deuxième volet de la stratégie du Conseil fédéral du 9 avril 2014. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2015) **Politique forestière 2020**. www.bafu.admin.ch/forets

PNR 61 (2015) **Gestion durable de l'eau en Suisse – Le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir**. Synthèse globale du Programme national de recherche PNR 61 «Gestion durable de l'eau», Berne. www.nfp61.ch

# 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC

**Pour la première fois, le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC considère les conséquences des changements climatiques en adoptant résolument le point de vue du risque pour l'être humain et pour l'environnement. Ce nouveau concept envisage le risque non plus, unilatéralement, comme la conséquence des menaces externes résultant des changements climatiques, mais comme l'interaction entre le climat, ses incidences et les processus socioéconomiques de la société.**

*Christian Huggel (Université de Zurich)*

Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC conçoit le risque des changements climatiques comme une partie intégrante de la lutte contre les changements induits par la société. Les risques naissent de l'interaction entre les trois composantes des aléas climatiques avec l'*exposition* et la *vulnérabilité* de l'homme et de l'environnement vis-à-vis de ces aléas (fig. 2.3). L'homme peut avoir une influence active sur les effets possibles en réduisant le risque par des adaptations appropriées. En réduisant les émissions, il peut aussi limiter le changement climatique d'origine anthropique.

Cette approche intégrale reflète le déplacement de paradigme que l'on observe également dans les publications scientifiques. La distinction entre ces différents aspects – aléa externe, exposition et vulnérabilité de l'homme et de l'environnement – constitue une extension importante par rapport aux précédents rapports d'évaluation du GIEC : cette manière nouvelle de structurer les informations simplifie la gestion du risque et le développement des instruments de politique.

## Eléments centraux du concept de risque

### Risque

Le risque désigne les conséquences éventuelles et incertaines d'un événement sur quelque chose ayant une valeur. Le risque est le résultat d'une interaction entre aléa, exposition et vulnérabilité. Le rapport d'évaluation du GIEC se penche sur le risque lié aux changements climatiques.

### Aléas

C'est l'éventualité d'un phénomène ou d'une tendance physique, naturelle ou climatique, ou de leur incidence physique susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé. Outre l'homme, les biens et les systèmes naturels (p. ex. les écosystèmes terrestres) peuvent également être exposés aux aléas. Les aléas ont deux composantes : la probabilité d'occurrence et l'intensité du phénomène (p. ex. en cas d'inondations ou de tempête).

### Exposition

C'est la présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de ressources et services environnementaux, mais aussi d'infrastructures ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans des lieux susceptibles de subir des dommages.

### Vulnérabilité

C'est la propension ou la prédisposition à subir des dommages. La vulnérabilité englobe aussi la sensibilité aux dommages, aux pertes et à la souffrance, et l'incapacité d'y faire face ou de s'y adapter. La vulnérabilité physique est révélatrice de la capacité de résistance (structurelle) d'un objet face aux effets d'un processus dangereux (p. ex. une avalanche), tandis que la vulnérabilité sociale inclut des aspects tels que la prospérité, l'âge, le niveau de formation, le statut social ou le sexe.

### Incidences

Ce sont les effets, sur les systèmes naturels et humains, des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes ou de changements progressifs (p. ex. élévation du niveau des mers ou raréfaction de l'eau dans les régions sèches).

## Le concept de risque dans la pratique

Pour définir les mesures nécessaires pour l'homme et l'environnement sur la base d'un risque existant, il convient de procéder d'abord à l'analyse et à l'évaluation de ce risque. Ce n'est qu'au terme de cette étape que les mesures nécessaires peuvent être planifiées. Deux exemples permettent d'illustrer la gestion des risques :

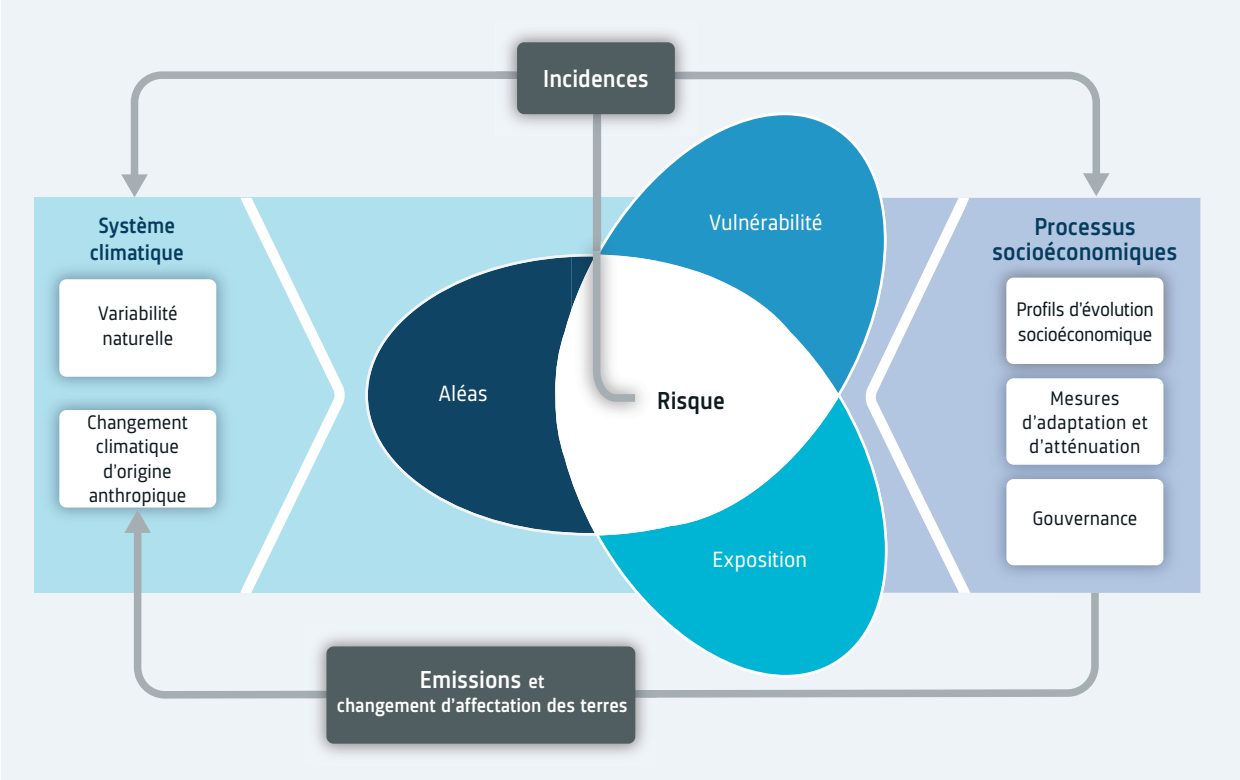



Figure 2.3 : Le concept de risque tel qu'utilisé par le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC. Le risque d'incidences liées au climat découle de l'interaction entre des aléas climatiques (y compris les tendances et les phénomènes dangereux) et la vulnérabilité ainsi que l'exposition de systèmes anthropiques et naturels. Les changements qui touchent à la fois le système climatique (à gauche) et les processus socioéconomiques, y compris l'adaptation et l'atténuation (à droite), sont les principales causes des aléas, de l'exposition et de la vulnérabilité. (Source : IPCC 2014/WGII/SPM)

## Risque pour les voies de communication

Le risque pour la société de situations mettant la vie en danger créées par un glissement de terrain sur une voie de circulation augmente avec les épisodes de précipitations extrêmes de plus en plus nombreux (aléas) et avec l'accroissement du trafic et donc de la densité de personnes présentes (exposition). Si l'accessibilité du site exposé est difficile, ce qui rend les opérations de sauvetage compliquées, cela accentue la vulnérabilité et accroît encore le risque général. Des mesures d'infrastructures (galerie, tunnel) peuvent limiter fortement la vulnérabilité, pour autant que les conditions financières, politiques et sociétales adéquates soient réunies pour un tel chantier.

## Risque pour les zones habitées

En Suisse, différentes zones d'habitation se trouvent en territoire inondable et sont donc exposées, comme le montre l'exemple concret du quartier de la Matte dans la ville de Berne. Ce quartier est menacé d'inondation dès que le débit de l'Aar dépasse les 440 mètres cubes d'eau par seconde (AWA Fakten 2010). Compte tenu de sa situation dans un passage étroit du cours de l'Aar, l'exposition de ce quartier historique ne peut être modifiée. Différentes mesures ont cependant permis de réduire l'aléa : tout d'abord le creusement d'une galerie d'évacuation des crues à Thoune, d'une capacité d'écoulement de 100 mètres cubes d'eau par seconde, grâce à laquelle la quantité d'eau à la sortie du lac de Thoune peut être doublée lorsque le lac est peu rempli, et peut être relevée de 300 à 400 mètres cubes d'eau par seconde même lorsque le lac est à un niveau intermédiaire. En cas d'aléa de fortes précipitations dans le bassin versant de l'Aar en amont de Thoune, le lac peut être abaissé d'environ 20 centimètres par jour grâce à cette galerie, quel que soit le niveau du lac. Cela correspond à dix millions de mètres cubes d'eau, ce qui crée dans le lac de Thoune un volume de rétention supplémentaire des eaux de précipitations du bassin versant de l'Aar. Une autre mesure de réduction de l'aléa est l'endiguement temporaire du cours d'eau dans le quartier de la Matte. Des discussions ont lieu actuellement au sujet d'une renaturation de l'Aar entre Thoune et Berne, ce qui

créerait de nouvelles zones de rétention et de territoires inondables. Malgré toutes les mesures prises, le risque d'inondation reste élevé dans le quartier de la Matte : en 2005, on a observé parfois des débits de plus de 1200 mètres cubes d'eau par seconde dans le lac de Thoune, et de plus grandes quantités encore pourraient s'y déverser dans le futur en raison des changements climatiques. Un système d'alerte inondations a déjà été mis en place et inclut l'envoi de messages sur les téléphones portables ; ce système d'alarme réduit la vulnérabilité sociale (de la population) et la vulnérabilité physique (des biens).

## Bibliographie

AWA Fakten (2010) **Hochwasserschutz am Thunersee**. Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie du canton de Berne, Berne, Septembre 2010.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 19 «Emergent risks and key vulnerabilities». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

# 2.3 Neige, glaciers et pergélisol

**Le changement climatique a une influence notable sur la cryosphère. Ses effets dans le monde se manifestent de façon prononcée sur les deux inlandsis (Groenland/Antarctique), sur la banquise et la glace de lac et de rivière, ainsi que sur la neige, les glaciers et le pergélisol – des composantes très répandues en Suisse aussi. Tous ces milieux ont en commun de réagir aux changements de la température et/ou des précipitations. En Suisse, la transformation de la cryosphère a un impact sur différents domaines de l'environnement, de l'économie et de la société. Le tourisme d'hiver et de ski est fortement touché, de même que la force hydraulique et que la sécurité de zones habitées, d'infrastructures et de voies de transport dans les régions alpines. Des mesures d'adaptation, impliquant des coûts importants, deviennent de plus en plus nécessaires.**

*Christian Huggel (Université de Zurich), Christoph Marty (SLF),*
*Jeannette Nötzli (Université de Zurich, *aujourd'hui au SLF), Frank Paul (Université de Zurich)*

## La situation sur le plan national

### Impacts sur le tourisme d'hiver et de ski

Un net recul de la durée de l'enneigement est observé depuis quelques décennies en Suisse aux basses altitudes – ce n'est en revanche pas le cas au-dessus de 2000 mètres. A l'avenir, la progression du réchauffement aura pour effet de raccourcir la saison de la neige, de plusieurs semaines suivant l'altitude, et d'élever la limite de la neige de plusieurs centaines de mètres. La hausse attendue des températures et l'augmentation concomitante de la pluie au détriment des chutes de neige (Serquet et al. 2011) auront des impacts substantiels sur le tourisme d'hiver et de ski (cf. chap. 2.11 Tourisme, p. 117). Dans le canton des Grisons, par exemple, le nombre de domaines skiables offrant de bonnes conditions de neige diminuera si l'on ne prend pas des mesures supplémentaires d'enneigement artificiel. Une région est dite offrir de « bonnes conditions de neige » si elle garantit, au moins sept années sur dix, un minimum de 30 centimètres de neige pendant plus de 100 jours par an. Dans un scénario sans mesures explicites de protection du climat (scénario de référence SRES-A2) (cf. chap. 1.5 Scénarios pour les futures émissions de gaz à effet de serre, p. 38) et sans enneigement artificiel, le nombre de domaines skiables offrant de « bonnes conditions de neige » diminue d'environ 20 pour cent jusqu'en 2035 et de plus de la moitié d'ici 2085. En recourant à la neige artificielle, le nombre de tels domaines baisse quand même (mais moins) de quelque 25 pour cent jusqu'en 2085. Pour continuer d'assurer de telles « bonnes conditions », il faudrait – mais est-ce seulement possible – tripler l'enneigement artificiel d'ici la fin du siècle (Abegg et al. 2013; CH2014-Impacts 2014). D'autre part, si l'ambiance hivernale fait de plus en plus défaut en plaine, la demande en matière de tourisme classique d'hiver risque de diminuer.

### Impacts sur la disponibilité en eau et sur les centrales hydrauliques

La forte fonte des glaciers et les modifications de la couverture neigeuse ont des répercussions sur la disponibilité en eau ainsi que sur le secteur énergétique et ses centrales hydrauliques. Même si l'augmentation de la température mondiale peut être limitée à deux degrés (par rapport au niveau préindustriel), les modélisations prévoient que les glaciers perdront encore environ 50 pour cent de leur masse jusqu'en 2050 par rapport à 2000, et à peu près 75 pour cent d'ici 2100 (Salzmann et al. 2012).

Dans la foulée de l'évolution future de la couverture neigeuse, la quantité d'eau stockée sous forme de neige pourrait diminuer de jusqu'à deux tiers, ce qui conduirait à une baisse des écoulements, avant tout au printemps et en été (Schmucki et al. 2015). C'est en haute montagne que ces projections sont le moins fiables : en effet, l'évolution des précipitations en hiver étant peu claire à cette altitude, il n'est pas exclu que les effets du réchauffement y soient compensés en partie – tout dépend de la proportion des précipitations tombant sous forme de neige.

Les données sur l'évolution future des écoulements issus de zones englacées comportent également des incertitudes. Vont-ils augmenter pendant les deux à trois décennies à venir ? Cela dépendra de différents facteurs, notamment de l'ampleur des glaciers des bassins versants. Des glaciers étendus et épais peuvent produire une quantité d'eau de fonte qui augmente fortement en raison de leur épaisseur et malgré la réduction de leur extension ; dans ce cas, les écoulements seront en hausse pendant quelques décennies encore. Cependant, on peut affirmer avec certitude que les écoulements influencés par la fonte des glaciers diminueront en été pendant la seconde moi-

Figure 2.4 : A la suite du recul des glaciers, de nombreux nouveaux lacs sont nés dans les Alpes, tels que celui du glacier de Trift (photo de bas) – et d'autres se formeront encore. Les risques qu'ils présentent, leur utilisation et leur mise en valeur économique soulèvent de nouvelles questions pour l'exploitation de la force hydraulique et pour le tourisme. Elles ont été étudiées entre autres par le Programme national de recherche 61 (PNR 61). Les mouvements du terrain qui font suite au réchauffement du pergélisol risquent d'endommager des infrastructures de haute montagne (par exemple des paravalanches ou des stations de transport par câble). Des fondations flottantes sont réalisées comme mesure d'adaptation. La photo de droite montre un exemple d'un tel aménagement au-dessus de Randa, dans la vallée de Zermatt. (Sources : Jürg Alean, SwissEduc.ch [photo de bas] ; Marcia Phillips [photo de haut])

tié du siècle et que les pointes de débits se décaleront du milieu au début de l'été (Huss 2011).

Quelques études types ont été réalisées au sujet de l'influence du changement climatique et de la fonte des glaciers sur les bassins d'accumulation. Elles prévoient une baisse considérable des écoulements estivaux dans les bassins versants fortement englacés déjà à partir du milieu du XXIe siècle (Finger et al. 2012) ; cependant, elles ne se basent que sur la diminution de l'extension des glaciers. Une baisse des écoulements estivaux nécessitera éventuellement une adaptation de l'exploitation des bassins d'accumulation et des centrales hydrauliques. De nouveaux lacs glaciaires, qui se forment dans le lit de glaciers en retrait, pourraient être intégrés à des systèmes existants de centrales – si cela est judicieux du point de vue économique, accepté par la société et sans inconvénient écologique (NELAK 2013 ; ACQWA 2013). Ces dernières années en effet, de nombreux lacs glaciaires se sont formés ou ont augmenté de taille (par exemple au glacier du Rhône et à celui de Trift). Ils font déjà l'objet d'études et de projets concrets de développement de la force hydraulique, c'est le cas, par exemple, pour le glacier de Trift, dans l'Oberland bernois (fig. 2.4).

## Impacts sur la stabilité des pentes et sur le charriage

De même que la fonte des glaciers, le dégel du pergélisol a de sérieux impacts dans les régions alpines de la Suisse, en l'occurrence sur la stabilité des pentes et sur la charge sédimentaire. A la différence des glaciers, les régions alpines de pergélisol ne donnent lieu que depuis relativement peu de temps à des séries systématiques de mesures. Des relevés des températures ont commencé vers la fin des années 1980 dans des glaciers rocheux (corps sédimentaires gelés en mouvement très lent), voire seulement après le tournant du siècle dans des parois rocheuses escarpées. Les données sur des tendances à long terme doivent donc être interprétées avec prudence. En Suisse, la plupart des formations de pergélisol ont des températures situées entre moins trois et zéro degrés Celsius, une valeur proche du point de fusion. De ce fait, le réchauffement de ces formations exige beaucoup plus d'énergie que lorsqu'elles sont plus froides, parce que la transformation de phase (de l'état solide à liquide) consomme en plus de l'énergie de fusion. Dans ces conditions, les tendances du réchauffement du pergélisol se manifestent moins clairement qu'à plus basses températures. Toutefois, on observe en différents endroits que la température augmente dans le sous-sol et que la couche affectée par le dégel annuel devient de plus en plus épaisse (PERMOS 2016). En plus des changements des températures du pergélisol, les vitesses avec lesquelles des glaciers rocheux se déplacent en aval augmentent elles aussi souvent de façon substantielle et la proportion d'eau contenue sous forme liquide dans le sous-sol croît. Ce sont-là également deux indices d'un réchauffement ou d'une dégradation. Pendant les années 2010, les températures observées dans le pergélisol ont été constamment très chaudes comparées à celles relevées il y a une quinzaine d'années, lorsque la plupart de ces mesures ont démarré (PERMOS 2016). Les gros éboulements[1] issus de zones de pergélisol semblent avoir été plus fréquents pendant les 20 années passées qu'au cours des 150 dernières années (Huggel et al. 2012).

Selon la compréhension actuelle des processus et les modèles informatiques, il est prévisible qu'un réchauffement continu conduira à un épaississement de la couche affectée par le dégel annuel et, de façon générale, à une hausse des températures dans le sous-sol. Dans ces conditions, le pergélisol continuera de se réchauffer et finira par se dégeler aussi bien dans des éboulis et glaciers rocheux que dans des fissures de rochers remplies de glace. Il est difficile de détailler les prévisions de ces effets à l'échelon local, vu qu'à part l'évaluation de l'évolution future, la détermination de la répartition géographique exacte des formations de pergélisol comporte de grandes incertitudes. Mais on peut dire, de façon générale, que le dégel des zones de pergélisol fera naître de nouveaux dangers dans des régions qui n'étaient pas concernées jusqu'ici. Des chutes de pierres et des éboulements, par exemple, pourraient se produire plus souvent et être de plus grande ampleur, ou l'augmentation des quantités de matériaux meubles pourrait accroître le risque de laves torrentielles lors de fortes précipitations. Ces dernières années déjà, de nouvelles ou plus fortes chutes de pierres ont été observées en différents endroits des Alpes. Les éboulements peuvent toucher directement des zones habitées ou des infrastructures. Mais s'ils se produisent au-dessus de lacs, existants ou nouveaux, ils peuvent déclencher une crue brutale ; l'étendue de la zone de danger augmente alors considérablement. Des mouvements et des tassements dans le sous-sol qui se réchauffe ou se dégèle peuvent influencer la durée de vie ou la stabilité d'infrastructures construites sur le pergélisol. Depuis quelques années, des installations de ski et de transport par câble ou des paravalanches font déjà l'objet de mesures destinées à atténuer les effets du réchauffement (fig. 2.4).

Les changements attendus affectant les glaciers et le pergélisol ont des incidences également sur le charriage. Des formations sédimentaires sont dégagées par la fonte des glaciers, et après le dégel du pergélisol, des corps détritiques, gelés jusqu'alors, sont davantage exposés à l'érosion. Des matériaux détritiques produits en plus grande abondance par les chutes de pierre peuvent accroître le

1 Volume d'au moins un million de kilomètres cubes

volume de charriage dans des lits de cours d'eau et déclencher ou renforcer des laves torrentielles. Une étude cantonale bernoise prévoit de grands changements du régime de charriage pendant les prochaines décennies, et ceci dans presque tous les bassins versants de l'Oberland bernois (AG NAGEF 2015). A Gutannen par exemple, le dégel du pergélisol, se combinant avec une forte augmentation des chutes de pierres et des laves torrentielles, a eu de graves impacts, ces dernières années, sur d'importantes infrastructures et sur le régime de charriage de l'Aar (cf. chap. Défis pour la recherche, la pratique et la société en lien avec les risques naturels causés par le climat – étude de cas à Haslital (canton de Berne), p. 70). En outre, les changee ments du volume de charriage ont une grande importance pour les aménagements hydroélectriques.

## Défis pour la Suisse

Les composantes de la cryosphère ont déjà réagi fortement – et dans le cas des glaciers aussi de façon bien visible – à l'évolution du climat. Les changements qui en résultent en haute montagne sont notables (cf. chap. 2.5 Dynamique des paysages et habitats polaires et alpins de haute altitude, p. 88) et il est certain qu'ils se poursuivront et se renforceront encore à l'avenir. La Suisse devra s'arranger avec de nouveaux paysages sans glaciers et avec les conséquences qui en découlent. Il faut s'attendre à de forts changements saisonniers du régime hydrologique (cf. chap. 2.4 Eau, p. 84), qui auront des impacts sur l'économie énergétique et sur l'agriculture (cf. chap. 3.4 Energie, p. 168, chap. 2.10 L'agriculture, p. 111), notamment en relation avec une augmentation probable de la fréquence des périodes de canicule et de sécheresse. Le déplacement de la limite de la neige et la détérioration des conditions d'enneigement sont de grands défis pour le tourisme (cf. chap. 2.11 Tourisme, p. 117). En outre, le secteur de l'énergie, les transports et les zones habitées seront de plus en plus touchés par des changements du régime sédimentaire et par des éboulements et des laves torrentielles. Il en résultera de nouveaux défis en matière de gestion des dangers et des risques et pour l'exploitation et la sécurité des infrastructures (cf. chap. 2.12 Bâtiments et infrastructures, p. 121).

### Bibliographie


Abegg B, Steiger R, Walser R (2013) **Aktuelle und zukünftige Schneesicherheit der Bündner Skigebiete.** In: Herausforderung Klimawandel: Chancen und Risiken für den Tourismus in Graubünden. Amt für Wirtschaft und Tourismus & Bergbahnen Graubünden.

ACQWA (2013) **Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water.** A large integrating project under EU Framework Programme 7 (FP7), coordinated by the University of Geneva, Switzerland (2008–2013). www.acqwa.ch

AG NAGEF – Groupe de travail des dangers naturels du cantone de Berne (2015) **Klimawandel und Naturgefahren – Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen.** Berne, 36 pp.

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

Finger D, Heinrich G, Gobiet A, Bauder A (2012) **Projections of future water resources and their uncertainty in a glacierized catchment in the Swiss Alps and the subsequent effects on hydropower production during the 21st century.** Water Resources Research 48: W02521.

Huss M (2011) **Present and future contribution of glaciers to runoff from macroscale drainage basins in Europe.** Water Resources Research 47: W07511.

Huggel C, Allen S, Deline P, Fischer L, Noetzli J, Ravanel L (2012) **Ice thawing, mountains falling—are alpine rock slope failures increasing?** Geology Today 28: 98–104.

Jouvet G, Huss M, Funk M, Blatter H (2011) **Modelling the retreat of Grosser Aletschgletscher, Switzerland, in a changing climate.** Journal of Glaciology 57: 1033–1045.

Linsbauer A, Paul F, Machguth H, Haeberli W (2013) **Comparing three different methods to model scenarios of future glacier change in the Swiss Alps.** Annals of Glaciology 54: 241–253.

NELAK (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation des nouveux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques.** PNR 61. Haeberli W, Bütler M, Huggel C, Müller H, Schleiss A (eds.). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 300 pp.

PERMOS (2016) **Permafrost in Switzerland 2010/2011 to 2013/2014.** Noetzli J, Luethi R, Staub B (eds.). Glaciological Report (Permafrost) No. 12–15 of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences.

Radić V, Bliss A, Beedlow AC, Hock R, Miles E, Cogley JG (2013) **Regional and global projections of the 21st century glacier mass changes in response to climate scenarios from GCMs.** Climate Dynamics 42: 37–58.

Salzmann N, Machguth H, Linsbauer A (2012) **The Swiss Alpine glaciers' response to the global «2 °C air temperature target».** Environmental Research Letters 7: 044001.

Serquet G, Marty C, Rebetez M, Dulex JP (2011) **Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation day ratio in Switzerland.** Geophysical Research Letters 38: L07703.

Schmucki E, Marty C, Fierz C, Lehning M (2015) **Simulations of 21st century snow response to climate change in Switzerland from a set of RCMs.** International Journal of Climatology 35: 3262–3273.

# 2.4 Eau

**Les changements climatiques vont engendrer des transformations marquantes du cycle de l'eau – avec des conséquences majeures comme la pénurie d'eau en été et la remise en cause des bases de la vie en raison des inondations. L'état des connaissances permet de réagir en Suisse aux changements climatiques par une approche intégrative, dans le domaine de l'eau également. En plus de mesures visant à les juguler, il est nécessaire de prendre aussi des mesures d'adaptation aux conséquences des changements climatiques. Etant donné qu'on peut d'ores et déjà évaluer avec une certitude relativement grande les caractéristiques de la situation hydrologique future, une action est déjà possible. Il faut également tenir compte des mutations socioéconomiques qui auront un impact considérable sur la demande future en eau. Il convient donc de mettre en place une gestion de l'eau ainsi que des instruments de planification régionaux prenant en considération tous les aspects.**

*Rolf Weingartner (Université de Berne), Ole Rössler (Université de Berne)*

« L'eau, c'est la vie. » La disponibilité de l'eau joue un rôle capital dans l'approvisionnement en eau potable, la production agricole et industrielle ainsi que la production d'énergie. Mais un excès d'eau peut aussi compromettre la vie et occasionner des dommages, par exemple, en raison des crues ou des coulées de boue. Toute modification du cycle de l'eau en raison des changements climatiques a donc des conséquences directes pour l'Homme et l'environnement. Cependant, les processus du cycle de l'eau sont complexes et ne sont pas uniquement influencés par les changements climatiques.

Schématiquement, le système Eau est un équilibre entre les ressources en eau disponibles et la consommation (fig. 2.5). Le climat, les conditions socioéconomiques et l'action politique sont des conditions cadres déterminantes à prendre en compte dans la gestion de l'eau. Idéalement, il va falloir adopter à la fois des mesures d'adaptation aux changements survenus et futurs, mais aussi des mesures visant à juguler les changements climatiques et à réduire leur impact.

## Situation mondiale

Selon le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, il est *probable* qu'au cours des 50 dernières années, le cycle mondial de l'eau a changé en raison d'un réchauffement du climat dû à l'activité humaine (IPCC 2014/SYR/SPM). On a notamment observé une augmentation de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère, un déplacement des modèles de précipitations régionaux ainsi qu'une intensification des fortes précipitations. Parallèlement, les périodes pauvres en précipitations et les vagues de chaleur ont augmenté. Dans les régions de montagnes et aux latitudes hautes, les glaciers fondent et l'importance de la neige dans le cycle de l'eau diminue.

L'évolution des précipitations est déterminante pour la physionomie future du cycle de l'eau. Dans les statistiques annuelles de précipitations, on constate une augmentation dans les latitudes humides élevées et moyennes[1] et une diminution dans les régions sèches des latitudes moyennes ainsi que dans les régions subtropicales sèches. Ces changements vont s'accentuer dans la seconde moitié du XXIe siècle, ce qui signifie que les contrastes géo-

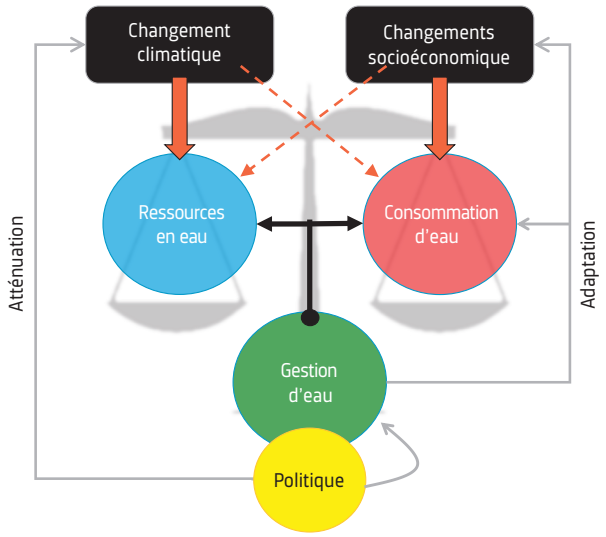



Figure 2.5 : Une gestion au niveau régional constitue la clé d'une utilisation optimale de l'eau. L'objectif est de mettre en place une gestion durable de la ressource eau, c'est-à-dire d'adapter la demande aux ressources. Un changement des conditions cadres climatiques et/ou socioéconomiques influence à la fois la demande et les ressources, ce qui implique l'adoption de mesures d'adaptation d'ordre politique. Mais une politique prospective doit aussi impérativement viser la réduction des gaz à effet de serre.
(Source : figure élaborée par les auteurs)

1 Riches en précipitations

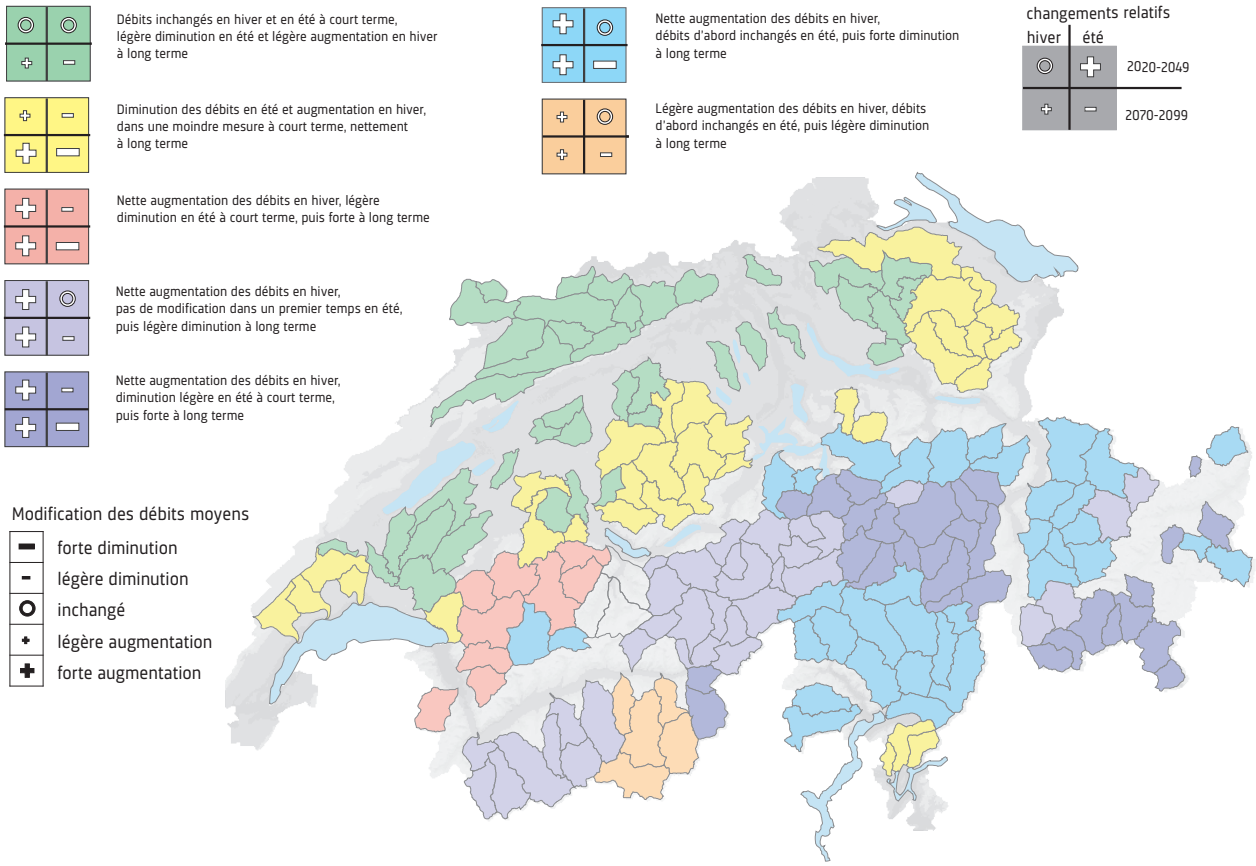



Figure 2.6 : Régions appelées à connaître des changements similaires du débit saisonnier en raison des changements climatiques. On considère les valeurs moyennes des deux périodes 2020-2049 et 2070-2099. Les calculs sont fondés sur le scénario des émissions moyennes SRES-A1B. Toutes les régions indiquent une augmentation des débits en hiver et une diminution en été, le moment et l'ampleur des changements variant suivant la région. La région alpine (tons bleus) est particulièrement concernée, tandis que le Plateau, le Jura, les Préalpes ainsi que les régions à très haute altitude du sud du Valais (marron clair) le sont moins. (Source : Rössler et al. 2014)

graphiques et saisonniers entre « sec » et « humide » vont continuer de se renforcer. L'augmentation ou la diminution des quantités de précipitations ont des effets directs sur les débits et la recharge des nappes phréatiques. Les conséquences de ces changements sont multiples. Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC cite notamment les aspects suivants :

- Grave détérioration voire destruction des bases de la vie en raison des crues plus importantes.
- Difficultés dans l'approvisionnement alimentaire dues à une variabilité accrue des précipitations et aux risques naturels accrus.
- Détérioration des conditions de vie et de la situation économique en raison d'un accès plus difficile à une eau potable sûre et d'une moindre disponibilité de l'eau d'irrigation.
- Pertes d'écosystèmes (hydrologiques) avec des conséquences négatives sur la biodiversité et les performances.

Un grand nombre de ces risques concernent les zones urbaines dans lesquelles vit actuellement 50 pour cent de la population mondiale, sachant que ce chiffre passera à environ 65 pour cent au milieu du siècle (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung 2016).

D'ici la fin du XXIe siècle, le volume total des glaciers reculera de 15 à 85 pour cent selon l'importance du réchauffement. En outre, il est certain que, dans l'hémisphère Nord, la couverture neigeuse au printemps va diminuer (IPCC 2014/SYR/SPM; chap. 1.9 Les océans et la cryosphère, p. 60, chap. 2.3 Neige, glaciers et pergélisol, p. 80). Dans ce contexte, il convient de souligner que, dans bien des endroits, les modifications de la couverture neigeuse auront des répercussions plus importantes sur le régime hydrologique que la fonte des glaciers.

## Suisse – contours de l'avenir hydrologique

Dans l'état actuel des connaissances, les précipitations annuelles totales en Suisse ne varieront pas significativement par rapport à leur niveau actuel. En effet, le pays se trouve dans la zone de transition entre l'Europe du Nord où les précipitations augmenteront et l'Europe du Sud où elles diminueront. Il faut cependant s'attendre à des changements, parfois importants, sur le plan des saisons : les projections climatiques indiquent une diminution des précipitations en été, et une légère augmentation de celles-ci en hiver, surtout au sud du pays (Fischer et al. 2014). La diminution en été – ici, toutes les projections climatiques concordent – va engendrer des phases de sécheresse plus longues, entrecoupées de précipitations plus intenses.

S'il subsiste encore des incertitudes importantes à propos des changements saisonniers concernant les précipitations, l'augmentation de la température de l'air est *très probable*, ce qui a des conséquences notables sur la neige et les glaciers, et donc sur le régime hydrologique. Les considérations suivantes illustrent le phénomène. En Suisse, la part de l'eau de fonte dans le débit annuel, qui est actuellement d'environ 40 pour cent, va diminuer pour atteindre environ 24 pour cent – avec une incidence notable sur le comportement saisonnier du débit (cf. chap. 1.7 Le cycle hydrologique, p. 46).

### Redistribution saisonnière des débits

Les simulations modélisées concernant les effets des changements des températures et des précipitations sur le débit ont permis d'identifier sept régions de Suisse non contiguës où l'incidence sera identique. Dans toutes les régions, on observe une diminution plus ou moins importante des débits en été et une augmentation en hiver. Il existe donc une redistribution saisonnière des débits, pour des quantités restant constantes sur l'ensemble de l'année. Les changements les plus importants s'observeront probablement dans la région alpine et à long terme (après 2050). De façon générale, on peut résumer comme suit la situation dans les sept régions :

- Sur le Plateau et dans le sud du Tessin, les débits suivent les précipitations : dans un avenir proche, les débits moyens resteront pratiquement inchangés, tandis qu'une redistribution saisonnière interviendra à long terme. L'évolution du débit suit donc les projections de changement des précipitations (cf. ci-dessus). La légère augmentation des débits en hiver est également imputable à l'augmentation des températures, qui se traduit par une diminution du stockage des précipitations sous forme de neige.
- Les débits dans les bassins versants alpins couverts de neige à certaines saisons et comportant parfois des glaciers sont surtout fonction de la température, ce qui signifie que la fonte des neige et des glaciers est prédominante dans l'évolution du débit : l'augmentation de la température de l'air entraîne une augmentation de l'altitude de l'isotherme zéro degré et donc une plus forte proportion de pluie. Ce phénomène se traduit à son tour par une augmentation des débits au cours du semestre d'hiver. En outre, aux altitudes inférieures et moyennes, la fonte des neiges intervient plus tôt. Les débits diminuent donc en mai et en juin. De juillet à septembre, les débits continuent de baisser en raison de la réduction voire de l'absence de fonte des glaciers. Exception : les bassins versants situés à très haute altitude au sud du Valais pour lesquels le changement lié à la température est moins marqué.

Une forte diminution des débits en été a de lourdes conséquences sur l'approvisionnement en eau. De même, elle augmente le risque d'élévation importante de la température de l'eau, car les eaux peu profondes se réchauffent davantage et renforcent encore l'augmentation de la température de l'air prévue. L'élévation de la température et de la limite de chute des neiges qui en découle va accroître dans tous les bassins versants l'influence directe des précipitations liquides, ce qui augmentera la variabilité intra- et interannuelle du débit. Toutes les projections de changements liés à la température de l'air, et en particulier le transfert des débits de l'été vers l'hiver, peuvent être considérées comme très sûres. Ces connaissances permettent d'ores et déjà de planifier et de mettre en œuvre les premières mesures d'adaptation.

## Evénements extrêmes

Les prévisions confirmant l'évolution future des crues et basses eaux extrêmes (cf. chap. 1.8 Extrêmes climatiques et météorologiques, p. 52) sont encore incertaines. Cela s'explique d'une part par le fait que la modélisation des événements météorologiques extrêmes dans les modèles climatiques présente encore de grandes faiblesses. D'autre part, l'ampleur d'une crue dépend de différents facteurs, si bien qu'il n'est pas possible de conclure à une augmentation des grandes crues et/ou des pics de crues uniquement sur la base de l'intensification des fortes précipitations liée au climat. Mais à partir des projections d'augmentation des températures, il est possible de déduire que la saison des crues dans l'espace alpin va s'allonger (Köplin et al. 2014) et que le volume des crues va augmenter. En outre, les périodes de basses eaux sur le Plateau vont devenir plus fréquentes et plus intenses (OFEV 2012).

## Les défis pour la Suisse

Nous le disions en introduction, la réduction des émissions des gaz à effet de serre est le moyen le plus efficace de réagir au changement climatique et à ses conséquences – également du point de vue de l'eau (Rössler et al. 2014). Mais des mesures d'adaptation sont aussi nécessaires.

La planification des mesures d'adaptation requiert une analyse globale. Outre le changement climatique, il faut aussi prendre en considération le changement socioéconomique qui a une influence considérable sur la demande future en eau et sur les paysages (Reynard et al. 2013). Les impacts du changement socioéconomique pourraient être nettement plus importants que les conséquences des changements climatiques, en particulier sur le Plateau suisse, dans le Jura et dans les Préalpes (PNR 61 2015). C'est la raison pour laquelle il est impératif de créer des instruments de planification régionaux intégrant tous les aspects de l'eau. Il convient de concevoir la gestion de l'eau de telle sorte que les ressources soient prises en compte et que la répartition de l'eau demandée s'effectue selon des règles claires et justes (fig. 2.5), et qu'il soit possible de réagir avec souplesse aux futures périodes de sécheresse et de crues. Ainsi, la construction de nouveaux réservoirs et l'utilisation accrue des réservoirs existants permettraient de supporter les pénuries estivales tout en atténuant les pics de crues. L'objectif de telles mesures est de recueillir l'eau disponible en grande quantité durant l'hiver ou les phases de crues, pour la rendre disponible pour les différents utilisateurs pendant les périodes de sécheresse estivales.

### Bibliographie


Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (2016) **Steigende Weltbevölkerung und die Hauptursachen**. www.dsw.org

Fischer A, Keller D, Liniger M, Rajcak J, Schär CH, Appenzeller C (2014) **Projected changes in precipitation intensities and frequency in Switzerland: a multi-model perspective**. International Journal of Climatology 35: 3204–3219.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Synthesis Report (SYR)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/syr

Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2012) **Relating climate change signals and physiographic catchment properties to clustered hydrological response types**. Hydrology and Earth System Sciences 16: 2267–2283.

Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2013) **Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change**. Hydrological Processs 28: 2567–2578.

MétéoSuisse (2013) **Scénarios climatiques Suisse – un aperçu régional**. Edition 243.

OFEV (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, Berne. Connaissance de l'environnement 1217: 76 pp.

PNR 61 (2015) **Gestion durable de l'eau en Suisse – Le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir**. Synthèse globale du Programme national de recherche PNR 61 «Gestion durable de l'eau», Berne. www.nfp61.ch

Reynard E, Bonriposi M, Graefe O, Herweg K, Homewood C, Huss M, Kauzlaric M, Liniger H, Rey E, Rist S, Schädler B, Schneider F, Weingartner R (2013) **MontanAqua**. Anticiper le stress hydrique dans les Alpes – Scénarios de gestion de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Valais).

Rössler O, Addor N, Bernhard L, Figura S, Köplin N, Livingstone DM, Schädler B, Seibert J, Weingartner R (2014) **Hydrological responses to climate change: river runoff and groundwater**. In: CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 57– 66.

# 2.5 Dynamique des paysages et habitats polaires et alpins de haute altitude

**L'évolution du climat entraîne des changements particulièrement marqués des paysages et habitats des régions froides. Ils sont perceptibles aujourd'hui déjà, mais s'accentueront à l'avenir, et ont des impacts à tous les niveaux, de local à mondial. En tant que pays alpin, la Suisse est également concernée. L'adaptation aux conséquences du changement climatique requiert un débat ouvert, une planification participative, des approches intégratives et des scientifiques dont les travaux portent sur la modification des géo- et écosystèmes.**

*Wilfried Haeberli (Université de Zurich)*

## Paysage et changement climatique

Le paysage en tant qu'environnement visible et perçu comme espace de vie de l'homme est un système complexe en réseau où des éléments objectifs se combinent avec des perceptions subjectives de conditions naturelles (paysage naturel) et d'activités humaines (paysage culturel). Les paysages peuvent jouer un rôle essentiel dans l'identité des hommes et des sociétés. Les moteurs des changements paysagers sont la nature (géologie, climat, eau, végétation) et l'homme dont les activités et infrastructures (notamment l'urbanisation, l'agriculture, la production d'énergie, l'économie hydraulique, les transports) modifient la surface du globe à différentes échelles de temps.

Le paysage subit aussi l'influence du changement climatique. Les effets dus au climat se manifestent clairement ou prédominent là où
- le changement climatique est particulièrement fort,
- des éléments du paysage réagissent de façon très sensible aux changements du climat et
- d'autres influences – avant tout des interventions directes de l'homme – restent limitées.

Ces conditions sont remplies dans des régions froides des latitudes élevées et en haute montagne. De ce fait, ces sites sont déjà en train de se transformer rapidement.

### Les changements du paysage sont perçus de diverses manières

La perception, le classement et l'appréciation des changements paysagers sont différents à l'échelon local, régional et mondial et se modifient au cours du temps (Gagné et al. 2014). Par exemple, la « blancheur immaculée des neiges éternelles » des montagnes a été considérée à l'époque romantique, de même que dans différentes cultures locales, comme symbole d'une relation intacte de l'homme avec son environnement et exploitée avec succès pour promouvoir le tourisme dans les Alpes (Haeberli & Zumbühl 2003). Aujourd'hui, le recul des glaciers témoigne de façon exemplaire du réchauffement planétaire. Du niveau local à régional, des questions pratiques se posent par exemple au sujet de la force hydraulique, des ressources en eau, du tourisme, de la protection du paysage et des dangers naturels. Dans l'approche de questions de ce genre, il importe de tenir compte de différentes appréciations et d'objectifs divergents, pour développer des stratégies d'adaptation bénéficiant d'un haut degré d'acceptation.

### Les changements du paysage ont un impact sur la société et l'économie

Des changements du paysage de régions spécifiques peuvent avoir des répercussions à grande échelle et des effets socioéconomiques de portée considérable. La diminution de la neige et de la glace dans les Alpes, par exemple, influence les cours d'eau en plaine et l'attrait touristique des pays alpins. Avec la progression du changement climatique, il est prévisible que des effets problématiques se manifesteront aussi dans des régions non touchées jusqu'à présent. A long terme, l'élévation du niveau de la mer comme conséquence de la fonte des glaciers modifiera les paysages littoraux dans le monde entier et mettra en danger des zones densément peuplées. Les phénomènes dont l'impact sur le paysage est observé aujourd'hui déjà dans des régions froides sont les signes précurseurs de changements de beaucoup plus grande ampleur et pratiquement irréversibles à l'échelle de temps humaine.

## La dynamique globale

Les changements les plus manifestes attribuables au changement climatique ont lieu dans les vastes espaces froids des hautes latitudes et dans les régions froides de montagne (UNEP 2007, IPCC 2013/WGI/Chap.4; IPCC 2014/WGII/Chap.3 et Chap.18).

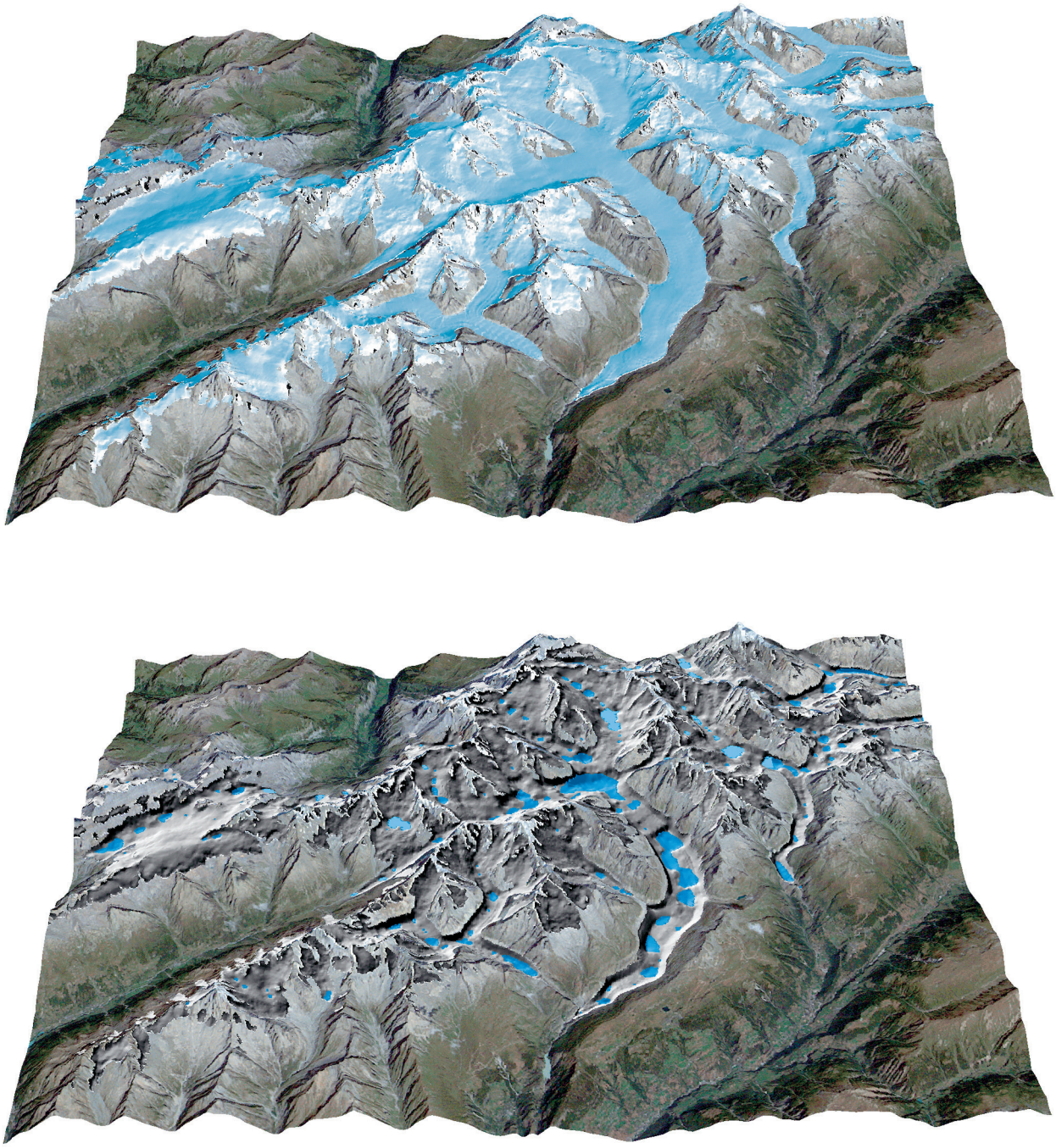


Figure 2.7 : La région Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn (patrimoine mondial naturel de l'UNESCO) avec et sans glaciers. Dans l'image sans glaciers, les surcreusements modélisés des lits de glaciers sont marqués en bleu comme lacs potentiels. (Source : Andreas Linsbauer, Institut de Géographie, Université de Zurich)

## Les régions polaires se transforment de façon radicale

Le recul de la banquise arctique entraîne une réduction de la surface du globe recouverte de neige et, de ce fait, une diminution de l'albédo[1] – ce changement du paysage renforce le réchauffement planétaire. Il ouvre en même temps de nouvelles possibilités économiques, notamment pour l'extraction de matières premières et pour les voies de transport. L'absence de glace en été, envisageable d'ici quelques décennies déjà, permettrait de raccourcir les liaisons maritimes entre l'Atlantique et le Pacifique et conduirait alors à l'exploitation, mais aussi à la mise en danger, de paysages, écosystèmes et habitats indigènes encore largement intacts. La menace sur l'habitat de l'ours polaire est déjà devenue un symbole fort de cette évolution.

La fonte accélérée des shelfs, de même que le recul rapide de glaciers émissaires des deux inlandsis (Groenland et Antarctique), se déroulent très à l'écart des activités humaines, mais ont des incidences sur la stabilité d'énormes masses de glace, la montée du niveau de la mer et la mise en danger des sites insulaires et littoraux du monde entier. En plus de libérer des gaz à effet de serre supplémentaires, le dégel du pergélisol accroît la perméabilité du sous-sol, ce qui modifie l'hydrographie dans de vastes aires subpolaires et fait surtout disparaître des zones humides de grande étendue et de nombreux lacs. L'effet conjugué de l'élévation du niveau de la mer, de l'amenuisement de la banquise et du dégel du pergélisol renforce l'érosion des côtes aux hautes latitudes, déjà rapide aujourd'hui. Le déplacement à grande échelle de la forêt de conifères boréale, sensible à la température, au détriment des régions de toundra prend beaucoup de temps et est influencé par la transformation du pergélisol sous-jacent.

## Les paysages de haute montagne subissent eux aussi de profonds changements

Les paysages et habitats des régions froides s'écartent toujours plus des états d'équilibre dynamique qui se sont développés pendant la période postglaciaire (holocène) relativement stable du point de vue climatique. Cela vaut également pour les paysages des hautes montagnes du globe, dont les caractéristiques et les fonctions subissent de profonds changements du fait de la diminution de la neige et de la glace. Les Alpes suisses sont un exemple particulièrement bien documenté de cette évolution. (cf. chap. 2.3 Neige, glaciers et pergélisol, p. 80).

1 Le terme d'albédo (du latin albus, blanc) désigne le rapport entre la lumière réfléchie et incidente. Les surfaces claires que la neige et la glace forment sur la Terre réfléchissent une grande partie du rayonnement solaire incident. Elles influencent ainsi le bilan radiatif global et le climat mondial.

## La dynamique du paysage dans les montagnes suisses

Les notions de *montagne, forêt, eau et ville* jouent un rôle central dans l'histoire du débat sur le paysage et l'environnement en Suisse (Haeberli 2011). Les changements du climat influencent en premier lieu l'eau, la forêt et les montagnes. Il est prévisible que les bords des cours d'eau et des lacs auront toujours plus à subir les atteintes dues à des modifications saisonnières des conditions d'écoulement, telles que les étiages et les exondations estivaux, et que les écosystèmes forestiers seront de plus en plus affectés dans leurs fonctions d'éléments essentiels du paysage et d'habitat (Björnsen Gurung & Stähli 2014). Il faut s'attendre à la substitution des conifères par les feuillus dans les forêts du Plateau (chênes et hêtres au lieu d'épicéas), à la désertification des régions sèches, à des incendies de forêt et à une élévation de la limite de la forêt (cf. chap. 2.9 La forêt, p. 106). Les effets du changement climatique devraient être particulièrement marqués dans les montagnes, lesquelles occupent historiquement déjà une place importante dans l'identité de la Suisse (Walter 1996). Avec l'augmentation des températures, l'étendue et la durée des paysages d'hiver enneigés diminueront. Les étages altitudinaux caractéristiques ne se déplacent pas simplement à plus haute altitude, mais se modifient, parce que des éléments de leurs géo- et écosystèmes, tels que l'eau et la neige, les sols, les plantes ou l'érosion, réagissent différemment et en partie avec un grand retard.

## Les glaciers alpins : une image de marque de la Suisse est en train de disparaître

Il est prévisible que la majeure partie de l'univers des glaciers alpins disparaîtra encore pendant ce siècle, emportant avec lui une image de marque du tourisme suisse, intériorisée par plusieurs générations et exploitée commercialement avec succès. Les glaces présumées éternelles font place à grande vitesse à un nouveau paysage, fait de rochers, éboulis, maigre végétation et nombreux lacs, la plupart de petite taille. Le lent dégel du pergélisol diminue à la longue la stabilité des flancs de montagne, en maints endroits très raides. Il en résulte des éboulements plus fréquents, en partie de grande ampleur. Des déséquilibres prononcés laisseront pour des siècles leur empreinte dans ce paysage.

## Défis et approches de solutions pour la Suisse

Une première étape décisive consiste à lancer, à tous les niveaux, le débat nécessaire de toute urgence sur notre relation aux nouveaux paysages, de montagne avant tout. La Conception « Paysage suisse » (OFEFP 1998) n'aborde pas encore les changements du paysage dus à l'évolution du climat : la notion de « climat » n'y est pas traitée et celle de « paysages alpins en haute altitude » ou de « haute montagne » n'y apparaît qu'en relation avec la défense nationale et l'aviation (bruit dans les régions protégées). Le Programme national de recherche 48 *Paysages et habitats de l'arc alpin* a déjà traité le sujet de façon approfondie (la haute montagne principalement par Haeberli et al. 2007). Mais il faudra très bientôt poser des jalons pour de nombreuses générations à venir. Des questions fondamentales attendent une réponse, par exemple :

- Quels moyens d'existence économiques les régions de montagne peuvent et doivent-elles avoir à l'avenir, leurs paysages de neige et de glace ayant changé ?
- A quoi faut-il prêter attention pour maintenir et développer la production d'énergie et le tourisme ?
- Peut-on laisser à eux-mêmes les nouveaux paysages qui se forment en haute montagne, en dépit de leurs instabilités ?
- Qu'est-ce qu'une marge proglaciaire digne d'être protégée s'il n'y a plus de glacier ?
- Quel sens aura l'inscription au patrimoine mondial naturel de l'UNESCO pour la région Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn où le plus grand glacier des Alpes se désagrège et finira par disparaître ?
- De telles questions doivent-elles être traitées au niveau communal et cantonal ou vaut-il mieux les aborder à l'échelon national, voire international –, étant donné la grande extension des hautes Alpes ?

Des concepts fondamentaux et consensuels d'utilisation et de protection des nouveaux paysages peuvent être élaborés sur la base d'un débat ouvert et d'une planification participative. Il faut pour cela des données scientifiques sur les caractéristiques, la dynamique et les principaux déséquilibres des nouveaux paysages – un domaine de recherche inter- et transdisciplinaire voit le jour actuellement à ce sujet. La perspective cloisonnée et sectorielle qui domine encore largement doit être complétée par des approches systémiques. L'exemple des chaînes de processus, où des chutes de pierres et de glace provenant de flancs de montagne très raides et déstabilisés tombent dans de nouveaux lacs et y produisent brusquement de hautes vagues qui peuvent provoquer des crues jusque loin en aval, illustre la nécessité de telles approches (NELAK 2013 ; cf. chap. 2.6 Dangers naturels provoqués par des changements du système climatique : chaînes de processus et risques complexes, S. 92).

### Bibliographie


Bhatt US, Walker DA, Walsh JE, Carmack EC, Frey KE, Meier WN, Moore SE, Parmentier F-JW, Post E, Romanovsky VE, Simpson WR (2014) **Implications of arctic sea ice decline for the earth system.** Annual Review of Environment and Resources 39: 57–89.

Björnsen Gurung A, Stähli M (2014) **Ressources en eau de la Suisse: Ressources disponibles et utilisation – aujourd'hui et demain.** Synthèse thématique 1 dans le cadre du du Programme national de recherche PNR 61 «Gestion durable de l'eau», Berne. www.nfp61.ch

Gagné K, Rasmussen MB, Orlove B (2014) **Glaciers and society: attributions, perceptions, and valutations.** WIREs Climate Change 5: 793–808.

Haeberli W, Zumbühl HJ (2003) **Schwankungen der Alpengletscher im Wandel von Klima und Perzeption.** In: Jeanneret F et al. (eds): Welt der Alpen – Gebirge der Welt. Haupt, Bern: 77–92.

Haeberli W, Keller F, Krüsi B, Egli M, Rothenbühler C, Meilwes J, Gruber S (2007) **GISALP – Raum-zeitliche Information über schnelle Klimaänderungen in hochalpinen Umweltsystemen als strategisches Werkzeug für Analyse, Kommunikation, partizipative Planung und Management im Tourismusgebiet Oberengadin.** Rapport PNR 48, Fonds National Suisse, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 213 pp.

Haeberli W (2011) **Umweltveränderungen und Naturgefahren.** In: Schneider-Sliwa R (ed.): Schweiz – Geographie, Geschichte, Wirtschaft, Politik, WBG Länderkunden, 169–175.

IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WGI).** Chapter 4 «Observations: Cryosphere». www.ipcc.ch/report/ar5/wg1

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 3 «Freshwater resources». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 18 «Detection and attribution of observed impacts». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

NELAK (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques.** Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61). www.nfp61.ch

OFEFP (1998) **Conception «Paysage suisse».** Partie I Conception, Partie II Rapport.

UNEP (2007) **Global outlook for ice & snow.** UNEP/GRID-Arendal, Norway, 235 pp.

Walter F (1996) **Bedrohliche und bedrohte Natur – Umweltgeschichte der Schweiz seit 1980.** Chronos Verlag, Zurich, 244 pp.

# 2.6 Dangers naturels provoqués par des changements du système climatique : chaînes de processus et risques complexes

**De nombreux dangers naturels, tels que les inondations, les sécheresses ou les glissements de terrain, dépendent fortement de changements du système climatique, en premier lieu de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité d'événements extrêmes. Les changements affectant les dangers naturels sont le résultat de processus complexes et ont des incidences sur l'ampleur à venir des dommages possibles. Les risques diffèrent beaucoup selon la région et dépendent essentiellement de facteurs socioéconomiques et sociaux. Les processus et interactions connexes ne sont compréhensibles que si l'on analyse de façon approfondie l'action conjuguée des systèmes naturels et des systèmes sociaux et socioéconomiques concernés. Or, de nombreuses lacunes et incertitudes subsistent à ce sujet.**

*Martin Hoelzle (Université de Fribourg), Reynald Delaloye (Université de Fribourg),*
*Margreth Keiler (Université de Berne), Nadine Salzmann (Université de Fribourg),*
*Yvonne Schaub (Université de Zurich), Markus Zimmermann (NDR Consulting GmbH et Université de Berne)*

## La situation mondiale

Au niveau mondial, les simulations du climat futur au moyen de modèles climatiques servent de base aux évaluations des conséquences du changement climatique attendu. Il en découle que l'humanité est confrontée aux défis clés suivants :
- l'élévation du niveau de la mer,
- le réchauffement des océans,
- l'intensification du cycle hydrologique et
- les lents changements de l'offre en eau (temps de plus en plus humide ou sec).

L'intensification ou l'accélération du cycle hydrologique (davantage d'eau s'évapore et tombe ensuite sous forme de précipitations), le réchauffement des océans et la montée du niveau de la mer aggravent le risque de tempêtes et d'inondations sur de nombreux littoraux et augmentent le danger de crues dans différentes régions du globe (« aléas », cf. chap. 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC, p. 77). De nombreuses régions côtières sont denséément peuplées et continuent de s'urbaniser. C'est pourquoi de telles zones seront particulièrement sujettes à l'avenir à des risques élevés et donc à des dommages – d'une part en raison de l'accroissement du coût des objets exposés, telles qu'infrastructures publiques et biens privés, d'autre part du fait de l'augmentation des événements extrêmes (« exposition », cf. chap. 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC, p. 77).

De grands efforts sont nécessaires dans les différents pays – notamment ceux en développement – de même qu'à l'échelon international pour ramener ou maintenir pendant les décennies à venir les risques à un niveau contrôlable et pour éviter autant que possible l'apparition de nouvelles menaces. Un aspect déterminant à cet égard est l'ampleur des moyens dont disposent les sociétés respectives en matière de gestion et prévention des risques ainsi qu'en termes de développement économique et social ; un facteur décisif est aussi leur niveau d'exposition, de vulnérabilité et de résilience (capacité de résister, cf. chap. 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC, p. 77).

Un défi majeur lors de l'évaluation des risques futurs découlant de dangers naturels sont les incertitudes relatives au changement à long terme de la variabilité climatique naturelle en combinaison avec les changements anthropiques. Des études récentes confirment que les événements extrêmes augmentent de façon générale avant tout en matière de fortes précipitations et de sécheresse (Rajczak et al. 2013; Fischer et al. 2014; IPCC 2012/SREX; cf. chap. 1.8 Extrêmes climatiques et météorologiques, p. 52). On ne sait pas non plus de façon sûre comment l'exposition et la vulnérabilité des zones menacées se développeront, car cela dépend de décisions politiques, de conditions économiques et de transformations sociales. Même s'il existe des mesures de réduction des risques économiquement payantes, un défi réside dans les limites techniques et financières qui font souvent obstacle à leur mise en œuvre et dans les enchaînements complexes de processus. En Thaïlande, par exemple, un tel enchaînement a eu pour effet en 2011 de mettre une partie importante des infrastructures hors d'état de fonctionner à la suite d'inondations de grande étendue, ce qui a eu un très grave impact sur les moyens d'existence.

## La situation nationale

### Systèmes en transformation

Les changements mondiaux du climat se manifestent localement de façons très différentes, même à l'intérieur de frontières nationales en cas de variabilité spatiale élevée

Figure 2.8 : Chaînes de processus se rapportant aux dangers naturels dans les Alpes suisses : A gauche : Sur des pentes raides, des processus gravitaires et/ou hydrauliques peuvent transporter des quantités relativement importantes de matériaux meubles de zones de haute altitude (voire glaciaires et périglaciaires) directement dans les vallées, comme ici dans l'exemple d'un chenal profondément érodé dans la vallée de Zermatt, en Valais. Au milieu : Les phénomènes de déclenchement sont complexes, mais souvent régis par le climat. Ici, par exemple, des laves torrentielles ont été provoquées en juin 2013 par une forte fonte de neige sur le front d'un glacier rocheux s'écoulant à vitesse accélérée en raison du changement climatique. A droite : Dans les zones de transport et/ou de dépôt se trouvent souvent des infrastructures tels que routes, installations ferroviaires, ponts ou maisons, dont l'exposition à des dangers naturels apparus en partie récemment doit être soigneusement examinée.
(Source : Reynald Delaloye, 2009-2013, vallée de Zermatt – VS)

de la topographie, de l'utilisation du sol etc. Des données d'observation à long terme relatives à l'atmosphère et aux systèmes terrestres sont nécessaires pour évaluer le développement du climat local. Elles sont récoltées aujourd'hui au niveau mondial sous le nom de « Essential Climate Variables » (ECV) dans le cadre du Global Climate Observing Systems (GCOS) (2010). Elles permettent

- de mieux comprendre, dans le système Terre, des processus et chaînes de processus influencés par le climat,[1]
- de valider et calibrer des modèles climatiques, terrestres et autres,
- de mieux saisir les variabilités naturelles du passé et
- de mieux évaluer les effets du changement climatique à l'échelon régional.

Il existe aujourd'hui des premières approches pour appréhender globalement des chaînes de processus qui influencent le climat. Elles comportent néanmoins encore de grandes incertitudes en rapport avec de nombreuses rétroactions. La plupart du temps, la modélisation de ces chaînes de processus est fortement hiérarchisée. Elle part de modèles climatiques globaux, qui alimentent ensuite des modèles locaux sans retour d'information de ces derniers.

**Les régions à topographie marquée sont particulièrement touchées**

Les premières expériences avec de tels modèles de processus montrent que la Suisse doit se préparer à de nouveaux développements et à des changements en matière de dangers naturels, ceci avant tout dans les zones à topographie marquée. Alors que les précipitations annuelles moyennes ne présentent pas de tendances claires dans les scénarios climatiques, il faut compter – surtout au sud – avec davantage de longues périodes sèches en été. En même temps, il est probable que les canicules augmenteront en été et que les températures augmenteront aussi en hiver (CH2011) (cf. chap. 1.6 La température, p. 40, chap. 1.7 Le cycle hydrologique, p. 46).

Une telle évolution modifie fortement les paysages de haute montagne, par exemple en agissant sur la fonte des glaciers et donc aussi sur la disponibilité en eau (Salzmann et al. 2012). Le changement climatique a en outre des incidences sur la stabilité des pentes, à court aussi bien qu'à long terme (Huggel et al. 2012). Il s'ensuit qu'il influence fortement des processus gravitaires, tels que les glissements de terrain, les laves torrentielles et

1 On entend ici par chaîne de processus une succession de processus couplés (par exemple physiques, chimiques, anthropiques) échelonnés dans le temps.

les éboulements, dans la zone de la cryosphère alpine en rapide transformation. Une autre conséquence du recul des glaciers est la formation de nouveaux lacs – un phénomène qui s'intensifiera à l'avenir (Linsbauer et al. 2015; NELAK 2013). Nombre de ces nouveaux lacs se trouvent au-dessous de glaciers suspendus ou au pied de pentes rocheuses très raides et déstabilisées. Ils peuvent être ainsi atteints par des avalanches de glace ou par des éboulements (Schaub 2015). Ces situations potentiellement dangereuses peuvent durer longtemps.

## Exposition et vulnérabilité dans le contexte de l'évolution des dangers naturels

Les dynamiques en matière de dangers naturels ainsi que de développement économique et démographique doivent être prises en compte dans l'évaluation des risques futurs (Keiler et al. 2010). Par exemple, des chaînes de processus déclenchées par des changements en haute montagne peuvent agir jusque dans les vallées (Schaub 2015) et sur le Plateau, comme ce fut le cas lors des crues de 2005 (Keiler et al. 2010). Des infrastructures très chères peuvent alors être endommagées et les conséquences socioéconomiques être très lourdes.

Tous les scénarios d'un développement urbain et infrastructurel durable en Suisse partent d'une occupation et utilisation continuelles de l'arc alpin (Perlik et al. 2008). Le mitage de l'espace rural et la densification du tissu urbain aggravent l'exposition aux dangers naturels. Il en va de même de la concentration toujours plus grande de valeurs dans certaines régions des Alpes, dans le milieu urbain et dans les grandes vallées fluviales (par exemple du Rhône en Valais ou du Rhin alpin). Et comme l'on s'attend à davantage de sinistres, les risques augmenteront, donc aussi les dommages. Compte tenu de l'évolution de la vulnérabilité, l'exposition aux événements météorologiques extrêmes (canicules, précipitations, tempêtes; cf. chap. 1.8 Extrêmes climatiques et météorologiques, p. 52) est un défi. Comme l'est aussi une chaîne de processus qui touche à des infrastructures techniques (par exemple au réseau routier et ferroviaire, au système d'approvisionnement en eau) et entraîne alors des dommages indirects considérables du fait d'interruptions de service (OcCC 2007; cf. chap. 2.12 Bâtiments et infrastructures, p. 121). Les régions concernées sont souvent des lieux intensément exploités (par exemple pour le tourisme) et donc très vulnérables, dans lesquels non seulement des infrastructures coûteuses, mais aussi de nombreuses personnes sont exposées. De ce fait, des dommages même secondaires et tertiaires peuvent avoir un coût très élevé, par exemple à la suite d'interruptions d'exploitation ou du trafic, ou en raison d'atteintes à la réputation suite aux commentaires négatifs dans les médias (Lehmann Friedli 2013; cf. chap. 2.11 Tourisme, p. 117). La Suisse est et reste à différents égards très vulnérable vis-à-vis des changements des dangers et des chaînes de processus.

## Défis et approches de solutions pour la Suisse

Les défis pour la Suisse sont multiples; les approches de solutions devraient se fonder sur un double concept, qui promeuve d'une part l'atténuation, c'est-à-dire la lutte contre les causes du changement climatique – par exemple par la réduction des gaz à effet de serre (cf. Partie 3: Atténuation, p. 149) – et qui soutienne d'autre part des mesure d'adaptation à un climat plus chaud. En matière de dangers naturels notamment, une gestion prévisionnelle des risques et une définition de l'objectif de protection tenant pleinement compte des aspects spatio-temporels sont nécessaires, de même qu'une compréhension de base des processus et interactions impliqués (cf. chap. 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC, p. 77). Dans un système démocratique comme celui de la Suisse, l'analyse et l'évaluation de risques existants et nouveaux, ainsi que le choix des mesures d'adaptation possibles, sont soumis à un débat politique et social difficile (cf. OFEV 2012): différents groupes d'intérêt ont des réponses divergentes à la question de savoir quelle importance donner à quels risques et quelles mesures sont nécessaires. Des solutions polyvalentes, comme la prise en compte du cas de surcharge dans la planification de la protection contre les crues, peuvent faciliter la prise de décision (cf. OFEV 2016). A part un large soutien, il est important pour le succès des mesures d'adaptation qu'elles soient discutées dans les meilleurs délais: le nombre d'options possibles diminue avec le temps.

## Bibliographie

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011.** Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

Fischer EM, Beyerle U, Knutti R (2013) **Robust spatially aggregated projections of climate extremes.** Nature Climate Change 3: 1033–1038.

Fischer EM, Keller D, Liniger MA, Rajczak J, Schär C, Appenzeller C (2014) **Projected changes in precipitation intensity and frequency in Switzerland: a multi-model perspective.** International Journal of Climatology 35: 3204–3219.

GCOS (2010) **Implementation plan for the global observing system for climate in support of the UNFCCC (2010 update).** TD-No. 1523.

Huggel C, Clague JJ, Korup O (2012) **Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains?** Earth Surface Processes and Landforms 37: 77–91.

IPCC (2012) **Special Report «Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation» (SREX).** www.ipcc.ch/report/srex

Keiler M, Knight J, Harrison S (2010) **Climate change and implications for natural hazards in the Eastern European Alps.** Philosophical Transactions of the Royal Society A 368: 2461–2479.

Lehmann Friedli T (2013) **Ökonomische Relevanz von Klimaanpassungen im Tourismus. Qualitative und quantitative Kosten-Nutzen-Bewertung von Anpassungsmassnahmen im Schweizer Alpenraum.** Doctoral thesis, Research Institute for Leisure and Tourism (CRED), University of Bern, 339 pp.

Linsbauer A, Frey H, Haeberli W, Machguth H, Azam MF, Allen S (2015) **Modelling glacier-bed overdeepenings and possible future lakes for the glaciers in the Himalaya-Karakoram region.** Annals of Glaciology 57: 119–130.

NELAK (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques.** Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61). www.nfp61.ch

OcCC (2007) **Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie.** Berne, 168 pp.

OFEV (2012) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Objectifs, défis et champs d'action.** Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2016) **Gestion des dangers naturels en Suisse.** Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat 12.4271 déposé par Christophe Darbellay le 14.12.2012.

Perlik M, Wissen U, Schuler M, Hofschreuder J, Jame A, Keiner M, Cavens D, Schmid WA (2008) **Szenarien für die nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung in der Schweiz (2005 – 2030).** Programme national de recherche PNR 54 «Environnement construit», Zurich, 312 pp.

Rajczak J, Pall P, Schär C (2013) **Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region.** Journal of Geophysical Research 118: 3610–3626.

Salzmann N, Machguth H, Linsbauer A (2012) **The Swiss Alpine glacier's response to the global «2°C air temperature target».** Environmental Research Letters 7: 044001.

Schaub Y (2015) **Outburst Floods from High-Mountain Lakes: Risk Analysis of Cascading Processes under Present and Future Conditions.** Doctoral thesis, Department of Geography, University of Zurich, 292 pp.

# 2.7 Ecosystèmes alpins

**En montagne, la forte structuration du territoire, la diversité de l'inclinaison des pentes et l'exposition au soleil créent dans un espace restreint une mosaïque variée de conditions de température qui amortit les changements du climat à grande échelle. Néanmoins, le changement climatique influence aussi les écosystèmes alpins. Par exemple, vu que la limite des arbres se décalera peu à peu à plus haute altitude en fonction du réchauffement, la surface alpine tendra à diminuer en Suisse malgré l'élargissement de la marge proglaciaire. Le changement climatique et l'expansion en altitude de la forêt de montagne conduisent à une insularisation climatique des sites hauts-alpins. Ces changements des surfaces doivent être pris en compte quand il est question de l'utilisation du sol dans les Alpes. L'effectif des moutons d'estivage, qui atteint déjà un record et continue d'augmenter, fait pression sur une surface alpine en diminution, avec pour conséquence une augmentation de l'érosion et des dégâts de piétinement.**

*Christian Körner (Université de Bâle), Eva Spehn (Université de Bâle)*

## La situation mondiale et nationale

L'habitat alpin au-dessus de la forêt de montagne représente environ un tiers de la superficie de la Suisse et constitue les derniers grands paysages primitifs d'Europe centrale. Des écosystèmes alpins semblables existent ailleurs dans le monde ; ils sont situés à des altitudes qui diffèrent en fonction de la latitude, mais ont un climat semblable en termes de températures. Ils permettent donc de faire des comparaisons mondiales (Körner 2003). En Suisse, les précipitations sont en moyenne deux fois plus abondantes dans l'habitat alpin que dans les vallées ; il s'ensuit que les régions de haute altitude fournissent une grande partie de l'eau exploitée pour la production d'énergie. Cependant, les pentes sont raides dans l'habitat alpin et leur stabilité dépend de la densité et de la vitalité de leur végétation ; le couvert végétal alpin joue donc un rôle important pour la sûreté de zones d'habitation et de voies de transports. La biodiversité y est très grande, un quart environ des espèces de plantes à fleurs que l'on trouve en Suisse ont pour habitat les régions situées au-dessus de la limite alpine des arbres. L'influence de l'homme sur les écosystèmes alpins est certes décelable, mais en général, elle ne les a pas transformés de façon marquante. Un suivi à long terme de l'environnement, tel qu'il a lieu pour la forêt, n'existe pas en Suisse pour l'habitat alpin.

## La vulnérabilité

Sur la base de modèles théoriques, le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC qualifie les systèmes alpins de très vulnérables à l'égard du changement climatique : d'après cela, des espèces rares ou dont la marge de tolérance thermique est étroite devraient régresser, vu que les changements se font trop vite ou qu'un moment viendra où elles ne trouveront plus de lieux où poursuivre leur migration vers les hauteurs. En réalité, les conditions de vie en terrain alpin se présentent de façon plus nuancée : la forte structuration du territoire, la diversité de l'inclinaison des pentes et l'exposition au soleil au-dessus de la limite de la forêt créent dans un espace restreint une mosaïque variée de conditions de température qui amortit les impacts des changements du climat à grande échelle et rend le système moins vulnérable dans son ensemble. Des gradients climatiques abrupts sur de courtes distances offrent aux organismes alpins des possibilités de migration dans un périmètre réduit (Körner 2003 ; Scherrer 2010; fig. 2.9). Des modèles à échelle fine rendent plausibles le fait que ces organismes ont une grande capacité de persistance (Randin et al. 2009). En outre, les espèces à croissance clonale (la très grande majorité des espèces alpines) se sont révélées particulièrement robustes à l'égard de changements climatiques (de Witte et al. 2012). Dans la zone de transition vers la forêt de montagne, la surface occupée par la végétation alpine risque de régresser du fait du recul de l'économie d'alpage et en raison de l'élévation, due au climat, de la limite altitudinale de la forêt.

## Changements lents

Des changements de la biodiversité de l'habitat alpin sont attendus à partir d'un réchauffement planétaire moyen de plus de deux degrés Celsius (IPCC 2014/WGII/Chap.4). En montagne, suivant les modèles précités, des espèces biologiques se déplaceront progressivement à plus haute altitude. De tels seuils de température sont à vrai dire artificiels pour des processus continus ; à long terme toutefois, un réchauffement de deux degrés Celsius réduirait d'un quart la superficie mondiale de l'étage alpin inférieur et de moitié celle de l'étage supérieur (Körner 2012, tab.5.5). Il est vraisemblable que les proportions seraient à peu près les mêmes en Suisse, étant donné qu'ici aussi

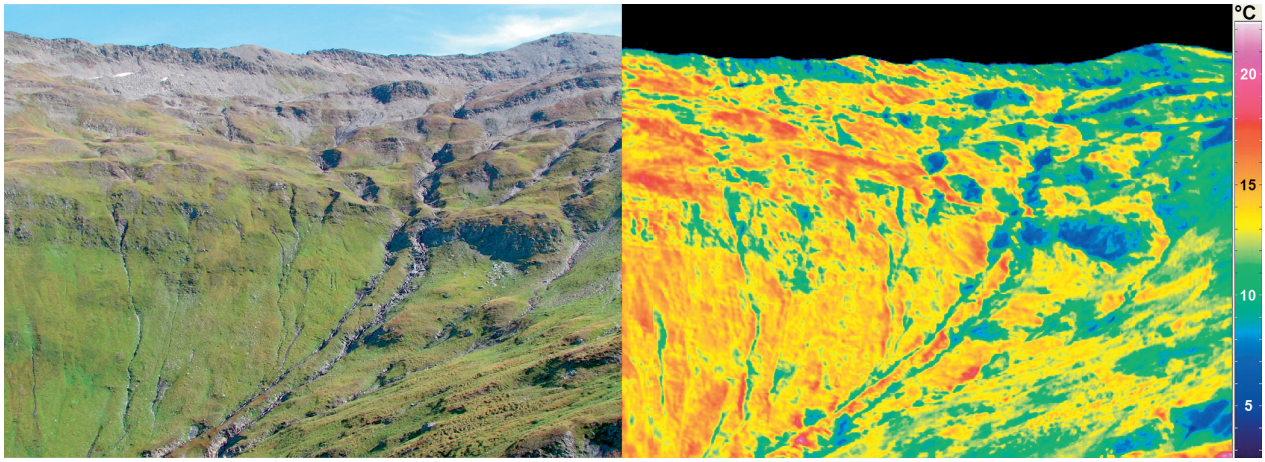



Figure 2.9 : Dans les sites de haute montagne dépourvus d'arbres, la structure du terrain, l'inclinaison des pentes et l'exposition créent une mosaïque de petits habitats caractérisés par des températures très diverses. C'est pourquoi les organismes alpins sont moins menacés par un réchauffement général que les espèces vivant à plus basse altitude. Les trajets vers des habitats mieux adaptés sont très courts. L'image thermique montre une telle mosaïque de températures à 2500 mètres d'altitude, dans la région du col de la Furka. Pendant une saison, les températures moyennes des différents petits habitats situés sur la pente diffèrent de plus de dix degrés Celsius. Les données reposent sur les mesures effectuées tout au long de l'année au moyen de nombreux capteurs de température répartis sur toute la pente. (Source : adapté d'après Scherrer & Körner 2009)

la limite de la forêt est fonction de la température. Du fait que les espèces pionnières et généralistes se déplaceront plus tôt à plus haute altitude que les espèces spécialisées, lesquelles ont des exigences rigoureuses en matière d'habitat, la composition des espèces se modifiera et tendra à se trivialiser. En Suisse, différents taux de migration de plantes, papillons et oiseaux ont été constatés le long de gradients d'altitude (Roth et al. 2014). Les oiseaux suivent rapidement le changement climatique récent ; les plantes réagissent beaucoup plus lentement, de même que les papillons qui en dépendent – probablement en raison des stades des chenilles. Au cours des cent dernières années, le nombre d'espèces végétales a nettement augmenté sur les plus hauts sommets des Alpes centrales (Wipf et al. 2013) du fait de l'immigration d'espèces provenant de zones de plus basse altitude – des espèces dont les semences se répandent facilement et qui ne sont plus écartées de sites proches des cimes à cause de leur besoin de chaleur. Pendant la décennie passée, des plantes à fleurs provenant de zones alpines d'altitude inférieure sont devenues plus fréquentes en Europe en haut des montagnes (Gottfried et al. 2012), notamment dans les régions boréales tempérées (+3,9 espèces en moyenne). En revanche, le nombre d'espèces a eu tendance à diminuer dans des parties méridionales des Alpes et dans les montagnes méditerranéennes (–1,4 espèces en moyenne). La raison à cela est probablement qu'en Europe méridionale, les récents changements climatiques ont diminué la disponibilité en eau pendant le plein été (Pauli et al. 2012). A noter également que l'étude précitée a constaté des changements particulièrement importants (rapides) à l'étage alpin inférieur, car c'est là que le réservoir d'espèces à disposition est le plus grand et que ces plantes peuvent se propager le plus vite grâce au climat favorable.

### Les surfaces alpines tendront à diminuer

Le recul rapide des glaciers crée de nouveaux habitats qui constituent un terrain labile et sujet à l'érosion pendant les nombreuses décennies précédant leur complète colonisation par des plantes. En dépit de l'élargissement des marges proglaciaires, il faut s'attendre en Suisse à une diminution de la surface alpine, parce que la limite des arbres, déterminée par la température, se déplacera sur le long terme à plus haute altitude. Au début, cette extension en altitude de la forêt de montagne n'est pas en phase avec le réchauffement du système climatique et comporte encore de grandes différences temporelles et spatiales. Le démarrage des jeunes plantes et le développement des très jeunes arbres dépendent de la conjonction aléatoire de bonnes années à graines et de conditions climatiques particulièrement favorables pendant les années suivantes ; de ce fait, les arbres colonisent la ceinture alpine par avancées intermittentes réparties sur des décennies. La possibilité de mesurer la progression de la forêt en se référant aux populations de jeunes plantes est donc limitée (cf. chap. 2.9 La forêt, p. 106). D'autres facteurs, qui n'ont rien à voir avec l'évolution du climat, tels que le recul de l'utilisation du sol, jouent un rôle important dans ce contexte (Gehrig-Fasel et al. 2007). Suivant cette étude, la majeure partie de l'expansion des surfaces boisées est imputable en montagne à la régénération de la forêt (et à l'embrous-

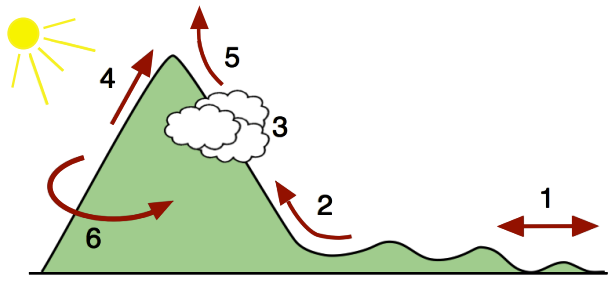



Figure 2.10 : Pour se soustraire au changement climatique, les espèces vivant à basse altitude devraient franchir de très grandes distances - pour elles, il n'y a pratiquement aucune issue possible (1). Les montagnes, en revanche, peuvent servir de refuge (2, 4) et l'ont toujours été dans l'histoire de la Terre. Mais elles peuvent aussi être un piège, comme dans le cas de bancs de brouillards passagers dans la forêt tropicale d'altitude ou lorsque des organismes colonisent des montagnes qui ne sont pas encore assez hautes (3, 5). En général toutefois, les montagnes sont une chance (6), parce qu'elles offrent des « chemins de fuite » sur de très courtes distances, comme conséquence de la mosaïque de microclimats. (Source : Körner 2013)

saillement) dans d'anciens pâturages situés au-dessous de la limite climatique de la forêt.

La durée de l'enneigement dans la zone supérieure de l'étage alpin (>2300 mètres) est déterminante pour la vie en montagne. La question de savoir si cette durée change n'a pas encore de réponse claire. Au-dessous de 1750 mètres, un recul de l'enneigement est évident (Rebetez 1996 ; Benniston 1997). Mais à plus haute altitude, une couverture neigeuse plus épaisse peut se former à cause de l'augmentation des précipitations et compenser l'effet du changement climatique sur la durée de l'enneigement. Certes, le nombre de jours avec chutes de neige décroît quelle que soit l'altitude. Mais cette diminution est moins marquée aux niveaux supérieurs (Serquet et al. 2011). A haute altitude, la période sans neige ne devient pas forcément plus longue, malgré un climat plus chaud.

#### L'azote a une grande influence sur la flore

Il existe de sérieux indices selon lesquels les retombées d'azote atmosphérique (dues aux transports, à l'élevage du bétail et aux engrais) ont actuellement une plus grande influence sur la flore alpine que le changement climatique (Bobbink 2010). Il en résulte des glissements en termes d'espèces végétales dominantes vers des espèces à croissance rapide, au détriment d'espèces à croissance lente, de petite taille et souvent rares. De tels effets ont été mis en évidence dans toute la Suisse, également aux étages altitudinaux inférieurs, par Roth et al. (2013). Il est exclu, selon les connaissances actuelles, que des concentrations de $CO_2$ plus élevées entraînent une hausse de la productivité de la végétation alpine (Inauen et al. 2012).

### Evénements extrêmes

Dans l'état actuel du savoir, la sécheresse et la chaleur extrêmes ne représentent pas un risque existentiel pour les plantes alpines. Cela tient à la longévité de la plupart de ces espèces végétales : les plus importantes d'entre elles atteignent un âge de plusieurs milliers d'années et se multiplient par voie végétative (clonale) (de Witte et al. 2012), ce qui les rend relativement robustes vis-à-vis de variations à court terme des conditions de vie. En outre, la courte durée de l'été en montagne et les précipitations relativement abondantes excluent un desséchement intense. En conséquence, les effets négatifs de tels extrêmes sont en général fortement atténués en montagne ; à la limite de la forêt et au-dessus, ils peuvent même devenir positifs, c'est-à-dire stimuler la croissance (Jolly et al. 2009). L'augmentation des crues soudaines, comme conséquence de la fonte des glaciers, menace les habitats situés en aval et ralentit l'établissement d'un couvert végétal continu dans la marge proglaciaire.

## L'adaptation au changement climatique

La plupart des plantes et animaux alpins ont une grande capacité de faire face à des conditions de vie fluctuantes et l'existence de nombreux très petits habitats leur offre des possibilités de migration dans un périmètre réduit (Scherrer & Körner 2009; Körner 2013 ; fig. 2.10). Le changement climatique et l'expansion en altitude de la forêt de montagne conduisent à une insularisation des sites hauts-alpins. Lors du dimensionnement de zones protégées et du choix de leur emplacement, de tels changements doivent être anticipés (corridors, réunion de sites de haute altitude en espaces d'un seul tenant). Il est prévisible que l'estivage en terrain alpin continuera d'augmenter, en particulier pour les moutons. Suivant les conditions météorologiques, il s'ensuit un risque accru d'érosion sur les pentes raides, notamment parce que les moutons recherchent la fraîcheur pendant l'été, qui devient toujours plus chaud, et qu'ils la trouvent dans la zone de haute altitude, dont la surface diminuera sensiblement à cause du changement climatique (cf. plus haut). Une surveillance stricte par des bergers compétents est nécessaire, surtout lorsque de grands troupeaux occupent le pâturage – ce qui est devenu habituel aujourd'hui. En combinaison avec le changement climatique, des utilisations inadéquates du territoire alpin peuvent causer des dommages irréversibles aux sols fragiles, ce qui, à son tour, a des impacts sur le régime hydrologique.

## Défis pour la Suisse

A part les problèmes techniques et touristiques (installations sur le pergélisol en dégel, détérioration des conditions d'ennegiement) consécutifs au réchauffement du système climatique (cf. chap. 2.3 Neige, glaciers et pergélisol, p. 80, chap. 2.11 Tourisme, p. 117), les principaux défis en matière de conservation de la nature dans l'habitat alpin sont la préservation et la création de grands espaces protégés suprarégionaux reliés par des corridors permettant des migrations, surtout d'animaux. Un défi spécifique réside dans le pacage à haute altitude (moutons), qui est, depuis peu, en forte augmentation : en l'absence de surveillance par un berger, et vu la diminution de la surface haute-alpine et les étés plus chauds, il cause des dommages considérables au sol et à la végétation. Les populations croissantes d'animaux sauvages, celles du bouquetin par exemple, sont également poussées par le réchauffement à se déplacer en été vers des sites de plus haute altitude. Un recul des espèces est plutôt improbable aux altitudes les plus hautes, mais possible dans la zone de la limite de la forêt, en raison de la disparition d'habitats (surfaces de foin sauvage, prairies naturelles absorbées par la progression de la forêt vers les hauteurs). Le maintien de telles surfaces par l'application de mesures ciblées est sans conteste un défi considérable.

### Bibliographie


Beniston M (1997) **Variation of snow depth and duratio in the Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcing.** Climatic Change 36: 281–300.

Bobbink R, Hicks K, Galloway J, Spranger T, Alkemade R, Ashmore M, Bustamante M, Cinderby S, Davidson E, Dentener F, Emmett B, Erisman JW, Fenn M, Gilliam F, Nordin A, Pardo L, De Vries W (2010) **Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis.** Ecologial Applications 20: 30–59.

de Witte LC, Armbruster GFJ, Gielly L, Taberlet P, Stocklin J (2012) **AFLP markers reveal high clonal diversity and extreme longevity in four key arctic-alpine species.** Molecular Ecology 21: 1081–1097.

Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann NE (2007) **Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment?** Journal of Vegetation Science 18: 571–582.

Gottfried M et al. (2012) **Continent-wide response of mountain vegetation to climate change.** Nature Climate Change 2: 111–115.

Harsch MA, Hulme PE, McGlone MS, Duncan RP (2009) **Are treelines advancing?** A global meta-analysis of treeline response to climate warming. Ecological Letters 12: 1040–1049.

Inauen N, Körner C, Hiltbrunner E (2012) **No growth stimulation by $CO_2$ enrichment in alpine glacier forefield plants.** Global Change Biology 18: 985–999.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 4 «Terrestrial and inland water systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps.** Geophysical Research Letters 32: L18409.

Körner C (2003) **Alpine Plant Life (2nd edition).** Springer, Berlin.

Körner C (2013) **Alpine ecosystems.** In: Levin SA (ed.) Encyclopedia of biodiversity (2nd edition). Elsevier: 148–157.

Pauli H et al. (2012) **Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits.** Science 336: 353–355.

Randin CF, Engler R, Normand S, Zappa M, Zimmermann NE, Pearman PB, Vittoz P, Thuiller W, Guisan A (2009) **Climate change and plant distribution: local models predict high-elevation persistence.** Global Change Biology 15: 1557–1569.

Rebetez M (1996) **Seasonal relationship between temperature, precipitation and snow cover in a mountainous region.** Theoretical and Applied Climatology 54: 99–106.

Roth T, Kohli L, Rihm B, Achermann B (2013) **Nitrogen deposition is negatively related to species richness and species composition of vascular plants and bryophytes in Swiss mountain grassland.** Agriculture, Ecosystems and Environment 178: 121–126.

Roth T, Plattner M, Amrhein V (2014) **Plants, birds and butterflies: short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude.** PLoS ONE 9: e82490.

Scherrer D, Körner C (2010) **Infra-red thermometry of alpine landscapes challenges climatic warming projections.** Global Change Biology 16: 2602–2613.

Scherrer D, Körner C (2011) **Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming.** Journal of Biogeography 38: 406–416.

Serquet G, Marty C, Dulex JP, Rebetez M (2011) **Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland.** Geophysical Research Letters 38: L07703.

Wipf S, Stöckli V, Herz K, Rixen C (2013) **The oldest monitoring site of the Alps revisited: accelerated increase in plant species richness on Piz Linard summit since 1835.** Plant Ecology & Diversity 6: 447–455.

# 2.8 La biodiversité et les services écosystémiques

**La biodiversité, c'est la multitude de formes que peut prendre la vie sur la terre. Malgré leurs différences, elles ont un point en commun : elles dépendent les unes des autres. Des changements dans les conditions de vie d'une espèce ont des conséquences sur les conditions d'une autre. L'être humain profite de nombreux services écosystémiques fournis par la biodiversité qui nous offre, depuis toujours, des aliments pour nous nourrir, des fibres pour nous habiller, des matériaux pour construire et des substances pour nous soigner. Les écosystèmes intacts purifient l'air et l'eau, rendent les sols fertiles, nous protègent des crues et des éboulements, compensent les effets des changements climatiques. A l'échelle de la planète comme à l'échelle de la Suisse, la biodiversité et les services écosystémiques souffrent cependant de l'évolution que connaît notre environnement.**

*Markus Fischer (Université de Berne), Eva Spehn (Forum Biodiversité/SCNAT et Université de Berne)*

Les services écosystémiques sont des fonctions de l'écosystème avantageuses pour l'homme qui peut généralement les utiliser directement (fig. 2.11). Ils comprennent notamment :
- des produits alimentaires,
- des substances permettant de fabriquer des médicaments,
- des matériaux de chauffage et de construction,
- la purification naturelle de l'air et de l'eau,
- la régulation naturelle du cycle des substances fertilisantes et du microclimat,
- la dégradation des substances nocives,
- la protection contre les dangers naturels,
- la pollinisation,
- la protection contre les nuisibles et les invasions biologiques et
- la stabilité contre les changements climatiques.

De tels services écosystémiques sont essentiels pour notre santé, notre sécurité et notre prospérité. La majorité d'entre eux sont toutefois considérés comme un bien public dont la valeur n'a pas encore été estimée.

La biodiversité est une condition nécessaire pour les services écosystémiques et impérative pour le bon fonctionnement des écosystèmes (Cardinale et al. 2012). Parallèlement, il est possible de considérer la biodiversité comme étant elle-même un service écosystémique de valeur sociétale (Fisher et al. 2009). Les habitats ont besoin d'une certaine qualité quant à la diversité et la fréquence des espèces afin de garantir de nombreux services écosystémiques (Cardinale et al. 2012). En cas de déséquilibre exagéré dans la composition des espèces (par exemple suite à des changements dans l'affectation des terres ou à des évolutions climatiques), on peut s'attendre à ce que les services écosystémiques disponibles jusque-là ne le soient plus dans la même qualité ou dans la même quantité.

## Situation internationale et nationale

### Une pression mondiale élevée pèse sur la biodiversité et les services écosystémiques

A l'échelle internationale, la biodiversité évolue à une vitesse inédite en raison des changements environnementaux dus à l'homme (Mace et al. 2005). La diminution de la biodiversité est une conséquence de l'intervention humaine sur la nature, principalement de l'utilisation des terres ainsi que des pertes et des dégradations que celle-ci implique pour les habitats naturels (Newbold et al. 2015). Une évaluation de l'état de la biodiversité naturelle dans les écosystèmes locaux a montré que plus de la moitié des terres était considérée comme « compromise d'un point de vue biotique », c'est-à-dire qu'on y a constaté une perte de plus de 20 pour cent des espèces (Newbold et al. 2016). La baisse de la biodiversité (tant les pertes absolues en gènes, espèces et communautés que leur disparition locale) est considérée, pour sa part, aussi comme un facteur favorisant les changements environnementaux mondiaux, et ce en raison de son ampleur, de son lien étroit avec les services écosystémiques et de l'utilisation par la société des ressources naturelles en biodiversité (Mace et al. 2005).

Les services écosystémiques existent à l'échelle mondiale et ils sont sollicités, en Europe, jusqu'à la limite du supportable, la demande continuant généralement à augmenter (Schröter et al. 2005). En outre, de nombreux indices montrent que les changements climatiques vont intensifier à leur tour cette (sur)exploitation (MA 2005 ; TEEB 2009) puisque leurs conséquences négatives sur les écosystèmes affectent le potentiel de ces derniers à fournir des services écosystémiques.

De plus amples informations sur l'état mondial de la biodiversité et des services écosystémiques, informations transposables en partie à la Suisse, sont attendues pour

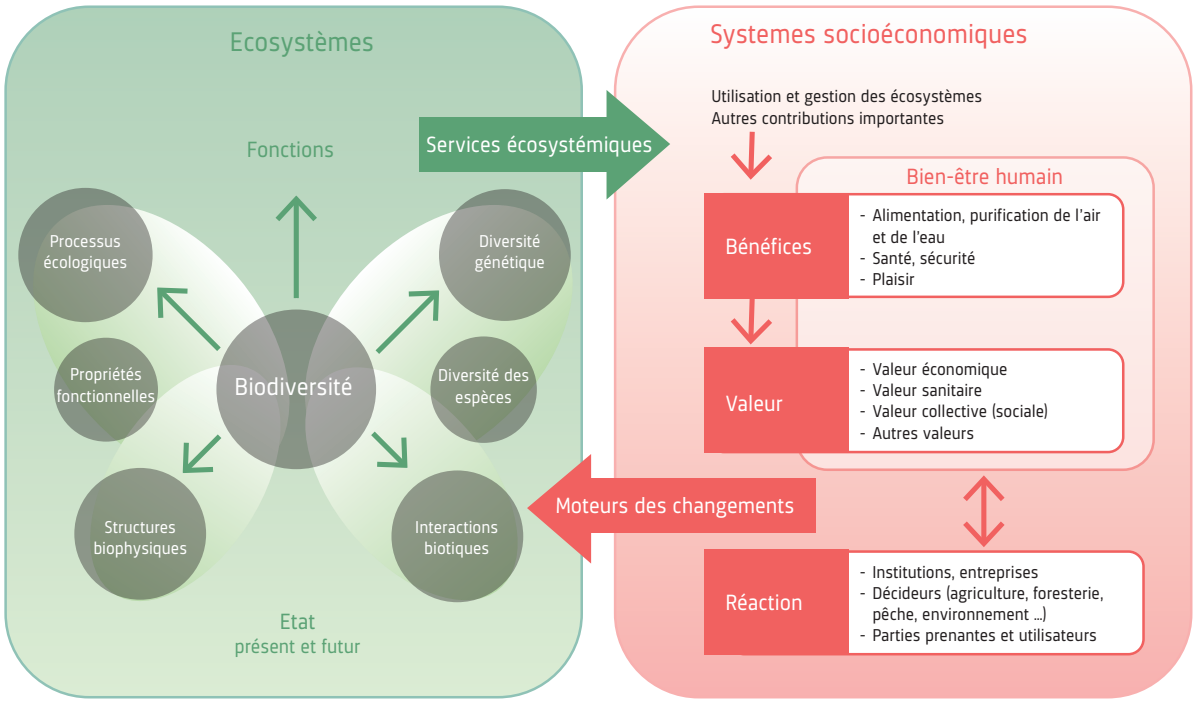



Figure 2.11: Cadre conceptuel de l'initiative MAES (« Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services »). Il relie systèmes socioéconomiques et écosystèmes via le flux des services écosystémiques et les moteurs des changements qui influencent de deux manières les écosystèmes: soit par une utilisation directe des services, soit par les effets des activités humaines en général.
(Source: Maes et al. 2013)

2019. D'ici-là, la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) aura rédigé différents rapports internationaux, régionaux et thématiques sur la biodiversité et les services écosystémiques (de manière analogue au GIEC pour le climat).

## La Suisse: diminution de la biodiversité et des services écosystémiques

Au cours des dernières décennies, la biodiversité a connu une baisse sensible en Suisse (Lachat et al. 2010). Plus d'un tiers des espèces végétales et près de la moitié des espèces animales se trouvent sur la liste rouge des espèces en danger. L'état des habitats protégés, tels que les zones marécageuses ainsi que les prairies sèches et les pâturages, continue à se détériorer. La baisse de la biodiversité est avant tout due aux changements d'affectation des terres, à l'étalement urbain, à la construction d'infrastructures et aux sollicitations provenant des transports, de l'azote et des polluants (perte d'habitats). Les prairies sèches et les pâturages ont ainsi perdu, depuis 1900, 95 pour cent de leur surface (Lachat et al. 2010). En Suisse, la qualité, la quantité et l'interconnexion actuelles de nombreux habitats ne suffisent pas pour en conserver à long terme la biodiversité et les services écosystémiques. Les surfaces effectivement nécessaires sont nettement plus vastes: en fonction de la région et de l'habitat, on considère environ un tiers de la surface totale comme nécessaire, un taux qui diminue ou qui augmente selon les cas (Guntern et al. 2013). La biodiversité du Plateau, en particulier, a atteint un niveau tellement bas qu'il en est préoccupant. De nombreux services écosystémiques tels que les fonctions de repos, de compensation des changements climatiques et de protection contre les crues n'y sont plus garanties tant la biodiversité y est réduite. Une étude réalisée dans six pays européens a montré que la production de biomasse est plus constante dans les forêts mixtes que dans les monocultures (Jucker et al. 2014) et que le peuplement qui regroupe différentes essences d'arbres fournit généralement plus de services écosystémiques que les monocultures (Van der Plas et al. 2016). Une étude de terrain à grande échelle réalisée dans trois zones en Allemagne a établi, dans la même veine, qu'une intensification de l'utilisation des prairies n'implique pas uniquement une diminution de la biodiversité (Allan et al. 2014), mais aussi une baisse dans la fourniture de nombreux services écosystémiques (Allan et al. 2015).

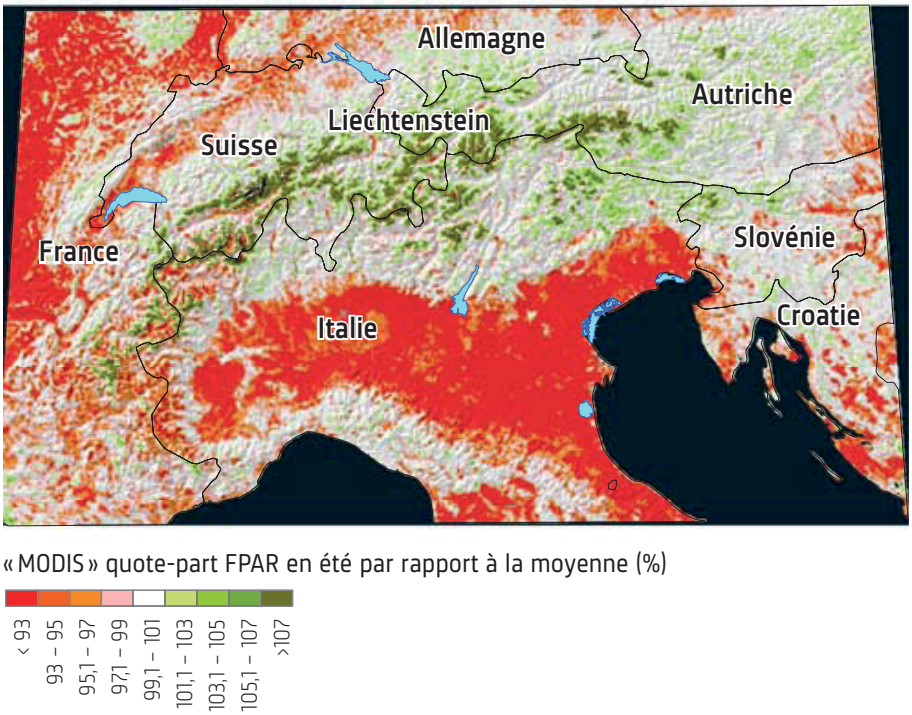



Figure 2.12 : Quote-part du rayonnement photosynthétiquement actif absorbé (FPAR) en été 2003 par rapport à la moyenne sur cinq ans. Les rayonnements sont mesurés par des instruments (« MODIS ») à partir des satellites. Les zones rouges montrent les endroits où le FPAR, et ainsi la croissance des plantes, étaient inférieurs à la moyenne. Les zones vertes correspondent à un FPAR plus élevé et ainsi à une meilleure croissance des plantes. Cette valeur reste inchangée dans les zones blanches.
(Source: Reprinted by permission from John Wiley & Sons Ltd.: Jolly et al. 2005, copyright [2005])

Il n'a pas été possible, jusqu'ici, de stopper la diminution de la biodiversité malgré les efforts supplémentaires consentis (par exemple par le biais de la protection des réserves naturelles ou de la protection des eaux et par une compensation écologique dans l'agriculture). Au contraire, la pression à laquelle est soumise la biodiversité ne cesse d'augmenter en raison de diverses évolutions telles que la croissance démographique, les changements climatiques, une agriculture de plus en plus intensive dans les zones favorables à la culture des champs et aux prairies respectivement à l'abandon des lieux que la topographie rend difficile à exploiter. Un exemple de disparition d'espèces concerne les prairies de fromental (avoine élevée) largement répandues jusqu'au milieu du XX^e^ siècle. Une intensification forte a causé leur disparition pratiquement complète et leur remplacement par une prairie pauvre en espèces (de 85 pour cent de toutes les surfaces de prairies autour de 1950, elles ne représentent plus que 2 pour cent aujourd'hui). En outre, le nombre d'espèces caractéristiques pour la prairie de fromental est passé de 25 à 9 (Bosshard 2015). En eau douce, les espèces invasives représentent la cause principale d'une diminution des espèces autochtones. Au cours des 30 dernières années par exemple, les invertébrés autochtones (microcrustacés, larves d'insectes, gastéropodes, coquillages, vers) qui peuplaient le lit du Rhin ont été pratiquement tous remplacés par des espèces importées (par. ex. la corbicule asiatique *Corbicula fluminea*; Rey et al. 2005).

## Vulnérabilité

On constate déjà que les changements climatiques agissent sur la majorité des écosystèmes (cf. chap. 2.7 Ecosystèmes alpins, p. 96, chap. 2.9 La forêt, p. 106, chap. 2.10 L'agriculture, p. 111) et que leurs effets sur la biodiversité et les services écosystémiques grandiront encore à l'avenir. Les répercussions de la canicule de 2003 sur la croissance des plantes montrent, de manière exemplaire, que les écosystèmes suisses de faible altitude notamment sont affectés par les températures extrêmes alors que la croissance des plantes à plus haute altitude peut être meilleure qu'à température normale (fig. 2.12 ; Jolly et al. 2005).

Les changements climatiques modifient autant la phénologie que la propagation des espèces en Suisse, la tendance correspondant à une migration en altitude. Un grand nombre des espèces étudiées présente un risque élevé de disparaître localement ou totalement, cette évolution étant liée soit directement aux changements climatiques soit à leur combinaison avec d'autres facteurs (Lachat et al. 2010 ; Bellard et al. 2012 ; Urban et al. 2012).

De manière générale, les changements climatiques influencent l'habitat des espèces par :
- un déplacement de l'habitat sans que les espèces puissent suivre (fig. 2.13),
- un déplacement des espèces au dehors de leur habitat privilégié ou
- des changements dans la qualité de l'habitat (Urban et al. 2012).

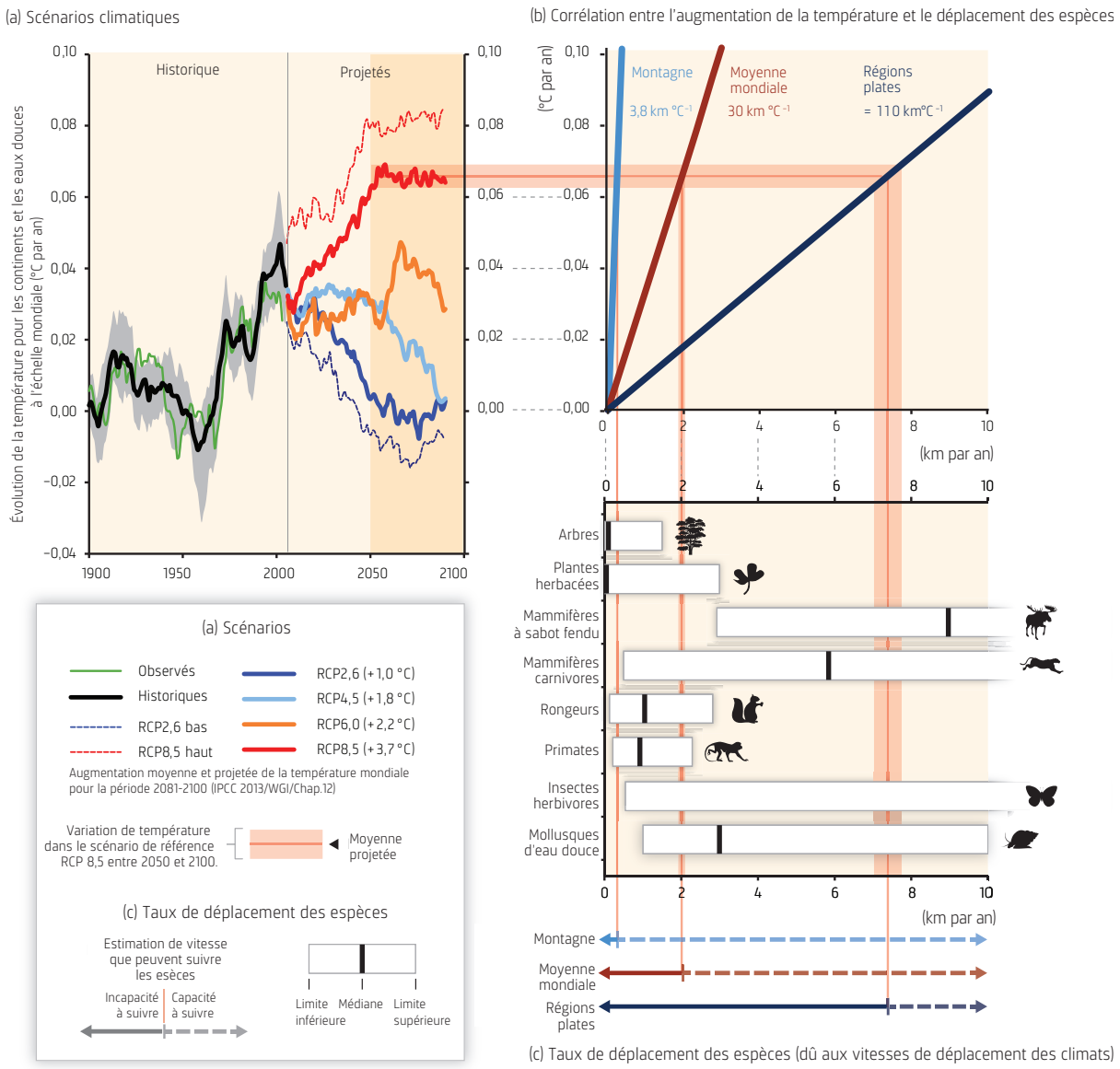



Figure 2.13 : (a) Scénarios des changements climatiques (b) vitesses de déplacement des climats correspondantes et (c) taux de déplacement de différents groupes taxonomiques. Les espèces présentant un taux de déplacement lent seront probablement incapables de suivre les changements climatiques sans intervention humaine. (Source : IPCC 2014/WGII/Chap.4/Fig.4-05)

## Points de basculement des écosystèmes

Les changements climatiques impliquent certains risques pour les écosystèmes terrestres et d'eau douce ainsi que pour leurs principaux services écosystémiques (IPCC 2014/WGII/Chap.4). Les répercussions des changements climatiques sur la biodiversité sont, pour la plupart, progressifs. Des évolutions soudaines et irréversibles de l'équilibre naturel sont cependant possibles et impliquent un dérèglement substantiel des écosystèmes. On parle dans ce contexte de points de basculement des écosystèmes *(tipping points)* (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique 2014).

L'un des points de basculement les mieux étudiés concerne la disparition de la barrière de corail attendu pour 2050 (IPCC 2014/WGII/Chap.4). Elle est due à la combinaison de pollution, de surpêche, d'espèces invasives et d'acidification des océans (en raison de l'augmentation de la concentration de $CO_2$ et des températures de l'eau). Les écosystèmes arctiques sont également menacés par le dégel du pergélisol, l'invasion de la toundra par les broussailles et la multiplication des maladies et des feux dans les forêts nordiques (*boreal tipping point*, IPCC 2014/WGII/Chap.4). Les possibilités permettant de renverser cette tendance au niveau des forêts sont très limitées. La mortalité des arbres et les pertes forestières augmen-

tent, elles aussi, à de nombreux endroits et sont, dans de nombreux cas, directement liées à des effets climatiques et indirectement à d'autres effets (hausse des agents pathogènes et des nuisibles) (cf. chap. 2.9 La forêt, p. 106).

## Changements progressifs et adaptation

Les modèles climatiques prévoient que de nombreuses espèces seront concernées, ces prochaines décennies, par de lents changements de l'habitat dus au changement climatique (Urban et al. 2012). Des périodes de sécheresse de plus en plus nombreuses, résultats de la baisse pronostiquée des précipitations en été, pourraient, par exemple, avoir pour conséquence que les forêts meurent dans le Moyen-Valais et que les zones de reproduction des batraciens sèchent plus tôt dans l'année (Lachat et al. 2010). Les espèces ayant une faible vitesse de migration sont particulièrement menacées, surtout celles vivant dans les territoires plats (fig. 2.13) où la vitesse des changements climatiques est élevée et celles vivant dans des habitats isolés tels que les sommets, les îles ou les petites réserves naturelles. Dans le cadre du phénomène d'adaptation à un climat plus chaud, de nombreuses espèces de montagne migrent déjà plus haut en altitude. Une analyse des données du Monitoring de la biodiversité en Suisse, récoltées depuis 2003, a montré que les plantes, les papillons, mais aussi les oiseaux ont déjà migré en altitude, en moyenne de 8 mètres, 38 mètres et 42 mètres (Roth et al. 2014). La limite des arbres est, elle aussi, désormais plus haute (cf. chap. 2.7 Ecosystèmes alpins, p. 96, chap. 2.9 La forêt, p. 106).

Parallèlement, les espèces thermophiles peuvent profiter, à plus basse altitude, de températures plus élevées. Dans le Tessin et dans le nord de la Suisse, les hivers plus chauds et plus doux des 30 dernières années ont pour conséquence que la végétation est déjà en train de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques. Ainsi, certaines espèces thermophiles sont, par exemple, plus courantes qu'il y a 30 ans. Dans les forêts du Tessin, certaines plantes à feuillage persistant des climats modérés à subtropicaux d'Asie de l'Est sont aujourd'hui relativement fréquentes comme le laurier, le troène du Japon, le palmier chanvre et le cannelier qui sont cultivés dans des jardins d'où ils se propagent (Walther et al. 2001). Certains insectes thermophiles profitent également de ces nouvelles conditions dans le Moyen-Valais. L'azuré de la faucille *Cupido alcetas*, par exemple, a fortement étendu son habitat au cours de la canicule de 2003 (Juillerat 2005).

A long terme, certains habitats pourraient entièrement disparaître suite aux changements climatiques pour ensuite réapparaître (IPCC 2014/WGII/Chap.4). Plusieurs études actuelles montrent que le réchauffement du système climatique a déjà modifié la qualité des habitats et que ces changements vont se poursuivre. Il est difficile d'évaluer l'influence des habitats modifiés sur la fréquence des espèces et le risque de disparition qui les touche puisque certaines espèces sont capables de s'y adapter (IPCC 2014/WGII/Chap.4) ou de côtoyer de nouveaux concurrents en raison des différentes vitesses de migration (fig. 2.13; Alexander et al. 2015). Les espèces qui ont besoin de synchronisme avec d'autres montrent une plus grande sensibilité aux changements des phénomènes périodiques (phénologie), l'une des conséquences les plus rapides du changement climatique. Les interactions entre les espèces sont ainsi interrompues, par exemple, lorsque l'activité des pollinisateurs ne correspond plus à la floraison ou lorsque les bourgeons (chêne pédonculé, *Quercus robur*) n'apparaissent plus au moment où les chenilles (phalène brumeuse, *Operophtera brumat*), qui se nourrissent de jeunes pousses, sortent de leurs œufs. Ce décalage a pour conséquence que les chenilles meurent de faim ce qui diminue, à son tour, pour les mésanges et les gobe-mouches, les chances de nourrir leurs petits (Visser & Hollemann 2001)

## Les défis à relever pour la Suisse

Pour la Suisse, la préservation et l'utilisation durable de sa biodiversité et des services écosystémiques représentent un défi de taille. Pour un pays à forte densité de population dans les zones habitables, le problème de priorisation des différentes affectations de certains territoires est primordial. Dans le cadre d'accords nationaux et internationaux (entre autres la Convention sur la diversité biologique, le Protocole de Nagoya), la Suisse s'est engagée à protéger la biodiversité et à en assurer une utilisation durable.

La surface nécessaire pour préserver la biodiversité et les services écosystémiques correspond, en Suisse, à près d'un tiers de la surface du pays. Elle dépasse ainsi largement les territoires à valeur écologique aujourd'hui disponibles (Guntern et al. 2013). Il est essentiel de protéger ces surfaces restantes, plusieurs habitats nécessitant cependant des solutions de mise en valeur et de restauration. Les réserves naturelles abritant des espèces pour lesquelles la Suisse assume une responsabilité vont devoir tenir compte de leurs périmètres futurs. L'objectif consiste à sécuriser les corridors de migration, à protéger de nouveaux espaces, à recréer le lien entre des populations isolées et à tisser un réseau dense d'habitats qui réponde aux besoins du plus grand nombre possible d'espèces (Lachat et al. 2010).

La promotion de la biodiversité est absolument essentielle pour les services écosystémiques et la lutte contre

les changements climatiques : l'objectif doit être d'identifier et d'utiliser les synergies. L'une des solutions possibles pour adapter l'utilisation en matière de biodiversité concerne, pour l'agriculture, un ajustement des variétés et l'utilisation de divers mélanges de semences. En foresterie, il est, par exemple, possible d'éviter les essences sensibles au changement climatique telles que le hêtre et l'épicéa à basse altitude (Schelhaas et al. 2015) et d'avoir de plus en plus recours à une mixité des essences. Les solutions efficaces en faveur de la biodiversité impliquent de limiter l'étalement urbain, le changement d'affectation des habitats, leur pollution et leur surexploitation, de contrôler les espèces invasives, d'élargir les zones protégées, de soutenir l'expansion des habitats et d'assurer une conservation animale ex situ. En avril 2012, le Conseil fédéral a adopté la Stratégie Biodiversité Suisse (OFEV 2012) dont l'objectif est de préserver la biodiversité dans sa richesse et dans sa faculté à réagir aux changements ainsi que de protéger à long terme les services écosystémiques qu'elle fournit. Le plan d'action correspondant est en cours d'élaboration ; il reprend les solutions citées ci-dessus (OFEV 2015).

## Bibliographie


Alexander JM, Diez JM, Levine JM (2015) **Novel competitors shape species' responses to climate change**. Nature 525: 515–518.

Allan E et al. (2014) **Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111: 308–313.

Allan E et al. (2015) **Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition**. Ecology Letters 18: 834–843.

Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F (2012) **Impacts of climate change on the future of biodiversity**. Ecology Letters 15: 365–377.

Bosshard A (2015) **Recul des prairies a fromental Arrhenatheretum et conséquences sur la biodiversite**. Recherche Agronomique Suisse 6: 20–27.

Cardinale BJ, Duffy E, Gonzalez A, Hooper DU, Perrings C, Venail P, Narwani A, Mace GM, Tilman D, Wardle DA, Kinzig AP, Daily GC, Loreau M, Grace JB, Larigauderie A, Srivastava DS, Naeem S (2012) **Biodiversity loss and its impact on humanity**. Nature 486: 59–67.

Fisher B, Turner RK, Morling P (2009) **Defining and Classifying Ecosystem Services for Decision Making**. Ecological Economics 68: 643–653.

Guntern J, Lachat T, Pauli D, Fischer M (2013) **Flächenbedarf für die Erhaltung der Biodiversität und der Ökosystemleistungen in der Schweiz**. Forum Biodiversité Suisse, Académie des sciences naturelles (SCNAT), Berne.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 4 «Terrestrial and inland water systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps**. Geophysical Research Letters 32: L18409.

Jucker T, Bouriaud O, Avakaritei D, Coomes DA (2014) **Stabilising effects of diversity on aboveground wood production in forest ecosystems: linking patterns and processes**. Ecology Letters 17: 1560–1569.

Juillerat L (2005) **Extension rapide de l'aire de distribution de Cupido alcetas (Hoffmansegg 1804) (Lepidoptera, Lycaenidae) en Suisse occidentale en 2003 et 2004**. Bulletin romand d'entomologie 22: 81–95.

Lachat T, Pauli D, Gonseth Y, Klaus G, Scheidegger C, Vittoz P, Walter T (eds.) (2010) **Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?** Zurich, Bristol-Stiftung. Haupt Verlag, Berne.

Maes J et al. (2013) **Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services**. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg.

Mace G, Masundire H, Baillie J et al. (2005) **Biodiversity**. In: Millennium Ecosystem Assessment. (2005) Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group. Ecosystems and Human Well-being, Volume 1. Island Press, Washington DC.

Millennium Ecosystem Assessment (2005) **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington DC.

Newbold T et al. (2015) **Global effects of land use on local terrestrial biodiversity**. Nature 520: 45–50

OFEV (2012) **Stratégie Biodiversité Suisse**. En exécution de la mesure 69 (objectif 13, art. 14, section 5) du programme de la législature 2007–2011: «Elaborer une stratégie en faveur du maintien et du développement de la biodiversité».

OFEV (2015) **Rapport de présentation des résultats Consultation préalable Catalogue de mesures du Plan d'action Stratégie Biodiversité Suisse**.

Rey P, Ortlepp J, Küry D (2005) **Néozoaires invertébrés dans le Haut Rhin (Résumé OFEV)**. Cahier de l'environnement 380, Office fédéral de l'environnement, Berne.

Roth T, Plattner M, Amrhein V (2014) **Plants, Birds and Butterflies: short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude**. PlOS one: e82490.

Schelhaas MJ, Nabuurs GJ, Hengeveld G, Reyer C, Hanewinkel M, Zimmermann NE, Cullmann D (2015) **Adaptive forest management to account for climate change-induced productivity and species suitability changes in Europe**. Regional Environmental Change 15: 1581–1594.

Schröter D et al. (2005) **Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe**. Science 310: 1333–1337.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) **Global Biodiversity Outlook 4**. Montréal, 155 pp. www.cbd.int/GBO4

TEEB (2009) **The Economics of Ecosystems and Biodiversity**. Climate Issues Update, 32 p.

Urban MC, Tewksbury JJ, Sheldon KS (2012) **On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change**. Proceedings of the Royal Society B 279: 2072–2080.

Van der Plas F et al. (2016) **Jack-of-all-trades effects drive biodiversity-ecosystem multifunctionality relationships in European forests**. Nature Communications 7: 11109.

Visser ME, Hollemann LJM (2001) **Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology**. Proceedy of the Royal Society B: 268: 289–294.

Walther G-R, Carraro G, Klötzli F (2001) **Evergreen broad-leaved species as indicators for climate change**. In: G-R Walther, Burga CA, Edwards PJ (eds.), «Fingerprints» of Climate Change – Adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York: 151–162.

# 2.9 La forêt

**La réaction des forêts suisses aux changements progressifs du climat et aux événements extrêmes dépendra beaucoup de l'altitude. Aux étages supérieurs, la forêt gagnera du terrain et croîtra plus rapidement, alors que plus bas elle souffrira de la sécheresse. Les multiples services écosystémiques de la forêt seront déterminés par une combinaison d'effets complexes liés aux changements de l'utilisation du sol, aux chablis, aux feux de forêt, aux infestations par des insectes et aux attaques fongiques.**

*Andreas Rigling (WSL), Harald Bugmann (EPF de Zurich), Martine Rebetez (WSL), Christian Körner (Université de Bâle)*

## La situation mondiale et nationale

La forêt est une ressource importante et fournit de précieux services. Au niveau mondial, elle joue un rôle de premier plan pour la production de bois, de fibres et de combustible, comme puits de carbone et pour ses effets régulateurs sur le climat. En Suisse les fonctions essentielles de la forêt sont, à part la production de bois, principalement la protection contre les dangers naturels, la biodiversité, le filtrage de l'eau potable et l'utilisation comme zone de détente (Rigling & Schaffer 2015). Le changement climatique met ces services sous pression. De nombreuses espèces d'arbres sont certes en mesure de supporter des événements isolés de courte durée, tels qu'un été sec. Mais elles sont sensibles à la répétition de ces situations extrêmes. En outre, les changements progressifs du climat peuvent également avoir des effets négatifs à long terme sur les services de la forêt.

### La réaction au changement climatique dépend du site

Le changement climatique transformera la forêt tant au niveau mondial que régional. Ses effets différeront fortement d'un lieu à l'autre, car suivant le site considéré, les changements des conditions climatiques ont une action stimulante ou inhibitrice sur les processus écologiques (IPCC 2014/WGII). En Suisse, les forêts situées dans la zone proche de leur limite maximale d'altitude profiteront des conditions plus chaudes (Körner 2012); par contre, leur croissance reculera dans les sites qui sont aujourd'hui déjà chauds et secs (Bugmann et al. 2014; Elkin et al. 2013). Dans les endroits bien pourvus en eau, de nombreuses espèces d'arbres bourgeonneront plus tôt, alors que dans les emplacements secs leur croissance se terminera à un stade plus précoce de la période de végétation. En raison de la hausse des températures et de l'évaporation plus intense qui en résulte, l'exposition à la sécheresse augmentera même sans modification du régime des précipitations.

Les impacts directs, mais aussi les effets indirects du changement climatique feront évoluer la dynamique de la forêt dans le monde et en Suisse. L'augmentation du risque d'incendies de forêt et la recrudescence du bostryche (Temperli et al. 2013) constituent des exemples de ces conséquences indirectes.

## La vulnérabilité des forêts

### Les changements progressifs

A long terme, les aires potentielles de répartition des espèces d'arbres en Suisse se modifieront, mais de grandes incertitudes subsistent dans l'évaluation de ces changements (fig. 2.14). On prévoit néanmoins qu'ils se manifesteront progressivement et avec un certain retard, car même dans des conditions défavorables, les peuplements forestiers peuvent survivre longtemps en étant moins productifs (Elkin et al. 2013).

Dans les Alpes, à l'étage montagnard, d'abondants jeunes peuplements de feuillus tels que chêne, hêtre, érable et tilleul ont récemment été observés nettement au-dessus de la limite de répartition des arbres adultes (Vitasse et al. 2012). Si ces jeunes arbres se maintiennent à long terme, il pourrait s'agir d'une réaction au réchauffement du système climatique, qui est en Suisse d'environ 1,5 degrés Celsius par rapport aux années 1970, soit bien supérieur à la moyenne mondiale de 0,7 degrés Celsius.

Les températures plus élevées améliorent la croissance des arbres aux étages supérieurs et permettent à la forêt de s'étendre à plus haute altitude. Mais cette ascension est très lente : le changement d'utilisation du sol, consécutif à l'abandon des alpages, a pour l'heure un impact plus fort sur les forêts que le changement climatique (Gehrig-Fasel et al. 2007; Küchler et al. 2014). Une manifestation évidente de cette évolution socioéconomique est l'embuissonnement d'anciens pâturages de l'arc alpin, observé en maints endroits entre 1400 et 2200 mètres d'altitude. Cet embuissonnement – surtout par l'aulne vert, à plus haute

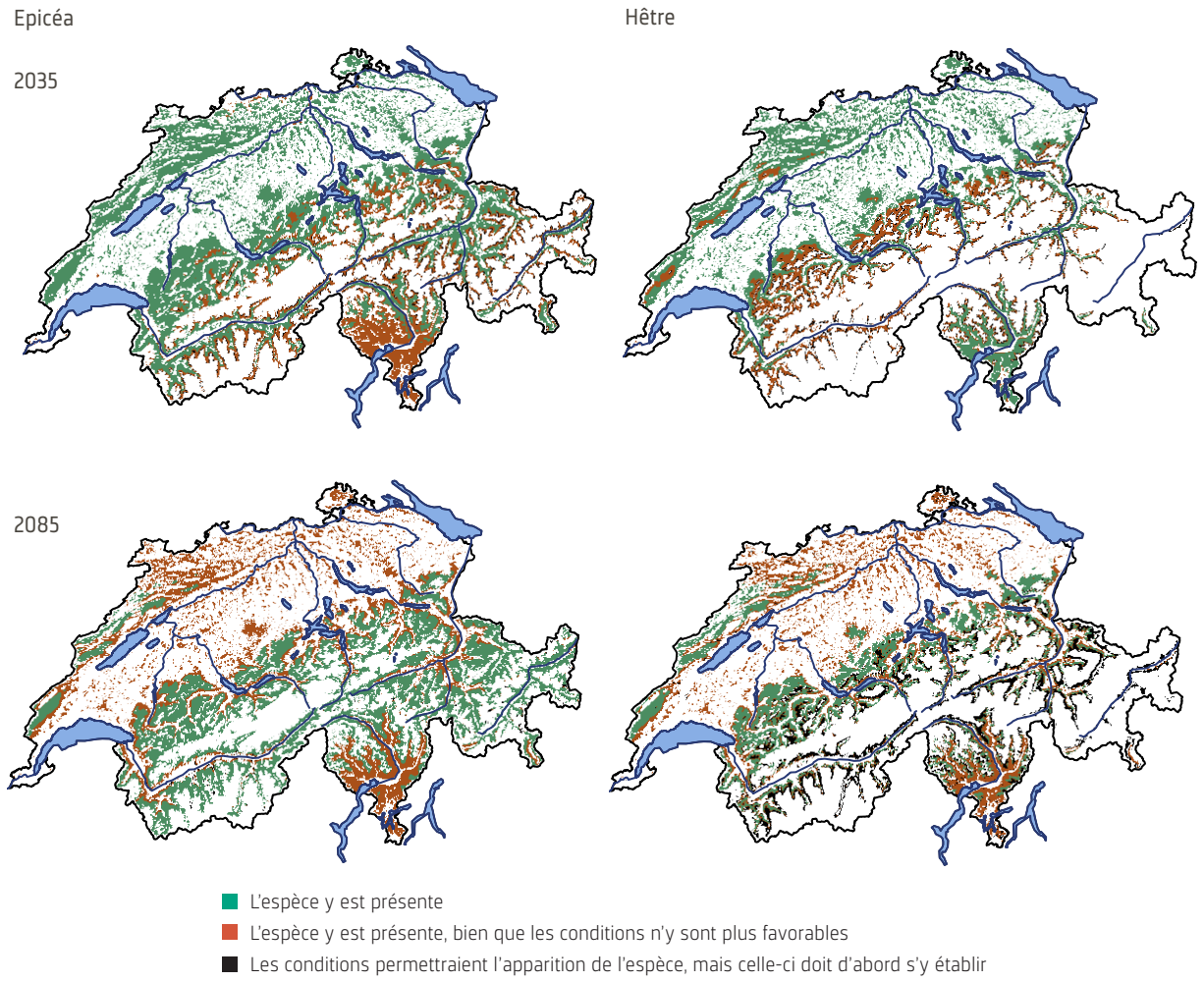



Figure 2.14 : Comparaison de l'adéquation future des deux espèces d'arbres les plus fréquentes en Suisse : l'épicéa *(Picea abies)* et le hêtre *(Fagus sylvatica)*. Les cartes présentent des simulations basées sur des modèles empiriques de distribution des espèces (SDMs) et sur le modèle TreeMig, qui tient compte également de la dissémination et des processus de concurrence. Les surfaces vertes indiquent les régions où les espèces croîtront encore. Les surfaces rouges montrent où une espèce d'arbre est encore présente, mais où les conditions environnementales ne conviennent plus. Les surface noires désignent des zones dans lesquelles l'espèce considérée pourrait croître, mais ne s'y est pas encore établie. (Source : adapté d'après Bugmann et al. 2014)

altitude également par des arbustes nains (Bühlmann et al. 2014) – ralentit la régénération naturelle de la forêt dans ces zones qui ont été défrichées au Moyen-Âge.

Non seulement les arbres, mais tous les éléments biotiques des écosystèmes réagissent aux changements progressifs des conditions climatiques. C'est le cas, par exemple, des insectes (Bugmann et al. 2014). Mais chaque espèce le fait à un moment et d'une manière spécifiques – plus tôt ou plus tard, lentement ou rapidement, linéairement ou par paliers. Les espèces indigènes, animales et végétales, ne sont pas seules concernées, celles qui viennent d'ailleurs, souvent de régions plus chaudes, sont toujours plus nombreuses, avec des chances accrues de survivre et de s'imposer dans nos écosystèmes (Rigling & Schaffer 2015).

## Les événements extrêmes

La hausse de la limite supérieure de la forêt causée par le changement climatique est en outre ralentie par le fait qu'aux étages supérieurs, le rajeunissement des arbres de la forêt nécessite une succession d'années particulièrement favorables du point de vue climatique (cf. par exemple Hagedorn et al. 2014). Des années extrêmes, telles que 2003 avec son été caniculaire (ProClim 2005, Rebetez et al. 2006), ont stimulé la croissance des arbres

à haute altitude, alors qu'elles l'ont clairement entravée dans de nombreuses forêts du Plateau (Jolly et al. 2005). L'impact des années extrêmement sèches varie donc en fonction du lieu et diffère également suivant les espèces d'arbres. Des observations faites dans des régions sèches, telles que le sud-ouest des Etats-Unis, l'espace méditerranéen et des vallées intra-alpines, montrent que la répétition d'années sèches favorise le dépérissement des arbres, ce qui peut modifier à la longue la composition des espèces. En Suisse, le pin sylvestre souffre de plus en plus de la sécheresse dans les régions sèches du Valais où, par contre, le chêne pubescent se montre robuste et se propage (Rigling et al. 2013; Mina et al. 016). Et dans des régions extra-alpines de basse altitude, le chêne s'accommode mieux des périodes sèches que le hêtre commun, le charme commun, le cerisier et le tilleul (Leuzinger et al. 2005; Scherrer et al. 2011).

L'expérience de ces dernières années montre qu'à basse altitude la pression augmentera encore sur l'épicéa, qui est l'arbre de rapport de l'économie forestière suisse et actuellement la principale matière première de l'industrie de la transformation du bois (Lévesque et al. 2014). Cela non seulement à cause de la sensibilité de cette espèce à l'égard de la sécheresse, mais aussi du fait de l'augmentation des attaques de bostryches. Ces coléoptères, ainsi que d'autres insectes nuisibles, prolifèreront non seulement grâce aux températures plus élevées mais également en raison de l'augmentation de la fréquence des tempêtes (Bugmann et al. 2014). En effet celles-ci affaiblissent les peuplements et accroissent la quantité de matériel propice au développement des insectes.

L'évaluation de l'impact de l'évolution du climat sur le devenir de nos forêts doit donc prendre en compte non seulement les risques climatiques, tels que les changements progressifs et les années extrêmes, mais aussi le développement de leur vulnérabilité à l'égard de perturbations telles que les tempêtes, les incendies de forêt, les insectes ravageurs et les attaques fongiques.

## L'adaptation au changement climatique

L'adaptation de la forêt au changement climatique repose sur plusieurs axes (cf. Brang et al. 2014; Rigling & Schaffer 2015).

D'une part, la résistance des écosystèmes forestiers à l'égard des extrêmes climatiques et des risques biotiques tels que les bostryches doit être maintenue et si possible renforcée, afin de diminuer le risque de dépérissement à grande échelle et de préserver les services importants rendus par les forêts. Il s'agit de favoriser les espèces qui résistent bien aux perturbations, qui ont des racines profondes et qui sont bien adaptées au site et également d'améliorer la vitalité et la stabilité individuelle des arbres. Les forêts doivent donc être éclaircies de manière ciblée, afin d'obtenir un bon équilibre entre les espèces et de mettre davantage de ressources – eau, nutriments et lumière – à disposition de chaque arbre.

D'autre part, la capacité d'adaptation des forêts doit être améliorée en augmentant la diversité génétique et la variété des essences ainsi qu'en favorisant les espèces les mieux adaptées au site, y compris celles qui seraient encore rares aujourd'hui. De façon générale, le rajeunissement de la forêt devrait promouvoir une population d'arbres capable de s'accommoder des conditions environnementales attendues.

### Les arbres dans l'espace urbain

Les arbres sont des éléments importants des espaces verts dans l'espace urbain non seulement pour leur esthétique, mais aussi pour la fraîcheur qu'ils dispensent pendant les mois chauds de l'été (cf. chap. 2.13 L'espace urbain, p. 126, chap. 3.8 Stratégies urbaines face au changement climatique, p. 186). Comme l'ont montré des mesures effectuées le 16 juillet 2004 à Bâle, les arbres contribuent à réduire l'effet d'îlot de chaleur dans les villes et les agglomérations. Lors de cette journée caniculaire, la température à la surface de la végétation arborescente des allées et des parcs était de 7 à 16 degrés plus basse que celle des rues sans arbres et même jusqu'à 26 degrés inférieure à celle mesurée sur les toits (Leuzinger et al. 2010). La comparaison entre forêts et prairies démontre de manière saisissante l'effet rafraichissant de l'ombre apportée par les arbres : cet effet est d'autant plus prononcé qu'il fait plus chaud sur les surfaces dégagées, les forêts les plus efficaces dans ce processus étant celles de feuillus et les forêts mixtes. Durant les 11 jours caniculaires d'août 2003, on a mesuré que dans les forêts, la température de l'air était en moyenne de jusqu'à 5,5 degrés Celsius inférieure à celle des prairies voisines. (Renaud & Rebetez 2009). Les arbres pourraient donc apporter une contribution substantielle à un développement urbain qui soit adapté au changement climatique tout en améliorant la qualité de vie et la diversité biologique.
En Suisse, deux projets pilotes, en cours à Berne et à Sion, étudient la relation entre le changement climatique et l'arborisation urbaine et examinent les possibilités et les limites de la gestion des arbres dans un développement urbain adapté au climat.

### La Politique forestière 2020

La Politique forestière 2020 menée par la Confédération vise à harmoniser les exigences écologiques, économiques et sociales posées à la forêt. Elle assure une exploitation durable et crée des conditions générales favorisant l'efficacité et l'innovation dans l'économie forestière et l'industrie du bois. La Politique forestière 2020 fixe onze objectifs. Ils concernent le potentiel d'utilisation du bois, le changement climatique, la fonction protectrice de la forêt, la biodiversité, la surface forestière, la capacité de production de l'économie forestière, les sols forestiers (y compris l'eau potable et la vitalité des arbres), la protection contre les organismes nuisibles, l'équilibre forêt-gibier, l'utilisation de la forêt pour des activités de loisirs et de détente, ainsi que la formation et la recherche (y compris le transfert du savoir). Pour chacun d'eux, la Politique forestière 2020 formule plusieurs lignes stratégiques et propose différentes mesures. Elle charge en premier lieu la Confédération de mettre en œuvre ces dispositions, mais aborde également le rôle des cantons et d'autres acteurs (propriétaires de forêts, exploitants, spécialistes de la forêt, associations etc.). Enfin, elle précise ses effets juridiques et financiers.

## La forêt comme puits de carbone

Une possibilité d'atténuer le changement climatique consiste à optimiser et accroître l'action des forêts comme puits de carbone (IPCC 2014/WGII). Ceci peut être obtenu soit en agrandissant la forêt, soit en augmentant la quantité de carbone stockée par surface de forêt. Il s'agit toutefois de mesures qui ne peuvent être prises qu'une seule fois, sans possibilité de répétition.

En Suisse, la forêt pousse actuellement à grande vitesse dans des pâturages de montagne qui ne sont plus exploités. Elle accumule ainsi de façon durable des quantités supplémentaires de carbone, qui sont toutefois marginales comparées aux émissions fossiles du pays et qui toucheront bientôt à leurs limites. Le stockage d'une plus grande quantité de carbone par surface de forêt va de pair avec un nombre plus élevé de hauts et vieux arbres. Or ceci augmente substantiellement le risque de chablis en cas de tempêtes, ce qui, à son tour, entraîne une hausse des émissions nettes et, à intervalles irréguliers, une forte diminution de la capacité de stockage de la forêt, laquelle devient alors une source de carbone. Il n'est donc pas judicieux, en Suisse, de stocker systématiquement davantage de carbone par surface de forêt, d'autant moins que ce pays est en Europe celui qui possède déjà le plus grand volume de bois par surface de forêt.

Une stratégie durable et efficace consiste à combiner les différents effets d'absorption du carbone par la forêt et le bois. Il s'agit, par une exploitation ciblée, d'assurer un haut niveau de fixation du $CO_2$ par la forêt en utilisant en permanence du bois pour la fabrication de produits durables. En construisant des maisons en bois par exemple, le carbone fixé dans ce matériau est stocké à long terme et l'on évite en même temps le recours à des matériaux de construction émettant beaucoup de $CO_2$.

## Défis pour la Suisse

Les forêts ont une grande longévité et se développent très lentement. Au cours de leur existence, de la plantule jusqu'à la fin de leur vie, les arbres sont exposés à maintes reprises à de multiples risques, tels que des sécheresses extrêmes, des tempêtes et des maladies. Les forêts sont donc sensibles aux modifications intervenant dans leur environnement, et en particulier aux changements climatiques (cf. chap. 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC, p. 77). En outre les conditions économiques changent auss si, de même que les attentes de la société à l'égard de la forêt. Ces facteurs peuvent avoir un impact négatif sur les services rendus par la forêt, qui sont, en Suisse, particulièrement variés. La répartition et la diminution des risques constituent un principe fondamental pour faire face aux incertitudes. Répartir les risques signifie ici promouvoir la diversité des espèces d'arbres, des structures de la forêt et des ressources génétiques. Par ailleurs, une exploitation adaptée aux sites et éventuellement la réduction de l'âge maximal des forêts de production peuvent réduire le risque de dommages forestiers de grande envergure (Rigling & Schaffer 2015). Des compromis au sujet des divers services de la forêt sont indispensables. Cela présuppose notamment un changement de paradigme dans les forêts de production, pour donner la priorité à la réduction à long terme des risques, quitte à assumer temporairement des pertes en matière de production de bois. Mais ceci entre en conflit avec la situation financière actuellement déjà difficile de nombreux propriétaires de forêts et entreprises forestières, quoi sont tributaires à courte ou moyenne échéance, des recettes tirées de la vente du bois.

## Bibliographie


Bircher N, Cailleret M, Bugmann H (2015) **The agony of choice: different empirical mortality models lead to sharply different future forest dynamics.** Ecological Applications 25: 1303–1318.

Brang P, Spathelf P, Larson JB, Boncina A, Chauvin C, Drössler L, Garcia-Güemes C, Heiri C, Kerr G, Lexer MJ, Mason B, Mohren F, Mühlethaler U, Nocentini S, Svoboda M (2014) **Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change.** Forestry 87: 492–503.

Bugmann H, Brang P, Elkin C, Henne P, Jakoby O, Lévesque M, Lischke H, Psomas A, Rigling A, Wermelinger B, Zimmermann NE (2014) **Climate change impacts on tree species, forest properties, and ecosystem services.** In: CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland: 79–88.

Bühlmann T, Hiltbrunner E, Körner C (2014) **Alnus viridis expansion contributes to excess reactive nitrogen release, reduces biodiversity and constrains forest succession.** Alpine Botany 124: 187–191.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Elkin C, Gutierrez AG, Leuzinger S, Manusch C, Temperli C, Rasche L, Bugmann H (2013) **A 2 °C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps.** Global Change Biology 19: 1827–1840.

Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann NE (2007) **Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment?** Journal of Vegetation Science 18: 571–582.

Hagedorn F, Shiyatov FG, Mazepa VS, Devi NM, Grygoriev AA, Bartyish AA, Fomin V, Kapralov D, Terentiev M, Bugman H, Rigling A, Moiseev PA (2014) **Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions?** Global Change Biology 20: 3530–3543.

Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps.** Geophysical Research Letters 32: L18409.

Körner C (2012) **Alpine treelines.** Springer, Basel.

Küchler M, Küchler H, Bedolla A, Wohlgemuth T (2014) **Response of Swiss forests to management and climate change in the last 60 years.** Annals of Forest Science 72: 311–320.

Leuzinger S, Zotz G, Asshoff R, Körner C (2005) **Responses of deciduous forest trees to severe drought in Central Europe.** Tree Physiology 25: 641–650.

Leuzinger S, Vogt R, Körner C (2010) **Tree surface temperature in an urban environment.** Agricultural and Forest Meteorology 150: 56–62.

Lévesque M, Rigling A, Bugmann H, Weber P, Brang P (2014) **Growth response of five co-occuring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe.** Agricultural and Forest Meteorology 197: 1–12.

Mina M, Martin-Benito D, Bugmann H, Cailleret M (2016) **Forward modeling of tree-ring width improves simulation of forest growth responses to drought.** Agricultural and Forest Meteorology 221: 13–33.

OFEV (2014) **Projets pilotes adaptation aux changements climatiques: Cluster «Développement urbain adapté aux changements climatiques».** www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2015) **Politique forestière 2020.** www.bafu.admin.ch/forets

ProClim (ed.) (2005) **Canicule de l'été 2003.** Rapport de synthèse. Berne, 28 pp.

Rebetez M, Mayer H, Dupont O, Schindler D, Gartner K, Kropp J, Menzel A, (2006) **Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis.** Annals of Forest Science 63: 569–577.

Renaud V, Rebetez M (2009) **Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer 2003.** Agricultural and Forest Meteorology 149: 873–880.

Rigling A, Bigler C, Eilmann B, Mayer P, Ginzler C, Vacchiano G, Weber P, Wohlgemuth T, Zweifel R, Dobbertin M (2013) **Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests.** Global Change Biology 19: 229–240.

Rigling A, Schaffer HP (eds.) (2015) **Forest Report 2015. Condition and Use of Swiss Forests.** Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Swiss Federal Research Institute for Forest, Snow and Landscape (WSL), Birmensdorf, 143 pp.

Scherrer D, Bader MKF, Körner C (2011) **Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies.** Agricultural and Forest Meteorology 151: 1632–1640.

Temperli C, Bugmann H, Elkin C (2013) **Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach.** Ecological Monographs 83: 383–402.

Vitasse Y, Hoch G, Randin CF, Lenz A, Kollas C, Körner C (2012) **Tree recruitment of Europen tree species at their current upper elevational limits in the Swiss Alps.** Journal of Biogeography 39: 1439–1449.

WSL (2015) **PorTree – A portrait of Central European tree species for Switzerland.** www.wsl.ch/lud/portree

# 2.10 L'agriculture

**Le changement climatique augmente le risque de pertes de récolte dans d'importants secteurs de la production agricole, ce qui a des conséquences négatives pour la sécurité alimentaire de la population des pays pauvres. En Suisse, on s'attend, à court terme, à des effets positifs aussi bien que négatifs sur les rendements agricoles, mais à long terme, le risque de pertes dues à la chaleur et à la sécheresse augmentera aussi.**

*Jürg Fuhrer (Agroscope)*

## La situation mondiale et nationale

Le potentiel de production de l'agriculture est déterminé surtout par le régime local et régional des températures et des précipitations. En outre, la production actuelle subit l'influence des variations d'année en année des conditions météorologiques. Mais il est difficile de subordonner les tendances et la variabilité des rendements agricoles à des grandeurs climatiques spécifiques: d'une part, ces rendements dépendent de nombreux facteurs qui tiennent principalement à l'exploitation ; d'autre part, les séries de données à disposition sont le plus souvent limitées dans le temps. Néanmoins, le lien entre données climatiques et rendements peut être analysé indirectement au moyen de modèles statistiques ou mécanistes.

### Rendements agricoles en baisse dans le monde entier

Comparées aux calculs antérieurs (quatrième rapport d'évaluation du GIEC sur l'état du savoir), les modélisations les plus récentes, selon le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, fournissent des indices plus nets de baisses du rendement agricole dues au changement climatique dans la plupart des zones de culture – quelques régions septentrionales font exception. Le blé et le maïs sont particulièrement concernés, dans une moindre mesure le riz. Cela signifie que la montée de la température pendant les dernières décennies, éventuellement en combinaison avec un manque d'eau, a déjà provoqué une diminution des rendements agricoles et que ses effets négatifs sur la production l'emportent sur ses effets positifs. Cette évolution se manifeste concrètement dans le cas du maïs en Chine et au Brésil et dans celui du blé en Inde, en Russie et en France (Lobell et al. 2011). En outre, un tiers des variations annuelles des rendements agricoles dans le monde pendant ces dernières décennies peut s'expliquer statistiquement par des variations du climat, et même plus de 60 pour cent dans quelques importantes régions de production, par exemple dans le Midwest des Etats-Unis, en Australie, ou encore en Chine dans des zones de culture du maïs (Ray et al. 2015).

Des vagues de chaleur et des périodes de sécheresse dans d'importantes régions de production ont causé passagèrement des chutes de rendement qui ont entravé l'approvisionnement alimentaire entre autres dans des parties de l'Asie et de l'Afrique. Une telle situation s'est présentée récemment pour le blé et le riz en Russie, aux Etats-Unis et en Australie. Associés à d'autres facteurs, tels que l'augmentation de la production de biocarburants, de tels événements ont contribué à une hausse des prix des denrées alimentaires sur le marché mondial, ce qui a restreint l'accès de la population de pays importateurs pauvres aux denrées alimentaires de base (Willembockel 2012). En revanche, les producteurs ont profité de prix plus élevés.

### En Suisse, certaines décisions politiques ont eu jusqu'ici plus d'influence que le changement climatique

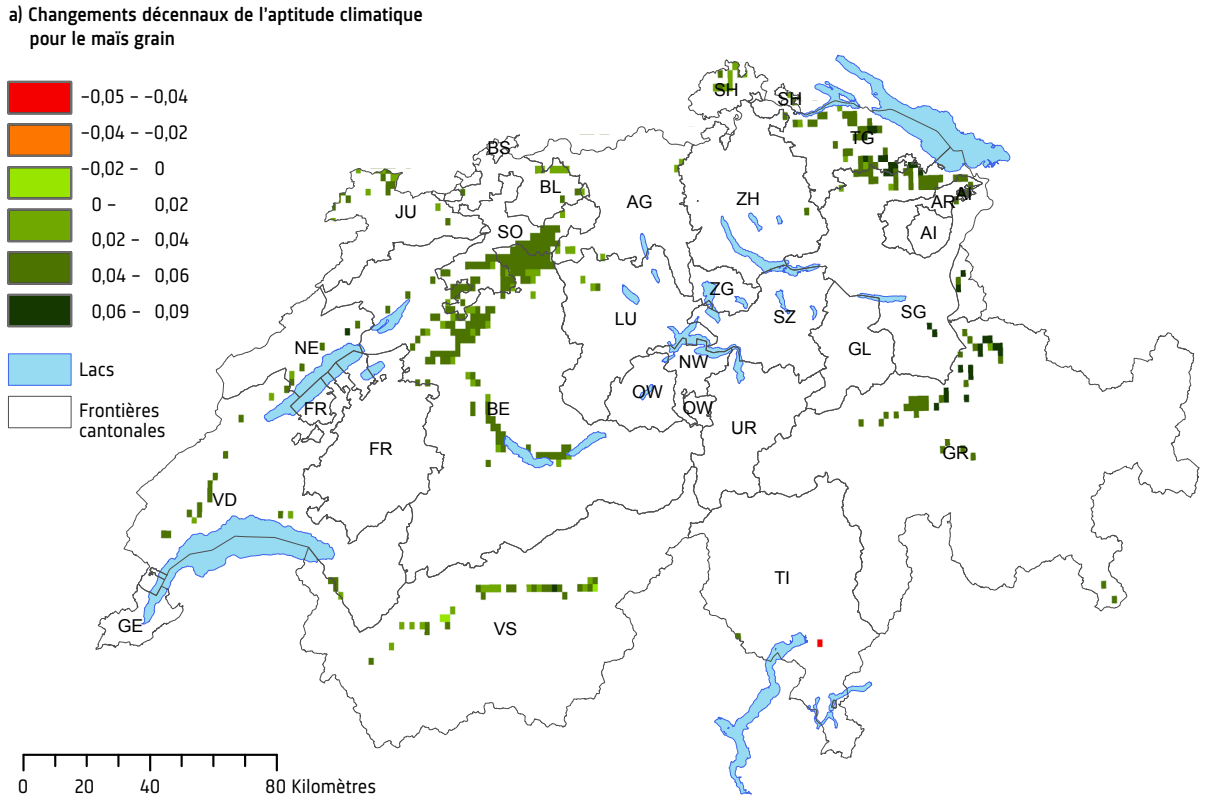
En Suisse, l'augmentation de la température depuis 1980 n'a guère eu d'influence sur les rendements des cultures

#### L'alimentation mondiale

La production mondiale de denrées alimentaires porte sur un nombre limité d'espèces végétales : 150 environ, dont douze fournissent à peu près les deux tiers des denrées consommées. Trois couvrent à elles seules plus de la moitié des besoins énergétiques : le maïs, le blé et le riz. Le sorgho et le millet, la pomme de terre, la patate douce, le soja et la canne à sucre en assurent 25 autres pour cent.

Aujourd'hui, 62 pour cent de la production mondiale des cultures arables sert à l'alimentation humaine, 35 pour cent à celle des animaux et 3 pour cent à la production d'énergie et d'autres biens industriels.

En 2050, plus de neuf milliards d'êtres humains vivront sur la planète. Ils auront besoin de plus de nourriture ; avec l'amélioration du niveau de vie, ils consommeront davantage de viande et de produits laitiers, dont la production nécessite nettement plus de ressources que celle des plantes.



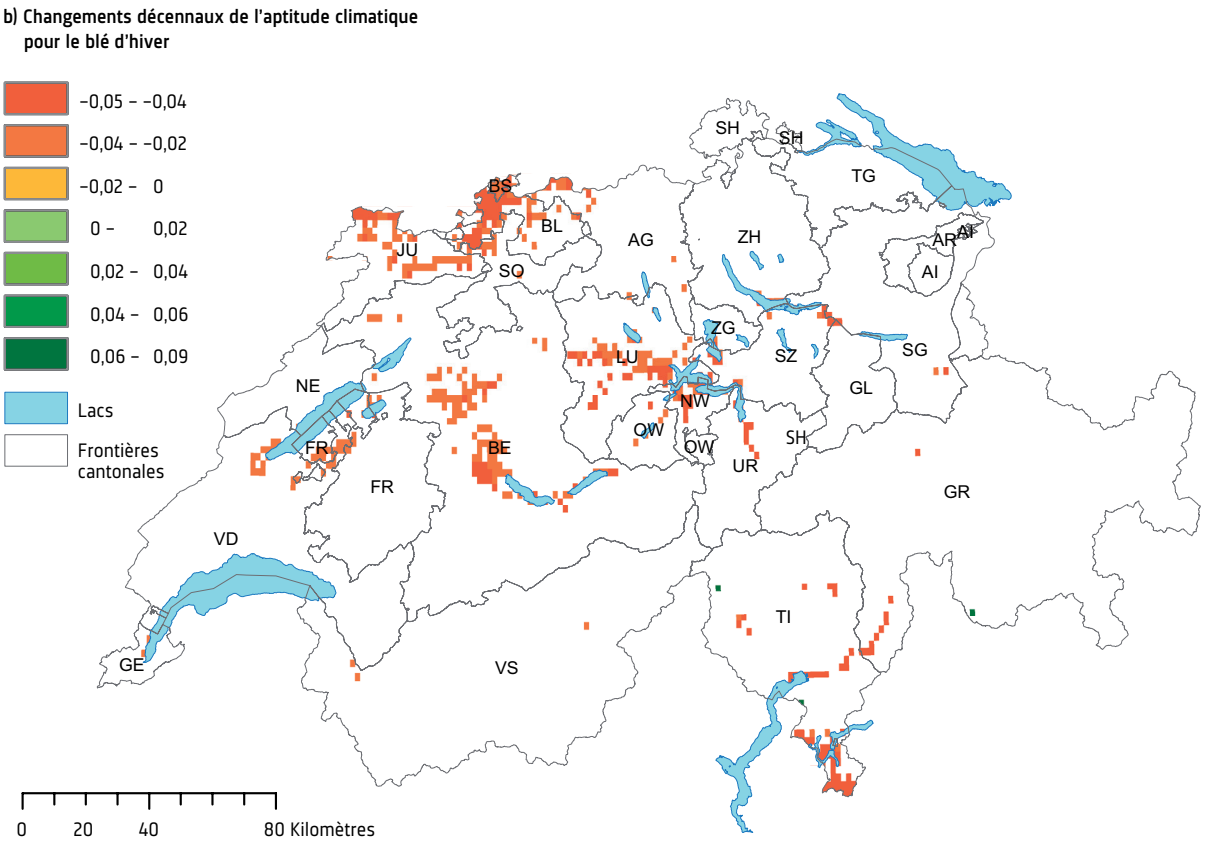




Figure 2.15 : Changement de l'indice d'aptitude climatique pour le maïs (a) et le blé (b) dans des régions où il présente une tendance significative de 1983 à 2010. (Source : Holzkämper et al. 2014)

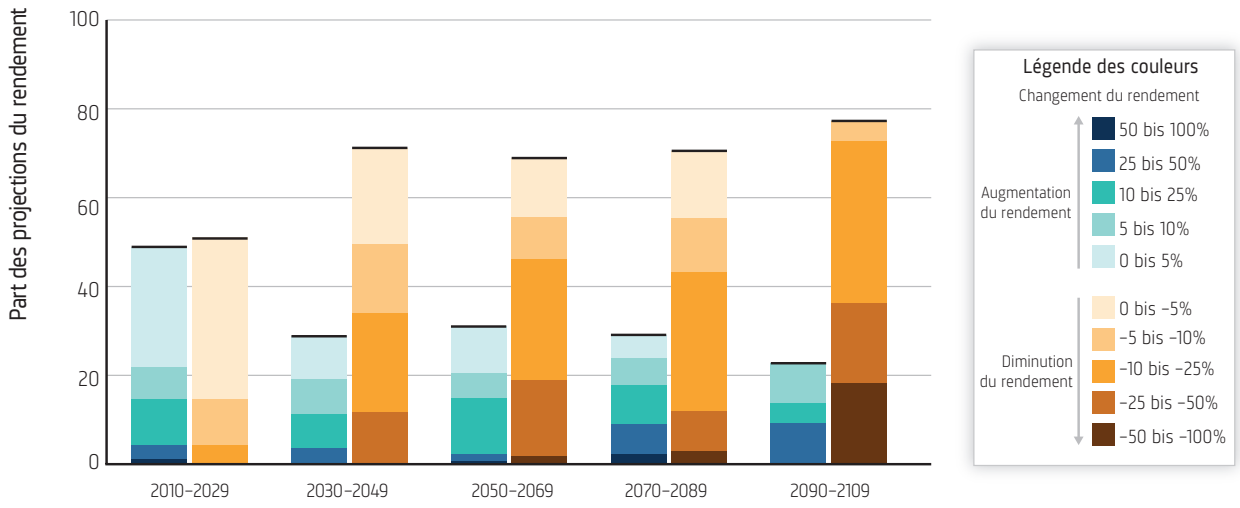



Figure 2.16 : Parts relatives des projections négatives et positives des changements du rendement de cultures agricoles dans des régions de climat tropical et tempéré. Le graphique réunit les résultats de différents scénarios d'émission, ainsi que ceux de simulations avec et sans mesures d'adaptation (somme = 100%). Il montre que les parts des effets positifs diminuent de plus en plus, tandis que celles des impacts négatifs augmentent. Les barres sont sectionnées en fonction de l'ampleur du changement du rendement (en %) comparé aux rendements à la fin du XXe siècle. Après 2050, les changements négatifs du rendement prédominent de plus de 5%. (Source : IPCC 2014/WGII/Chap.7/Fig.7-5)

agricoles. Cependant, la modélisation de l'aptitude climatique de cultures spécifiques indique que de 1980 à 2010 les conditions ont tendu, dans différentes régions, à s'améliorer pour le maïs et à se dégrader pour le blé d'hiver (fig. 2.15). L'aptitude climatique pour la culture de la vigne s'est également améliorée pendant ces 30 dernières années et des variétés de raisin particulièrement exigeantes profitent de températures en hausse (Holzkämper et al. 2013). En ce qui concerne les rendements de céréales, l'effet de décisions politiques, telles que les paiements directs écologiques, est plus manifeste que l'influence du changement climatique (Finger 2010).

En Suisse, pendant le passé récent, les années caractérisées par des conditions météorologiques extrêmes n'ont entraîné que rarement des changements notables de l'offre et des prix des produits agricoles. Ce sont avant tout des produits régionaux, par exemple les légumes, qui ont été touchés par des hausses de prix. Des pertes de production comme en 2003 ont été compensées en partie par des importations et allégements d'importation supplémentaires (suspension de droits de douane sur les aliments pour animaux) ; dans les cas de rigueur, des prêts ont été accordés à titre d'aide aux exploitations. Les paiements directs de la Confédération atténuent en outre les fluctuations des résultats des entreprises agricoles (Lehmann et al. 2013).

## La vulnérabilité

### Changements futurs

L'évolution des changements à venir de la production agricole mondiale en fonction du climat a été évaluée en combinant des modèles de production avec des projections du climat régional. Les incertitudes ayant trait à l'évolution des émissions et du climat, aux développements des techniques agricoles et aux modèles relativisent toutefois les résultats obtenus (Rosenzweig et al. 2014). La grande majorité des études montrent que les tendances positives et négatives des rendements agricoles s'équilibreront plus ou moins pendant les prochaines décennies (2010-2029) (fig. 2.16). Mais si l'évolution des émissions n'est pas freinée (RCP8,5), les effets négatifs augmenteront nettement à moyen terme (2046-2065) dans de nombreuses régions tempérées des latitudes moyennes et surtout dans les zones tropicales, tandis que des effets positifs sont attendus aux latitudes septentrionales. Vers la fin du siècle, les impacts négatifs sur les rendements prédominent largement dans les projections.

En Suisse, dans le même horizon temporel, le réchauffement devrait avoir des effets positifs sur la culture du maïs, pour autant que la sécheresse ne limite pas les rendements plus fréquemment et à plus large échelle. L'aptitude climatique se développera positivement également pour la vigne (Holzkämper et al. 2013). Le réchauffement aura un impact plutôt négatif sur d'autres cultures, par exemple celles du blé d'hiver et de la pomme de terre.

Avec la hausse des températures, la pression des ravageurs devrait également s'accentuer. Ce risque a été peu étudié jusqu'ici. Des premiers résultats pour le carpocapse des pommes montrent toutefois qu'à l'avenir, il faudra compter dans toutes les régions avec deux à trois générations successives par an au lieu d'une aujourd'hui (Hirschi et al. 2012). D'autre part, la barrière de froid que constitue la crête des Alpes devient plus étroite et donc plus facile à franchir par des espèces invasives, comme cela a été montré pour la mouche des brous du noyer (Aluja et al. 2011).

Le changement climatique concerne aussi la production animale. Les études effectuées jusqu'à maintenant ont accordé nettement moins d'attention à ce domaine qu'à celui de la production végétale. Ceci bien que des effets négatifs importants soient attendus pour la production de fourrage, la santé animale ainsi que la quantité et la qualité des produits animaux (IPCC 2014/WGII/Chap.7). En Suisse, pays avec une forte proportion de prairie et une importante production animale et laitière, il faut être très attentif aux risques que les animaux de rapport ont à subir du fait de l'augmentation du stress thermique (Fuhrer & Calanca 2012). Le réchauffement prolonge certes la période de végétation, ce qui a une influence positive sur la production de fourrage et l'exploitation des prairies pour autant que l'irrigation soit suffisante en période de sécheresse (Calanca & Fuhrer 2005). Mais des mesures de prévention doivent être prises pour protéger les animaux contre le stress thermique et le manque d'eau, afin de diminuer le risque de pertes de rendement, de maladies ou même d'une hausse de la mortalité.

## Des extrêmes ont un impact sur le commerce mondial des produits agricoles

Avec la progression du changement climatique, les effets négatifs sur l'agriculture s'intensifieront dans le monde entier et les rendements des cultures deviendront moins stables. Il est prévisible que les extrêmes de température survenant dans la foulée du changement climatique dépasseront plus fréquemment la limite de tolérance de la plupart des cultures arables. Le changement climatique pourrait ainsi atteindre un niveau critique pour une production agricole mondiale suffisante. En dépit d'effets d'adaptation économique, des rendements plus bas et variables dans les principaux pays producteurs entraînent des hausses de prix sur le marché mondial (Nelson et al. 2014) et de plus fortes fluctuations des prix (Calzadilla et al. 2013). Ceci s'ajoutant à l'évolution mondiale des exigences touchant à la disponibilité et qualité des denrées alimentaires (entre autres une consommation accrue de protéines animales), la sécurité alimentaire est mise en danger pour une proportion croissante de la population du globe. Si la production agricole continue de baisser à cause du changement climatique et que ses fluctuations annuelles s'accentuent, le nombre d'êtres humains sous-alimentés augmentera sensiblement d'ici 2050 (WHO 2014). Dans beaucoup de régions, cette évolution contrecarrerait les efforts en cours visant à améliorer la situation alimentaire. Les enfants vivant dans des parties de l'Afrique et de l'Asie du Sud seraient particulièrement concernés (Brown 2014). On s'attend d'autre part à ce que la qualité du régime alimentaire de nombreuses personnes se dégrade du fait du changement climatique ; le nombre de décès liés à l'alimentation augmenterait alors d'ici 2050 dans de nombreuses régions (Springmann et al. 2016).

La situation deviendrait particulièrement difficile après 2050 si l'évolution des émissions n'est pas freinée (RCP8,5), le réchauffement atteindrait alors quatre degrés en moyenne à la fin du siècle et serait accompagné de fréquents extrêmes. Simultanément, la demande en produits animaux continuera d'augmenter dans le monde entier, en particulier dans des pays émergents où une forte croissance démographique s'ajoute à des exigences grandissantes en matière de qualité des denrées alimentaires.

## L'adaptation

Des mesures d'adaptation peuvent contrer en partie les effets négatifs de l'évolution du climat et aider à tirer parti des effets positifs. Dans la pratique agricole, il est possible de prendre entre autres les dispositions suivantes (cf. Fuhrer & Gregory 2014) :

- Planter et utiliser un large spectre de variétés présentant une meilleure tolérance à la chaleur, à la sécheresse et aux ravageurs.
- Décaler les périodes de culture.
- Irriguer plus abondamment en pratiquant une gestion durable de l'eau.
- Travailler le sol avec ménagement pour améliorer son régime hydrique.
- Introduire des systèmes agro-forestiers, c'est-à-dire une combinaison de plantes ligneuses vivaces et de cultures agricoles.
- Soutenir la prise de décision par des informations ciblées.

Des modélisations montrent que de telles mesures, adaptées aux conditions et aux besoins locaux, permettent de réduire les pertes de rendement dues au climat (Challinor et al. 2014). De nombreuses mesures d'adaptation ont un caractère général et jouent un rôle toujours plus important aussi bien à l'étranger qu'en Suisse. L'eau est une ressource limitée aussi dans notre pays. Si la demande en eau augmente en raison d'un climat plus chaud et plus sec, il devient particulièrement important d'utiliser ce précieux

liquide avec ménagement en recourant à des techniques efficaces et à une gestion opérationnelle adaptée à la situation (Fuhrer et al. 2013). Il faut en même temps prévenir les effets d'une augmentation des fortes précipitations. D'où la nécessité de mesures telles que travailler le sol avec ménagement pour empêcher l'érosion.

Les adaptations des systèmes de production peuvent être réalisées au fur et à mesure, par ordre de priorité, au niveau régional ou local. Elles vont de modifications à l'intérieur de structures existantes à des transformations en profondeur. Ces dernières incluent la diversification des entreprises agricoles et le déplacement des zones de culture. L'augmentation des réserves, la diversification de la production, des adaptations en matière de stockage et de distribution des denrées alimentaires de base ainsi qu'une amélioration de la couverture d'assurance des producteurs sont autant de mesures importantes pour lutter contre les variations croissantes de production.

L'ampleur du potentiel d'évitement d'effets négatifs du changement climatique n'est pas bien connue. Elle pourrait être nettement supérieure à ce qui est admis selon l'état actuel du savoir. L'augmentation de la faculté d'adaptation prend une importance particulière dans les régions économiquement faibles ; elle implique le développement du transfert du savoir et nécessite des investissements, des améliorations des structures politiques et sociales et une simplification de l'accès aux marchés.

En Suisse, les possibilités d'adaptation sont comparativement grandes et les mesures à prendre dans l'agriculture peuvent être stimulées par des systèmes d'incitations, par les conditions d'attribution des paiements directs et par la politique des prix. La question d'une couverture d'assurance contre les risques météorologiques est discutée de plus en plus sérieusement. Les bases pour des assurances indicielles contre les dommages dus à la sécheresse ont été élaborées (Kapphan et al. 2012) et les premiers produits de ce genre voient le jour (Suisse Grêle 2016). En outre, le développement d'infrastructures efficaces en matière d'irrigation est en planification dans certaines régions, par exemple dans le Seeland bernois. Il prévoit des réseaux d'irrigation à faible perte raccordés à d'importants réservoirs tels que de grosses rivières et des lacs, la gestion des quantités d'eau pour qu'elles correspondent aux besoins effectifs, ainsi qu'une distribution de ce précieux liquide près du sol, par exemple par irrigation goutte-à-goutte.

## Défis pour la Suisse

En Suisse, la part nette[1] des besoins intérieurs produite dans le pays en 2012, exprimée en termes de quantité d'énergie, s'est élevée à environ 55 pour cent. En comparaison avec l'UE, c'est un faible taux d'auto-approvisionnement. La Suisse importe principalement des produits végétaux, tels que fruits, légumes, céréales et matières grasses, et ceci la plupart du temps de pays de l'UE. La croissance démographique du pays va de pair avec des besoins alimentaires grandissants. Il s'ensuit que pour maintenir le taux net d'auto-approvisionnement en dépit de la diminution de la surface affectée à l'agriculture, il faut accroître la productivité. Sans quoi la dépendance à l'égard des importations de denrées alimentaires et de fourrage continuera d'augmenter, tout comme l'influence des fluctuations de prix sur les marchés agricoles internationaux. Le défi est d'obtenir cette hausse de la productivité en ménageant les ressources naturelles (sol, eau, air et climat) et la diversité biologique et d'amortir en même temps les effets économiques négatifs du changement climatique tout en exploitant de nouvelles possibilités. Des émissions de gaz à effet de serre particulièrement élevées sont associées aux produits animaux (viande et produits laitiers), dont la part importée est faible en comparaison des produits végétaux (Bretscher et al. 2014). Une évolution vers une alimentation toujours plus végétarienne serait donc favorable à la Suisse.

L'une des priorités de la Suisse est la gestion future des ressources en eau.[2] Aujourd'hui déjà, on recourt à l'irrigation sur le Plateau, au Tessin et dans les vallées intra-alpines (Fuhrer & Jasper 2009). Dans de nombreux bassins versants des Préalpes, les écoulements estivaux diminueront (Köplin et al. 2012 ; Fuhrer & Calanca 2014) (cf. chap. 2.4 Eau, p. 84). Un besoin croissant d'irrigation pour assurer le rendement et la qualité des cultures arables et des cultures spéciales (fruits et vigne) ainsi que du fourrage augmentera la concurrence avec d'autres utilisateurs pour l'accès à une offre en eau toujours plus faible (Lanz et al. 2014). Des remaniements de la combinaison des cultures agricoles vers davantage de variétés d'hiver, telles que le colza ou l'orge d'hiver, et un travail de la terre ménageant la structure du sol et favorisant la retenue d'eau sont, en plus de l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation, des possibilités de diminuer les besoins d'irrigation.

Mais il faut aussi repenser l'organisation du paysage rural : des cultures exigeantes devraient être plantées là où le climat et le sol offrent des conditions qui s'y prêtent et où un accès durable à des ressources en eau est assuré. En outre, l'évolution du prix ou le contingentement de l'eau

1 Net signifie ici que l'on n'a considéré que la part de la production suisse produite avec des fourrages indigènes

2 Voir aussi www.nfp61.ch

peuvent inciter des entreprises agricoles à prendre des mesures pour réduire leur consommation de ce précieux liquide. La surexploitation des ressources en eau pourrait être ainsi évitée à l'avenir, de même que les impacts environnementaux qu'elle implique, sans diminuer substantiellement le résultat des entreprises (Fuhrer et al. 2013).

## Bibliographie


Aluja M, Guillén L, Rull R, Höhn H, Frey J, Graf B, Samietz J (2011) **Is the alpine divide becoming more permeable to biological invasions? – Insights on the invasion and establishment of the Walnut Husk Fly, Rhagoletis completa (Diptera: Tephritidae) in Switzerland.** Bulletin of Entomological Research 101: 451–465.

Bretscher D, Leuthold-Stärfl S, Felder D, Fuhrer J (2014) **Emissions de gaz à effet de serre dans l'agriculture et la filière alimentaire en Suisse.** Recherche Agronomique Suisse 5: 458–465.

Brown ME (2014) **Food Security, Food Prices and Climate Variability.** Routledge, New York.

Calzadilla A, Rehdanz K, Betts R, Falloon P, Wiltshire A, Tol RSJ (2013) **Climate change impacts on global agriculture.** Climatic Change 120: 357–374.

Challinor AJ, Watson J, Lobell DB, Howden SM, Smith DR, Chhetri N (2014) **A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation.** Nature Climate Change 4: 287–291.

Finger R (2010) **Evidence of slowing yield growth – the example of Swiss cereal yields.** Food Policy 35: 175–182.

Fuhrer J, Calanca P (2012) **Le changement climatique influence le bien-être des vaches laitières.** Recherche Agronomique Suisse 3: 132–139.

Fuhrer J, Calanca P (2014) **Irrigation et changement climatique: une analyse régionale du déficit en eau.** Recherche Agronomique Suisse 5: 256–263.

Fuhrer J, Gregory PJ (eds.) (2014) **Climate Change Impact and Adaptation in Agricultural Systems.** CABI Climate Change Series.

Fuhrer J, Jasper K (2009) **Besoin en eau d'irrigation des herbages et des cultures avec le climat actuel.** Recherche Agronomique Suisse 16: 396–401.

Fuhrer J, Tendall D, Klein T, Lehmann N, Holzkämper A (2013) **Water demand in Swiss Agriculture – Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate Impacts of Climate Change.** Série ART Schriftenreihe 19: 56.

Hirschi M, Stoeckli S, Dubrovsky M, Spirig C, Calanca P, Rotach MW, Fischer AM, Duffy B, Samietz J (2012) **Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland.** Earth System Dynamics 3: 33–47.

Holzkämper A, Fossati D, Hiltbrunner J, Fuhrer J (2014) **Spatial and temporal trends in agroclimatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland.** Regional Environmental Change 15: 109–122.

Holzkämper A, Fuhrer J, Frei C (2013) **Temperaturtrends und Rebbau in der Schweiz.** Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau 149: 6–9.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 7 «Food security and food production systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kapphan I, Calanca P, Holzkaemper A (2012) **Climate change, weather insurance design and hedging effectiveness.** The Geneva Papers 37: 286–317.

Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2012) **Relating climate change signals and physiographic catchment properties to clustered hydrological response types.** Hydrology and Earth System Sciences 16: 2267–2283.

Lanz K, Fuhrer J, Haeberli W, Stamm C (2014) **Steigender Nutzungsdruck im Wasserschloss.** Aqua & Gas 11: 24–29.

Lehmann N, Briner S, Finger R (2013) **The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions.** Land Use Policy 35: 119–130.

Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011) **Climate trends and global crop production since 1980.** Science 333: 616–620.

Nelson GC, Valin H, Sands RD, Havlík P, Ahammad H, Deryng D, Elliott J, Fujimori S, Hasegawa T, Heyhoe E, Kyle P, Lampe von M, Lotze-Campen, Mason d'Croz, van Meijl H, van der Mensbrugghe D, Müller C, Popp A, Robertson R, Robinson S, Schmid E, Schmitz C, Tabeau A, Willenbockel D (2014) **Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks.** PNAS 111: 3274–3279.

Ray DK, Gerber JS, MacDonald GK, West PC (2015) **Climate variation explaines a third of global crop yield variability.** Nature Communications 6: 5989.

Rosenzweig C, Elliott J, Deryng D, Ruane AC, Müller C, Arneth A, Boote KJ, Folberth C, Glotter M, Khabarov N, Neumann K, Piontek F, Pugh TAM, Schmid E, Stehfest E, Yang H, Jones JW (2014) **Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison.** PNAS 111: 3268–3273.

Springmann M, Mason-D'Croz D, Robinson S, Garnett T, Godfray HCJ, Douglas G, Rayner M, Ballon P, Scarborough P (2016) **Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study.** The Lancet 387: 1937–1946.

Suisse Grêle (2016) **Produits: La GA+.** www.hagel.ch/fr/produkte/ga/

WHO (2014) **Quantitative risk assessment of the eff ects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s.** Geneva: World Health Organization, 128 pp.

Willenbockel D (2012) **Extreme weather events and crop price spikes in a changing climate.** Oxfam Research Reports, September 2012.

# 2.11 Tourisme

**Le changement climatique entraîne aujourd'hui déjà une détérioration des conditions d'enneigement hivernales. Une évolution qui affecte aussi le tourisme en Suisse, et particulièrement les domaines de sports d'hiver situés à moins de 2000 mètres d'altitude. L'accroissement potentiel des dangers naturels et les modifications du paysage augmentent la vulnérabilité du tourisme suisse et sont susceptibles d'occasionner des coûts élevés, directs et indirects, en cas de sinistre. Des opportunités se profilent cependant aussi pour le tourisme suisse, notamment avec l'allongement de la saison estivale du printemps à l'automne. Globalement, en Suisse, le tourisme devra s'adapter dans différents domaines et régions; il y aura notamment une demande pour de nouvelles offres ou des extensions des offres existantes, indépendantes de l'enneigement. La première priorité réside toutefois dans les mesures d'adaptation nécessaires pour réduire les risques de dommages liés aux catastrophes naturelles.**

*Martine Rebetez (Université de Neuchâtel et WSL), Therese Lehmann Friedli (Université de Berne)*

## La situation dans le monde et en Suisse

Au niveau mondial, le tourisme côtier, le tourisme rural/alpin et le tourisme du ski sont les plus concernés par les changements climatiques. En hiver, on observe déjà une détérioration des **conditions d'enneigement** aux altitudes les plus basses, à l'échelle de tout l'hémisphère nord : au Canada, en Scandinavie et dans l'espace alpin européen, Suisse comprise (IPCC 2014/WGII). Dans l'espace alpin les plus pénalisés sont en particulier les domaines de sports d'hiver situés à moins de 2000 mètres d'altitude.

Si l'on veut maintenir une sécurité d'enneigement[1] dans ces régions, des sommes élevées doivent être investies dans l'enneigement artificiel, lequel induit à son tour une importante consommation de ressources (énergie, eau).

En été, l'augmentation des températures dans les régions septentrionales et en altitude, par exemple dans les Alpes suisses, peuvent avoir des effets positifs pour le tourisme. En Suisse, des saisons estivales plus longues, dès avril et mai, mais surtout jusqu'en septembre et octobre, augmentent l'attractivité des régions de plaine au bord des lacs et des régions alpines (IPCC 2014/WGII; Perch-Nielsen et al. 2010; Serquet & Rebetez 2011). Les périodes estivales sans précipitations peuvent en outre avoir un impact positif sur les activités de tourisme outdoor en altitude.

Dans les régions touristiques méridionales, en revanche, l'augmentation des périodes de canicule et de sécheresse en été pourrait entraîner un recul de la demande ou un report des flux touristiques vers les mois d'automne. C'est particulièrement le cas pour les régions côtières, par exemple dans l'espace méditerranéen.

1 Couche de neige de 30 centimètres pendant 100 jours, au moins sept années sur dix

## Vulnérabilité

### Des changements progressifs

Partout dans le monde, le climat évolue progressivement et à long terme plaçant le secteur touristique devant des défis qui sont cependant régulièrement repoussés au second plan pour faire face à d'autres urgences. Les petits établissements et les entreprises touristiques perçoivent le changement climatique comme une menace moins urgente que les autres risques économiques auxquels ils sont exposés (IPCC 2014/WGII/Chap.9). Lorsque, par exemple, les touristes de la zone euro renoncent à venir en Suisse en raison du franc fort, cela constitue une menace directe et immédiate pour la survie de nombreux établissements et activités touristiques, et les mesures de renforcement de la compétitivité sont alors prioritaires.

#### Le tourisme hivernal sous pression

La vulnérabilité du tourisme suisse face au changement climatique concerne principalement les régions et les saisons où les activités touristiques sont tributaires de l'enneigement. Les hivers deviennent plus doux, ce qui conduit à une diminution de la sécurité d'enneigement naturel, surtout dans les régions de moyenne altitude, ainsi qu'en début et en fin de saison, et ce indépendamment de l'évolution des précipitations hivernales. (cf. chap. 1.6 La température, p. 40, chap. 1.7 Le cycle hydrologique, p. 46) (CH2014-Impacts 2014; Serquet et al. 2013 ; Klein et al. 2016). Pour pouvoir s'assurer de bonnes conditions d'enneigement, les amateurs de sport d'hiver risquent à l'avenir de préférer de plus en plus, soit les sorties à la journée, plutôt que des vacances de ski réservées à l'avance, soit des domaines skiables de plus haute altitude. Pour un tourisme du ski déjà en régression, le recul du tourisme d'hébergement, à forte valeur ajoutée, représente une pression supplémentaire pour les professionnels du secteur (Lehmann 2013).

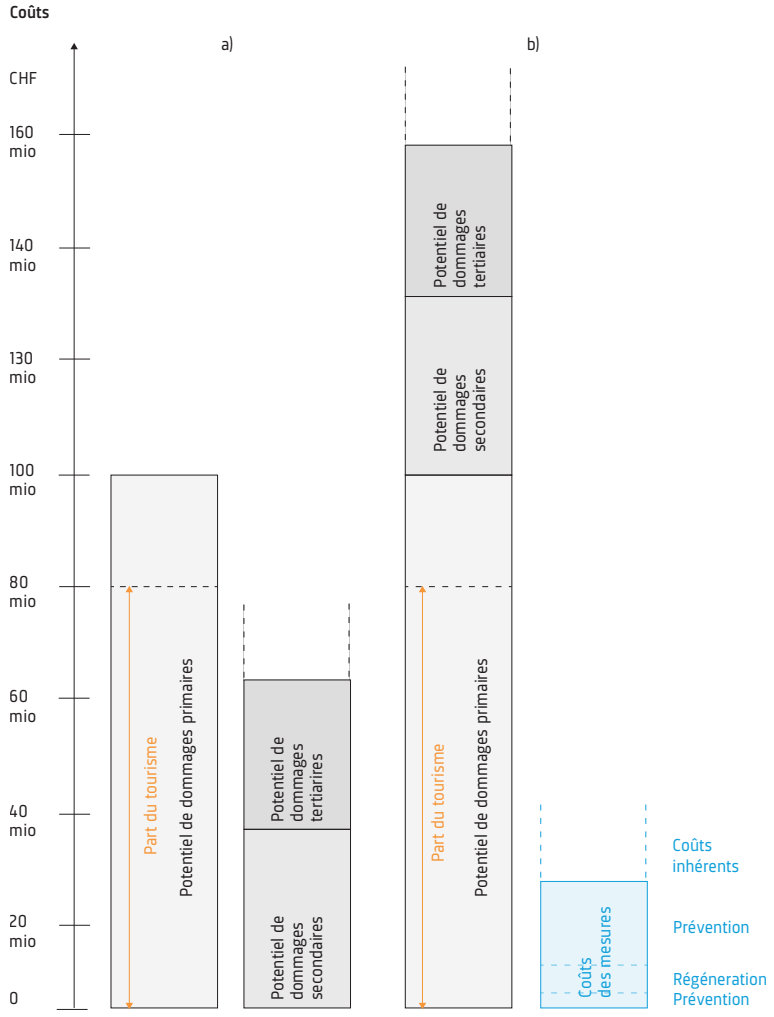



Figure 2.17: Analyse coûts-bénéfices de la construction de la galerie de vidange du lac glaciaire de Grindelwald. a) Comparaison entre le potentiel (primaire) de dommages directs, tels que les dommages aux bâtiments et infrastructures, et le potentiel de dommages indirect, tels que les faillites d'entreprises (potentiel de dommages secondaires) ou les coûts d'image (potentiel de dommages tertiaires) b) Comparaison entre le potentiel de dommages total et les coûts de mesures d'adaptation (construction de la galerie de vidange et autres mesures, telles que la mise en place de systèmes d'alerte ou l'élaboration de concepts d'évacuation). Les coûts potentiels des dommages dépassent de très loin ceux des mesures d'adaptation. (Source: Lehmann & Schaub 2013)

Aujourd'hui déjà, l'enneigement incertain au mois de décembre constitue un défi pour les régions où l'on pratique le ski, puisqu'une part considérable du chiffre d'affaires annuel y est générée entre Noël et Nouvel An (Serquet et al. 2013). Une étude menée pour le canton des Grisons montre pour l'année 2035, sur la base du scénario SRES-A2 (scénario sans mesures spécifiques de réduction des gaz à effet de serre), que 70 pour cent des domaines skiables n'auront plus d'enneigement naturel garanti à Noël (CH2014 2014). Avec leurs nombreux domaines skiables de haute altitude, les Grisons ou le Valais disposent cependant d'avantages comparatifs par rapport aux domaines skiables autrichiens. Ces avantages impliquent cependant un recours massif à l'enneigement artificiel en novembre et en décembre (Steiger & Abegg 2013). Or le nombre de jours pendant lesquels la production de neige de culture est possible devrait diminuer en raison de l'augmentation des températures (CH2014 2014).

**Les modifications du paysage et l'accroissement du risque de catastrophes naturelles augmentent la vulnérabilité**

La vulnérabilité du tourisme augmente d'une part en raison des changements de paysage induits par le recul des glaciers, et d'autre part en raison de l'augmentation des risques de dangers naturels liés à la fonte des glaciers et du pergélisol. Le secteur du tourisme doit prendre en compte le fait que ces conséquences des changements climatiques – même s'ils varient beaucoup d'une région à l'autre – entraîneront des modifications de l'attractivité et du potentiel d'activités touristiques.

En été particulièrement, le paysage est l'un des éléments les plus importants de l'offre touristique. Il est difficile d'estimer dans quelle mesure les changements climatiques modifieront cette attractivité du paysage. La formation de nouveaux lacs glaciaires pourrait par exemple avoir un impact positif sur le paysage; en revanche, la présence de grands champs d'éboulis, résultant de chutes de grands pans de rochers ou du recul des glaciers, peut avoir un impact négatif. (Haeberli et al. 2013; Lehmann 2013). Avec la disparition d'un glacier, c'est aussi un élément de marketing essentiel qui disparaît, affectant l'intérêt pour la destination touristique concernée. Il faut toutefois souligner le fait que les interventions humaines directes sur certains paysages jouent un rôle plus important que le changement climatique.

En cas de catastrophe naturelle, les coûts indirects liés à la perte d'attractivité ou à un dégât d'image, pourront s'avérer particulièrement élevés à long terme dès lors que les touristes ne viendraient plus parce qu'ils considèreraient que la destination serait devenue dangereuse à la suite d'un tel événement (fig.2.17; coûts tertiaires). Une analyse coûts-bénéfices du cas du lac formé au-dessus de Grindelwald, en aval du glacier, le confirme: sans intervention préventive, la rupture du lac glaciaire aurait entraîné, en

plus des coûts directs des dommages aux infrastructures et aux bâtiments, des coûts indirects plus de deux fois supérieurs, liés à des dégâts d'image et à des faillites d'entreprises. De manière générale, la part imputable au changement climatique dans le coût total des dommages causés par une catastrophe naturelle est cependant difficile à déterminer (Haeberli et al. 2013; Lehmann 2013).

#### Le partage des ressources en eau

La question de l'approvisionnement en eau, et surtout celle du juste partage des ressources en eau, va prendre de plus en plus d'importance, particulièrement au-delà de 2050, lorsque l'eau issue jusque là de la fonte des glaciers viendra à manquer en été. Les lacs de retenue, jusqu'à présent réservés aux sociétés hydroélectriques pour leurs seuls besoins, devront de plus en plus souvent être mis à la disposition d'autres utilisateurs. Dans le secteur du tourisme, les besoins en eau pourraient augmenter du fait de la production de neige artificielle (Weingartner et al. 2014).

#### Allongement de la saison estivale

Si la variabilité des températures ne va pas changer, les conditions estivales interviendront de plus en plus tôt au printemps et se prolongeront de plus en plus tard en automne. Cela ouvre des possibilités d'extension de l'offre touristique estivale et de mieux rentabiliser l'entre-saison, moins fréquentée par les touristes. Les groupes cibles potentiels à cette période sont particulièrement les voyageurs plus âgés, dont le nombre augmente, ainsi que les groupes de touristes non européens.

### Conditions extrêmes

La hausse générale des températures en été amènera des périodes de canicule plus fréquentes en Suisse (CH2014-Impacts 2014) (cf. chap. 1.6 La température, p. 40, chap. 1.8 Extrêmes climatiques et météorologiques, p. 52). Entre juin et août, les températures caniculaires en plaine, et spécialement dans les régions méridionales telles que le Tessin ou l'espace méditerranéen, peut déjà inciter les touristes à se rendre dans les régions de montagne pour trouver une fraîcheur plus agréables. Les chiffres des nuitées d'hôtels, en hausse dans les stations de montagne durant ces épisodes, indiquent que ces régions pourraient en tirer profit (Serquet & Rebetez 2011).

Les événements de précipitations intenses, ajoutés à l'élévation de l'altitude de la neige, à la fonte des glaciers et au dégel du pergélisol, augmenteront le risque de dangers naturels (inondations, coulées de boue ou glissements de terrain). Pour le tourisme alpin, cela peut entraîner une augmentation des dommages aux infrastructures, des faillites d'entreprises, voire une perte d'image (Lehmann 2013).

## Adaptation

Certains aspects du changement climatiques, pour autant qu'ils soient mis à profit et valorisés dans le développement touristique d'une région, pourront profiter au tourisme alpin. Les mesures prises dans le développement de l'offre, dans la réduction des risques naturels et dans la communication seront déterminantes afin de réduire les incidences négatives des changements (Müller & Lehmann 2010). Le développement de l'offre touristique pourra inclure davantage d'événements indépendants des conditions climatiques. Il s'agira également de promouvoir les techniques les plus durables possibles en matière d'enneigement artificiel. Dans le domaine de la communication, la mise en place de sentiers didactiques sur le climat et les changements climatiques, ou des excursions guidées, offrent la possibilité de montrer les impacts des changements climatiques et de sensibiliser les touristes. En matière d'adaptation, la première priorité revient cependant aux mesures prises pour la réduction des dangers, comme le montre l'analyse coûts-bénéfices de la gestion du lac glaciaire de Grindelwald citée plus haut (fig. 2.17).

La majorité des mesures d'adaptation déjà mises en œuvre dans le secteur du tourisme l'ont été à l'initiative et avec le financement d'acteurs privés. A l'avenir les pouvoirs publics devront aussi apporter des contributions financières là où des mesures importantes deviennent nécessaires en matière de planification, d'organisation et de construction. Il s'agira par exemple, à titre préventif, de développer les zones de protection, d'élaborer de nouveaux scénarios de dangers naturels pour les régions, de promouvoir la formation et la recherche sur les processus d'adaptation, de constituer et de coordonner des instances pour l'échange d'expériences ou l'élaboration de concepts d'intervention. Cela nécessitera une évaluation des mesures d'adaptation possibles selon des critères tels que le bénéfice additionnel, la priorisation, la faisabilité, l'efficacité, l'acceptation et l'efficacité des coûts (IPCC 2014/WGII; Lehmann 2013).

## Les défis pour la Suisse

Le tourisme suisse devra s'adapter aux changements climatiques, particulièrement dans certains domaines et dans certaines régions. Le tourisme d'hiver en moyenne montagne est particulièrement concerné, dans la mesure où il sera affecté par un manque de neige de plus en plus fréquent pendant la période à forte valeur ajoutée des fêtes de fin d'année. Cela nécessitera surtout de proposer

des offres nouvelles et élargies qui ne dépendent pas de l'enneigement. En été, les régions de plaine connaîtront davantage de périodes de canicule. La fraîcheur confortable dans les régions alpines et l'atmosphère méditerranéenne des bords des lacs de plaine rendront ces régions plus attractives du point de vue touristique, ce qu'elles pourront exploiter commercialement en proposant des offres adéquates. Comme dans d'autres secteurs, les mesures de réduction des dangers doivent être la première priorité pour le secteur du tourisme, car les coûts potentiels des dommages, par exemple en cas de rupture d'un lac glaciaire, peuvent dépasser de très loin les coûts des mesures d'adaptation. Cela s'explique par le fait que, dans le tourisme, en cas d'événement causant des dommages, les faillites d'entreprises et les dégâts en matière d'image pèsent très lourdement, en plus des coûts directs liés aux bâtiments et aux infrastructures.

## Bibliographie


CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland**. Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

Haeberli W, Bütler M, Huggel C, Müller HR, Schleiss A (eds.) (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques**. Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61). www.nfp61.ch

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 9 «Rural Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Klein G, Vitasse Y, Rixen C, Marty M, Rebetez M (2016) **Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset**. Climatic Change (in press).

Lehmann Friedli T (2013) **Ökonomische Relevanz von Klimaanpassung im Tourismus – Qualitative und quantitative Kosten-Nutzen-Bewertungen von Anpassungsmassnahmen im Schweizer Alpenraum**. Berner Studien zu Freizeit und Tourismus 58, Berne.

Lehmann Friedli T, Schaub Y (2013) **Neue Gletscherseen im Alpenraum – Schaden- und Nutzenpotential für den Schweizer Tourismus**. In: Bieger T, Beritelli P, Laesser C (2012) Nachhaltigkeit im alpinen Tourismus, Schweizer Jahrbuch für Tourismus 2012: 111–126.

Müller HR, Lehmann Friedli T (2010). **Le tourisme suisse face aux changements climatiques : conséquences et options possibles (Résumé)**. SECO, Berne.

Perch-Nielsen S, Amelung B, Knutti R (2010) **Future climate resources for tourism in Europe based on the daily Tourism Climatic Index**. Climatic Change 103: 363–381.

Serquet G, Marty C, Rebetez M (2013) **Monthly trends and the corresponding altitudinal shift in the snowfall/precipitation day ratio**. Theoretical and Applied Climatology 114: 437–444.

Serquet G, Rebetez M (2011) **Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperature associated with climate change**. Climatic Change 108: 291–300.

Steiger R, Abegg B (2013) **The Sensitivity of Austrian Ski Areas to Climate Change**. Tourism Planning & Development 10: 480–493.

Weingartner R, Schädler B, Reynard E, Bonriposi, Graefe O, Herweg K, Homewood C, Huss M, Kauzlaric M, Liniger H, Rey E, Rist S, Schneider F (2014) **MontanAqua: Gestion de l'eau en temps de pénurie et de changement global**. Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61). www.nfp61.ch

# 2.12 Bâtiments et infrastructures

**Les cycles d'investissement des infrastructures techniques, tels les bâtiments, les routes et les systèmes d'approvisionnement énergétique, courent généralement sur plusieurs décennies. Les infrastructures sociales, comme les hôpitaux, la police ou l'armée, ne sont guère mieux loties, au regard du temps que demande la moindre réorganisation de ces services. Si les changements climatiques appellent des adaptations, ils réduisent aussi la sécurité de la planification. Les effets directs du changement climatique pour la Suisse, s'agissant des bâtiments et infrastructures, devraient rester relativement circonscrits. En effet, comparativement à ceux d'autres pays, les bâtiments et infrastructures suisses sont très bien armés pour faire face aux éventuels changements climatiques. Ils pourraient même, à certains égards, avoir tout à gagner d'un changement climatique modéré. Plus que des effets directs, ce sont probablement les répercussions indirectes des changements climatiques qui nous affecteront le plus. La Suisse est inextricablement liée au tissu économique mondial, dont de nombreuses régions seront exposées à des changements sociétaux et économiques majeurs. Ces changements pourraient nuire considérablement à la rentabilité des investissements réalisés, tant en Suisse que dans le reste monde, et affecter ainsi les bâtiments et infrastructures bien plus durement que les conséquences directes du réchauffement planétaire.**

*Christoph Ritz (ProClim/SCNAT), Mark Zimmermann (EMPA)*

## Situation mondiale

Dans la littérature spécialisée, des températures annuelles moyennes de l'ordre de 13 degrés Celsius sont considérées comme optimales pour le développement économique (cf. Burke et al. 2015). Elles pourraient aussi se révéler avantageuses pour les bâtiments, ainsi que pour de nombreuses infrastructures, car elles n'engendrent que des contraintes physiques modérées et ne nécessitent ni chauffage ni refroidissement intensifs pour garantir confort et hautes performances économiques (p. ex. Wyon 2000). La plupart des actuelles nations industrialisées se situent dans des zones au climat favorable dont la température annuelle moyenne est inférieure, ou à peine supérieure, à ces 13 degrés Celsius. Les bâtiments et infrastructures des nations industrialisées répondent généralement à des normes de sécurité relativement élevées et sont de bonne qualité. Comme le montre la figure 2.18, l'économie des nations industrialisées du nord pourrait même être épargnée, selon le scénario sans mesures explicites de protection du climat (en bref : le scénario de référence) RCP8,5. Ce sera toutefois moins le cas des pays du sud de l'Europe, de l'Australie et dans certaines régions des Etats-Unis ainsi que de la Chine.

De nombreuses régions tropicales et subtropicales affichent des températures annuelles moyennes nettement supérieures à 13 degrés Celsius. Nombre de ces régions sont aujourd'hui déjà trop peu préparées aux fluctuations naturelles et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Il est à prévoir que les changements climatiques ne menacent pas les seuls bâtiments et infrastructures de ces pays en développement et pays émergents. En effet, compte tenu de la baisse attendue de leurs performances économiques (fig. 2.18), leur capacité d'adaptation et de prévention se trouvera elle aussi amoindrie. Les priorités doivent être axées sur les conséquences des inondations et tempêtes, auxquelles les bâtiments ne résistent souvent pas. La chaleur et la sécheresse croissantes sont elles aussi une source de graves problèmes.

## Situation nationale

Sur le Plateau suisse, la température annuelle moyenne est d'environ 9,5 degrés Celsius. La Suisse peut donc, comme la plupart des zones tempérées du nord, tirer avantage d'un léger réchauffement de son climat (fig. 2.18). Un climat plus doux réduit en effet les besoins énergétiques liés au chauffage, ainsi que les dégâts liés au gel et à la neige. A l'inverse, les systèmes de climatisation tournent plus en été. Mais leur utilisation n'augmente de manière significative qu'en cas de fort réchauffement. Un risque accru de dommages immobiliers, du fait du vent et de la multiplication des pluies battantes (fortes pluies associées à des vents élevés), est imaginable, mais rien ne permet encore de conclure avec certitude que cela sera le cas. Les crues et les laves torrentielles pourraient être le problème le plus critique et provoquer de graves dégâts, du moins localement.

Les *infrastructures techniques* suisses, comme les bâtiments, les infrastructures de production énergétique et de transport, le réseau routier ou les systèmes de communication sont – en comparaison avec la situation qui prévaut dans la plupart des régions du monde – tout à fait parées pour faire face aux *conséquences directes* du climat actuel. A cela s'ajoutent des systèmes d'observation

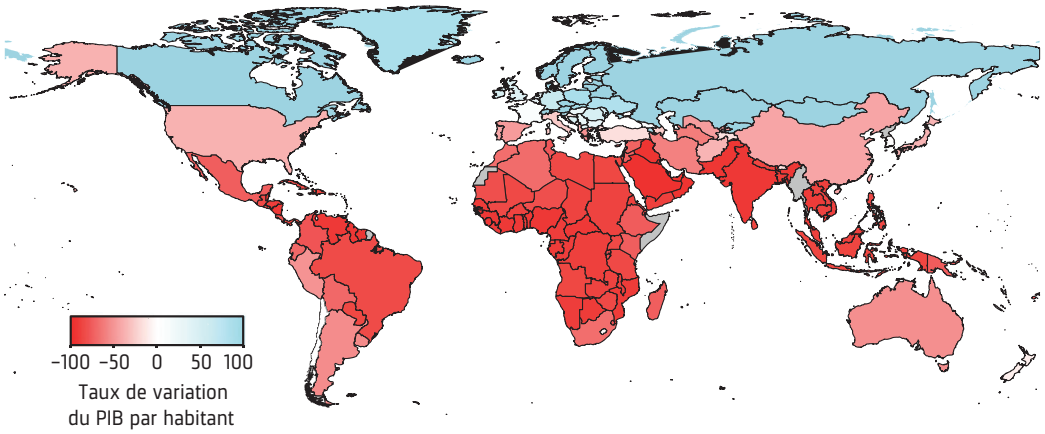



Figure 2.18 : Projection de l'évolution du PIB en 2100 pour le scénario RCP8,5, en comparaison avec une évolution sous le climat actuel. La plupart des pays industrialisés, avec leurs bâtiments et infrastructures, se trouvent en zones tempérées, avec des températures annuelles moyennes proches des 13 degrés Celsius idéaux. Leur PIB pourrait donc ne connaître qu'un impact relativement restreint. Les conséquences négatives prévisibles pour le PIB de la plupart des pays en développement pourraient en revanche considérablement compliquer l'adaptation des bâtiments et infrastructures. (Source : Marshall et al. 2015)

bien développés, permettant de repérer à temps les dangers naturels sérieux et de prendre les mesures qui s'imposent.[1] Autant de raisons pour lesquelles la Suisse n'a, ces dernières décennies, enregistré que peu de décès liés à des phénomènes météorologiques extrêmes, à l'exception de la canicule de 2003, qui a coûté prématurément la vie à un millier de personnes. A l'avenir, les infrastructures techniques devraient encore être largement à la hauteur des défis climatiques ou pourront y être adaptées. Il n'en reste pas moins que les crues de 2005 ont provoqué des dégâts matériels à hauteur de 3 milliards de francs.

La question qui se pose est de savoir si les *infrastructures sociales* suisses sont elles aussi prêtes à affronter les événements climatiques futurs. Le système de soins de santé, avec les hôpitaux et les services de secours, ou les services de sécurité, comme la police, l'armée ou la protection civile, n'ont jusqu'ici pas encore vraiment eu l'occasion de faire leurs preuves dans des situations de catastrophes. L'été chaud de 2015 a néanmoins montré que des leçons avaient été tirées de la canicule de 2003, notamment avec des adaptations du système sanitaire. Cela a très vraisemblablement permis de réduire notre vulnérabilité.

Tous les bâtiments et infrastructures de Suisse nécessitent néanmoins des adaptations, pour diverses raisons socioéconomiques. Ces besoins sont à tout le moins encore renforcés par les conséquences des changements climatiques.

– Avec l'urbanisation toujours plus dense, l'étalement urbain toujours plus grand et la mobilité croissante, l'*exposition* de l'homme, des bâtiments et des infrastructures aux forces de la nature ne cesse d'augmenter, avec à la clé un risque accru de sinistres. Ainsi, le risque de dommages corporels est supérieur lorsque les trains se multiplient et sont bondés, même si la fréquence du phénomène naturel *mise en danger* reste identique. Et le risque se fait encore plus présent dès lors que des changements climatiques rendent ces événements plus fréquents.
– La société est de moins en moins encline à accepter le risque – surtout lorsqu'il a des causes externes. L'acceptation du risque est d'autant moins grande lorsqu'il concerne des événements très rares susceptibles d'avoir des répercussions catastrophiques (Sunstein 2003). Quelques bâtiments se trouvent aujourd'hui déjà dans des zones menacées où, compte tenu de l'état actuel des connaissances et de notre acceptation du risque, il ne devrait désormais plus être possible de construire. Une multiplication des événements, et un renforcement de leur intensité, suite aux changements climatiques peut, localement, conduire à un élargissement des zones à risque, de sorte que d'autres bâtiments et infrastructures existants se retrouveront dans ces zones.

1 Par exemple en mesurant régulièrement les versants montagneux autour des lacs artificiels ou grâce à des stations de mesure fixes chargées de surveiller les glissements de terrain ou les éboulements sur les routes de montagne menacées.

## Régions urbaines en Suisse

| Infrastructure | Besoins d'adaptation et perspectives | Facteurs influen-çant le climat |
|---|---|---|
| Approvisionnement en eau fraîche | L'approvisionnement en eau est assuré dans la plupart des villes suisses. Les périodes prolongées de canicule requièrent des corrections du réseau d'approvisionnement (p. ex. des groupements plus importants), des mesures de réduction de la consommation et une gestion intégrée de l'énergie hydraulique, de l'irrigation et de l'eau potable. | |
| Système d'évacuation des eaux usées | La plupart du temps, les eaux usées polluées des ménages, de l'industrie et des routes très fréquentées ne sont pas séparées des eaux usées non polluées (p. ex. provenant des toits). La croissance démographique et les gros pics de précipitations engendrent une surcharge des systèmes et un écoulement direct dans les cours d'eau. Lors du renouvellement des systèmes obsolètes, le redimensionnement et la séparation permettent une optimisation des coûts. | |
| Approvisionnement en énergie | L'approvisionnement en énergie des zones urbaines et industrielles est fortement affecté par les longues périodes de canicule ou de froid. Cela vaut en particulier si les 40 pourcent d'électricité produits par les centrales nucléaires n'ont pas été remplacés par des énergies renouvelables et si la consommation continue à augmenter en dépit des mesures d'amélioration de l'efficacité. La production locale (p. ex. photovoltaïque) permet de réduire les pénuries en été. | |
| Approvisionnement en denrées alimentaires | L'approvisionnement en denrées alimentaires des agglomérations suisses est mondialisé et donc fortement influencé par les prix mondiaux et par la productivité agricole locale et nationale. L'adaptation de l'approvisionnement en denrées alimentaires constitue un défi de taille. Il est nécessaire d'apporter des changements radicaux dans la production, le stockage, la transformation et le transport des denrées alimentaires et de réduire les déchets. | |
| Transport et communication | Les agglomérations suisses et, en particulier, les grandes régions urbaines disposent de réseaux denses de transports publics et de communication. Certes, ces réseaux sont vulnérables, mais en cas d'événements climatiques extrêmes, ils restent disponibles grâce à la redondance de leurs structures. Les régions de montagnes sont les plus vulnérables, car toutes les voies de transport et infrastructures de communication sont proches les unes des autres dans les vallées. | |
| Habitat | Les agglomérations sont composées d'un grand nombre de vieux bâtiments (souvent protégés) qui sont mal isolés en été et en hiver. Qui plus est, certaines constructions se trouvent dans des zones inondables. Si de gros efforts de réduction de la consommation de l'énergie de chauffage ont déjà été faits, on accorde encore trop peu d'attention à l'accumulation de chaleur dans les bâtiments en raison de la protection solaire insuffisante. | |
| Système de santé | La surveillance de la santé et des soins par le système de santé suisse intervient de manière réactive. Pendant les périodes de canicules prolongées, les personnes âgées, les malades chroniques et les très jeunes ont besoin d'une aide ciblée. | |
| Principaux secteurs économiques et services | L'économie suisse est dominée par le secteur des services et par des entreprises opérant à l'international qui sont dépendantes des risques climatiques des marchés externes. Les interruptions des infrastructures essentielles, comme les réseaux de transport et d'énergie, ont des répercussions à court terme. | |

Légende des facteurs influençant le climat

**Figure 2.19 :** Risques climatiques pour les infrastructures dans les villes et agglomérations suisses. Sont représentés ici les risques clés et leurs causes climatiques. (Source : IPCC 2014/WGII/Chap.8, élaboré sur la base du tableau 8-6 Londres et du tableau générique 8-3, contenu adapté à la Suisse)

## Changements progressifs, situations extrêmes et adaptation

Généralement, les *infrastructures techniques* présentent des cycles d'investissement de plusieurs décennies. Pour éviter des pertes de valeurs imprévues, les changements climatiques attendus sur l'ensemble du cycle d'investissement doivent être pris en compte lors de la construction ou de la transformation.

Les infrastructures des *zones densément peuplées* – villes et leurs agglomérations – où se concentrent 80 pour cent des emplois (Conseil fédéral 2015) et où les événements extrêmes frappent plus de monde, méritent une attention toute particulière. Le rapport du groupe de travail II du GIEC a analysé séparément l'impact des changements climatiques sur ces zones urbaines. La figure 2.19 répertorie les principaux types de risques pour la Suisse, ainsi que leurs causes climatiques.

Le système d'évacuation des eaux usées par exemple (deuxième risque clé du tableau) est particulièrement menacé par les risques climatiques, du fait des fortes précipitations et des inondations. Aujourd'hui, les risques sont encore limités dans la plupart des endroits. Ils peuvent toutefois déjà être moyennement élevés aux endroits vulnérables (eaux usées des stations d'épuration susceptibles de se déverser dans les cours d'eau en cas de fortes précipitations).

En Suisse, les *zones rurales* sont, à quelques exceptions près, très proches des zones urbaines. Elles hébergent des personnes qui travaillent en ville et accueillent les citadins désireux de se ressourcer. Les villes dépendent en outre des zones rurales et de leurs ressources, telles l'eau potable, les denrées alimentaires et l'énergie. Des événements extrêmes dans les zones rurales pourraient ainsi également mettre à mal l'approvisionnement des zones urbaines.

Les infrastructures de certaines zones rurales, et plus particulièrement des régions montagneuses, sont exposées à d'autres risques d'infrastructures : en cas de blocage des routes, elles se retrouvent souvent coupées du monde. La sécurité de l'approvisionnement de régions entières – quoique faiblement peuplées – peut ainsi être mise en péril. Les axes routiers qui traversent les Alpes sont également sensibles à d'autres risques. Souvent, la vallée abrite, sur un espace restreint, non seulement des communications ferroviaires et des routes, mais aussi des gazoducs et oléoducs, ou encore des lignes à haute tension. Un seul événement extrême peut ainsi provoquer une rupture de l'approvisionnement, susceptible de toucher l'économie et la population bien au-delà de la vallée.

## Les défis pour la Suisse

Il est possible de minimiser les investissements futurs, potentiellement élevés, rendus nécessaires par la nouvelle donne climatique et sortant du cadre de l'assainissement normal des bâtiments et infrastructures, en tenant compte des changements climatiques prévisibles sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments dès leur construction. La condition étant de disposer de projections fiables permettant d'établir des cartes des dangers et d'appliquer systématiquement les connaissances ainsi acquises au travers de lois et de règles concrètes et vérifiables et/ou avec des aides financières (p. ex. par l'entremise d'un fonds public). Le cycle de vie des bâtiments et infrastructures s'étalant souvent sur bien plus de 50 ans, les stratégies d'adaptation constituent un défi à deux égards :

- Les adaptations aujourd'hui nécessaires dans le cadre d'une construction ou d'une rénovation dépendent du succès des mesures de protection climatique adoptées à l'échelle mondiale : les adaptations à mettre en place en présence d'un réchauffement de deux degrés Celsius ne sont pas les mêmes que celles associées à un réchauffement de quatre degrés Celsius.
- Or, pour limiter l'élévation des températures à 2 degrés Celsius, il faut sortir du carbone. Un monde globalement neutre en $CO_2$ pose d'autres défis en termes de bâtiments et d'infrastructures (p. ex. grandes expansions du réseau routier ou des aéroports) qu'un monde essentiellement fondé sur les énergies fossiles.

Il est donc important que les efforts d'adaptation prennent également en compte l'impact qu'auront les mesures nationales et internationales prises pour atténuer le changement climatique, des mesures qui, selon la politique climatique adoptée, seront susceptibles d'engendrer de grands changements économiques et sociétaux. Compte tenu de son étroite intégration au réseau mondial, la Suisse est fortement exposée aux conséquences de tels changements. Cela restreint donc la sécurité de la planification lors de la construction ou de l'entretien des infrastructures. Vous trouverez ci-après quelques exemples supplémentaires :

- Si les prix de l'énergie étaient appelés à changer (p. ex. au travers de taxes) ou si la demande énergétique évoluait (p. ex. grâce à une plus grande efficacité énergétique ou à un meilleur pilotage de la demande), les investissements consentis aujourd'hui dans le secteur de l'énergie pourraient a posteriori se révéler non rentables, et des emplois pourraient être perdus dans des secteurs importants. Aujourd'hui déjà, des investissements massifs doivent être consentis dans la transfor-

mation du réseau électrique.[2] Le degré d'expansion requis est toutefois grandement tributaire du développement, voire de la promotion, des différentes sources d'énergie et de l'évolution technique de la demande locale (stockage local, SmartGrids etc.).

– L'évolution des besoins en matière de mobilité et de tourisme peut rendre nécessaires de nouveaux investissements et, dans le même temps, en remettre d'autres en question. Le secteur touristique se montre lui aussi très sensible aux changements qui se font jour dans l'environnement économique. Il est à prévoir que le tourisme suisse soit amené à se réorienter du fait des changements climatiques et doive ainsi consentir d'importants investissements d'infrastructures – investissements dont la rentabilité reste encore très incertaine eu égard au caractère imprévisible de l'évolution du contexte socioéconomique national et international (cf. chap. 2.11 Tourisme, p. 117).

La tâche la plus difficile pourrait résider dans l'adaptation des infrastructures sociales. La croissance de la consommation et de la production que suppose notre système économique s'oppose à leur restriction devenue nécessaire si l'on entend endiguer les changements climatiques. Et cette situation nuit à la sécurité de la planification, compte tenu de la gigantesque palette des évolutions sociétales et économiques possibles. Le risque que des investissements se révèlent désastreux augmente donc en conséquence.

## De nouvelles études sont nécessaires

Nous avons besoin d'analyses systémiques approfondies pour comprendre dans toute leur complexité les tenants et aboutissants entre mise à disposition de l'énergie et utilisation de celle-ci, exploitation différenciée des bâtiments et infrastructures et dépendance de ceux-ci aux coûts, réglementation des marchés et débouchés commerciaux. Outre les risques techniques, les évolutions économiques et sociétales futures devront également être davantage prises en compte dans les décisions. Il nous faudra pour cela disposer d'informations plus détaillées que les seules modifications saisonnières du tableau des températures et des précipitations, ou la fréquence et la durée des événements intenses (menace), pour pouvoir évaluer les risques pour les infrastructures et les possibilités de les adapter. D'autres paramètres, comme l'exposition, la vulnérabilité et la capacité d'adaptation des infrastructures, seront aussi décisifs. Pour évaluer la vulnérabilité et choisir les mesures d'adaptation ad hoc, des projections de séries chronologiques de paramètres climatiques, par jour voire par heure, seront nécessaires. Et il faudra les mettre en corrélation avec d'autres paramètres de risques, comme le système énergétique, les transports ou encore les changements sociétaux et économiques.

2 D'après les estimations de Swissgrid, quelque 10 à 16 milliards de francs sont nécessaires pour le réseau de transport et de distribution. Certains de ces investissements relèvent des mesures de modernisation normales. Selon les centrales électriques bernoises, l'équipement du réseau local en instruments de mesure, de pilotage et de régulation pour gérer l'arrivée du courant local pourrait plus que doubler les besoins en investissements par rapport à la situation actuelle, pour être à même de distribuer dans l'espace et dans le temps les énergies renouvelables produites de manière décentralisée par les installations photovoltaïques et éoliennes.

### Bibliographie


Burke M, Hsiang SM, Miguel E (2015) **Global non-linear effect of temperature on economic production**. Nature 527: 235–239.

Conseil fédéral (2015) **Politique des agglomérations 2016+ de la Confédération. Pour un développement cohérent du territoire suisse**. Rapport du 18 février 2015, Berne.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 8 «Urban Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 9 «Rural Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Sunstein CR (2003) **Terrorism and Probability Neglect**. The Journal of Risk and Uncertainty 26: 121–136.

Wyon DP (2000) **Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings**. Proceedings of the conference «E-Vision 2000», Department of Energy, Washington DC: 11–13.

# 2.13 L'espace urbain

**L'évolution du climat modifie notre cadre de vie. Les principaux risques climatiques auxquels l'espace urbain est exposé dans le monde sont, suivant la situation géographique, les vagues de chaleur, la montée du niveau de la mer, les crues sur les côtes et le long des rivières, les épisodes de précipitations extrêmes, la sécheresse, les glissements de terrain, la pollution de l'air et la pénurie d'eau. Les personnes, les activités économiques ainsi que les écosystèmes dépourvus d'infrastructures ou de services de prévention et de protection, comme les systèmes d'alarme par exemple, sont particulièrement vulnérables. En Suisse, les nuisances de la chaleur dans les agglomérations et les villes ont été identifiées comme un défi majeur en matière d'adaptation au changement climatique. A ceci s'ajoute que l'espace urbain, du fait de sa haute densité de population et de sa forte concentration de valeurs, est particulièrement vulnérable face à une augmentation d'événements extrêmes due au climat. De fait, l'aménagement du territoire est d'une grande importance pour permettre une meilleure adaptation aux conséquences du changement climatique.**

*Marco Pütz (WSL)*

## La situation mondiale et nationale

L'évolution du climat modifie notre cadre de vie. En raison du changement climatique, l'espace urbain, les villes et les agglomérations, où la plupart des activités humaines se concentrent et où le milieu bâti continue de se développer, est exposé dans le monde entier notamment aux risques suivants (IPCC 2014/WGII/SPM) :
– l'augmentation des nuisances dues aux fortes chaleurs,
– la montée du niveau de la mer,
– les crues sur les côtes et le long des cours d'eau,
– les épisodes de précipitations extrêmes,
– la sécheresse,
– les glissements de terrain,
– la pollution de l'air et
– la pénurie d'eau.

Les personnes, les activités économiques et les écosystèmes qui ne disposent pas d'infrastructures et de services de prévention et de protection, tels que des digues contre les crues ou des systèmes d'alarme, sont particulièrement vulnérables. En outre, les villes et les régions les plus menacées sont celles situées dans des zones très exposées aux risques naturels, par exemple sur les côtes et le long de cours d'eau.

En Suisse aussi, la vie dans l'espace urbain sera de plus en plus marquée par des événements extrêmes. Des phénomènes tels que les précipitations extrêmes (cf. chap. 1.7 Le cycle hydrologique, p. 46, chap. 1.8 Extrêmes climatiques et météorologiques, p. 52) surviennent plus fréquemment et sont une menace grandissante pour les infrastructures et l'habitat urbain. L'« accentuation des fortes chaleurs dans les agglomérations et les villes », que la stratégie suisse d'adaptation au climat a identifiée comme l'un des plus grands défis en matière d'adaptation au changement climatique, concerne avant tout les secteurs du développement territorial, de la santé et de l'énergie dans l'espace urbain (OFEV 2012).

## Vulnérabilité : l'effet d'îlot de chaleur renforce les impacts

L'espace urbain est concerné à double titre par le changement climatique. D'une part, l'effet de hautes températures peut être renforcé par des spécificités de la ville. C'est ainsi qu'une circulation de l'air réduite, le manque de zones ombragées et de surfaces vertes, l'absorption du rayonnement solaire par les murs et les sols, de même que les rejets thermiques d'installations industrielles, de bâtiments et des transports contribuent à l'effet d'îlot de chaleur, un réchauffement prononcé pendant la journée et un refroidissement réduit pendant la nuit. Aujourd'hui déjà, la différence de température entre la ville et la campagne peut atteindre jusqu'à une dizaine de degrés.

D'autre part, du fait de sa haute densité de population et de sa forte concentration de valeurs, l'espace urbain est particulièrement vulnérable face à une augmentation d'événements extrêmes dus au climat. Aux conséquences directes du climat, par exemple les dommages causés à des personnes ou à des biens par des événements relevant des dangers naturels, s'ajoutent des effets indirects du changement climatique qui peuvent également avoir un fort impact sur l'espace urbain : des infrastructures importantes, dites « critiques », peuvent être mises hors d'état de fonctionner, ce qui cause des problèmes dans les transports, les télécommunications ou l'approvisionnement en eau potable et en énergie (cf. chap. 2.12 Bâtiments et infrastructures, p. 121).

## Projets de villes, communes et régions suisses sur l'adaptation au climat

En Suisse, différents projets axés sur la pratique portent sur les défis du changement climatique pour les villes, les communes et les régions et sur de possibles stratégies d'adaptation :

**Projets de la Confédération**
Dans son programme pilote « Adaptation au changement climatique » (2014-2016), la Confédération soutient des projets d'adaptation au climat dans les cantons, les régions et les villes. Trois projets pilotes sont consacrés à un ensemble de sujets touchant au développement urbain adapté au climat. Dans son projet pilote « ACCLIMATASION », la ville de Sion travaille sur des terrains publics et privés à la réduction de l'effet d'îlot de chaleur et du risque de crue, afin de sensibiliser les décisionnaires et la population à la nécessité de s'adapter au climat. Le projet pilote «Urban Green & Climate Bern » développe des concepts, méthodes et mécanismes de financement pour la gestion durable des arbres du peuplement urbain. Il vise à améliorer les connaissances sur la vulnérabilité climatique et les services écosystémiques (par exemple la fonction de puits de carbone) des peuplements urbains. Un autre projet aborde au niveau national le sujet « Effet de la canicule sur la mortalité et possibles mesures d'adaptation ». Les groupes de population particulièrement concernés et les caractéristiques météorologiques significatives en matière de santé sont examinés en prenant pour exemple des cantons du Tessin et de Genève.

**CLISP: les défis pour l'arc alpin**
Le projet « CLISP: Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space » (2008-2011), coordonné par l'Office fédéral du développement territorial (ARE), a porté sur les défis concrets que le changement climatique pose à l'aménagement du territoire dans l'arc alpin et a développé des approches pour un développement territorial à l'épreuve des risques climatiques. Il en est ressorti entre autres un manuel pour l'évaluation de la « résistance au changement climatique » d'instruments d'aménagement du territoire (ARE 2013), qui se réfère aux expériences tirées de dix régions modèles de l'arc alpin (Kruse & Pütz 2014).

**Analyses climatiques à Zurich, Genève et Bâle**
Ces dernières années, les villes et cantons suisses ont mené différentes études devant leur permettre à l'avenir de mieux intégrer des aspects du climat urbain dans leurs décisions en matière de planification, aménagement et constructions. La ville de Zurich, par exemple, a procédé à une analyse de son climat urbain (2009-2011), ce qui lui a permis d'identifier les nuisances aigües auxquelles elle doit s'attendre, telles que les fortes chaleurs, les entraves à la circulation de l'air et l'augmentation de la pollution atmosphérique. En 2015, elle a présenté une stratégie climatique et élaboré un plan de mesures en vue de réduire ses émissions de gaz à effet de serre et de s'adapter au changement climatique. En 2015 aussi, le canton de Genève a développé un « Plan climat cantonal » et analysé les risques et les chances du changement climatique. Un rapport présenté en 2011 par le canton de Bâle porte sur les conséquences du changement climatique et a servi de base à l'élaboration de mesures pour les différents secteurs concernés et à l'examen des risques et des chances du changement climatique.

## L'adaptation : l'aménagement du territoire joue un rôle important

L'aménagement du territoire est d'une grande importance pour l'adaptation au changement climatique. En effet, de nombreuses conséquences de ce changement ont une incidence spatiale directe et influencent l'utilisation du territoire. Etant donné que l'espace urbain est particulièrement sensible à l'augmentation attendue de vagues de chaleur, les activités d'adaptation visent en général à mettre en valeur les surfaces vertes ou libres et à en créer de nouvelles ainsi qu'à promouvoir leur rôle dans l'aération des zones urbanisées. Il en résulte cependant des conflits potentiels d'intérêts en matière d'aménagement du territoire avec le développement urbain vers l'intérieur et avec la densification des constructions. Des différends au sujet de l'utilisation de l'espace se présentent aussi entre la prévention des dangers naturels et le développement urbain. A défaut d'agir de manière prévoyante, la vulnérabilité des villes, communes et régions augmentera. L'aménagement du territoire dispose d'un grand potentiel pour gérer l'adaptation aux conséquences du changement climatique et améliorer la capacité de résistance aux impacts défavorables. Néanmoins, aménager et planifier le territoire de manière à créer des synergies transsectorielles, à garantir une haute qualité des constructions et à préserver et créer suffisamment d'espaces libres représente un grand défi. C'est le cas notamment pour la Suisse avec ses structures fédérales morcelées et sa forte pression urbanistique présente et future.

## Défis pour la Suisse

Pour beaucoup de villes, communes et régions, le changement climatique se présente comme une question relativement nouvelle et n'est qu'une préoccupation parmi d'autres. Ajouté à la problématique de l'énergie et de la rareté des ressources, un développement et une planification urbains qui ménagent l'énergie et le climat prennent

cependant toujours plus d'importance. Du point de vue de nombreuses villes, les défis concernent avant tout le développement intégré, peu énergivore, du milieu bâti et des surfaces dédiées aux transports, l'approvisionnement énergétique respectueux du climat, ainsi que les assainissements de bâtiments et les nouvelles constructions (cf. ECOPLAN 2012). Néanmoins, peu de communes se préoccupent déjà du changement climatique et de ses conséquences ainsi que de la protection contre les dangers naturels motivée par l'évolution du climat. Et quand elles le font, c'est souvent de manière indirecte, par exemple par l'établissement de cartes des dangers.

Dans la mesure où des stratégies concrètes et des mesures d'adaptation au niveau local et régional ne sont développées encore que rarement et le plus souvent à titre d'activités pilotes (cf. encadré Projets de villes, communes et régions suisses sur l'adaptation au climat, p. 127), l'échange d'expérience entre villes ou agglomérations joue un grand rôle, de même que la collaboration entre communes, cantons et Confédération. Dans le plan d'action de la stratégie suisse d'adaptation au climat (OFEV 2014), le champ d'action du développement territorial prévoit entre autres mesures la participation au « Programme pilote adaptation aux changements climatiques » et l'amélioration des bases de décision des aménagistes, par exemple par des outils de travail (ARE 2013). De nombreuses villes s'occupent depuis des années de mesures visant à améliorer la qualité de vie, à mettre en valeur les espaces libres et à développer les infrastructures vertes et ont ainsi une grande expérience et beaucoup d'expertise en matière d'adaptation. Toutefois, ces activités n'ont pas toujours été menées en relation directe avec le changement climatique. Depuis les étés caniculaires de 2003 et 2015, la sensibilisation croissante aux changements climatiques s'est néanmoins renforcée dans les villes. Au cas où le changement climatique serait inscrit dans la loi sur l'aménagement du territoire comme défi relevant de la politique d'organisation du territoire, les villes et les régions devraient s'engager plus fortement dans des activités relatives à l'évolution du climat. La Confédération pourrait aussi mieux soutenir et coordonner ces dernières. Reste à savoir dans quelle mesure ceci est politiquement réalisable actuellement d'une part et soutenu par les milieux responsables de l'aménagement du territoire d'autre part.

## Bibliographie

ARE (2013) **Changement climatique et développement territorial**. Un outil de travail pour aménagistes. Berne.

ECOPLAN (2012) **Les défis urbains, du point de vue de la Confédération. Contribution au débat sur la suite de la politique des agglomérations**. Sur mandat de l'Office fédéral du développement territorial (ARE) et du Secrétariat d'Etat à l'économie (SECO), Berne.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kruse S, Pütz M (2014) **Adaptive Capacities of Spatial Planning in the Context of Climate Change in the European Alps**. European Planning Studies 22: 2620–2638.

OFEV (2012) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Objectifs, défis et champs d'action**. Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2014) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Plan d'action 2014-2019**. Deuxième volet de la stratégie du Conseil fédéral du 9 avril 2014. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

# 2.14 Conséquences des changements climatiques sur le système énergétique suisse

**Des études internationales et nationales mettent en évidence les tendances qualitatives des conséquences des changements climatiques sur le système énergétique suisse : les effets attendus seront nettement inférieurs aux changements d'ordre démographique, économique et technique, du moins à court (2030) et à moyen (2050) terme. Les répercussions positives et négatives s'équilibreront tant au niveau de la demande que de l'offre ; il est même probable que les effets bénéfiques seront légèrement supérieurs. Les études relèvent néanmoins des risques au niveau des infrastructures énergétiques. Des incertitudes notables subsistent encore à long terme (seconde moitié du XXIe siècle).**

*Konstantinos Boulouchos (EPF de Zurich)*

## Demande et utilisation de l'énergie

### Refroidissement et chauffage

Le réchauffement direct de 1,5 à 4 degrés Celsius qui est attendu en Suisse (en moyenne aussi bien annuelle que sur le plan régional) réduira les besoins en chauffage de 7 à 20 pour cent durant la seconde moitié du siècle (vers 2085), en supposant des standards constants en matière de technique des bâtiments. Il y aurait en conséquence une hausse des besoins en électricité pour la climatisation. Les deux effets sont relativement faibles et s'équilibreraient probablement jusqu'à un certain point sur le plan énergétique. Cependant, la réduction des besoins en chaleur va contribuer directement à faire baisser les émissions de $CO_2$, alors que l'augmentation des besoins en refroidissement devrait avoir un effet moindre en raison du mix électrique suisse – à faibles émissions de $CO_2$ – attendu pour 2050 (CH2014-Impacts 2014). Globalement toutefois, l'effet direct du changement climatique sur les émissions de $CO_2$ devrait jouer un rôle clairement secondaire, si on le compare aux défis à relever principalement dans le domaine des transports, mais aussi aux évolutions techniques à venir dans le domaine de la construction. En fonction des scénarios, l'on s'attend à des économies de $CO_2$ de 0,9 à 3,7 pour cent au maximum. Cependant, si la mise en œuvre de la stratégie énergétique 2050 (OFEN & Prognos 2012) est réussie et, de ce fait, permet une nette amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, les économies réalisées au niveau des besoins en chaleur grâce aux changements climatiques seraient nettement moins élevées. Des systèmes de refroidissement plus efficaces seront par contre nécessaires à l'avenir, en particulier dans le secteur tertiaire, étant donné que les quantités de chaleur rejetée seront vraisemblablement plus élevées en raison du recours massif aux systèmes informatiques.

Le déplacement de la demande en électricité de l'hiver vers l'été aura un aspect positif, à savoir une meilleure répartition de la demande entre ces deux saisons. Cet équilibre ira dans le sens de la future structure d'offres du système électrique suisse. En effet, on escompte une part plus élevée d'installations photovoltaïques, ce qui permettra d'augmenter la production d'électricité notamment en été.

### Transports

Dans le secteur des transports, l'on prévoit comme effet direct des changements climatiques non seulement des charges accrues au niveau de la climatisation des véhicules, mais surtout une hausse du trafic à partir des grandes agglomérations : d'une part, en direction des destinations de sports d'hiver à des altitudes toujours plus élevées (pour autant que les sports d'hiver survivent aux changements climatiques à long terme ; cf. chap. 2.11 Tourisme, S. 117), d'autre part, vers les régions situées hors des villes en été (OcCC & ProClim 2007). L'accroissement du trafic occasionnera une hausse de la consommation de carburant. L'ampleur de cette augmentation de la demande énergétique devra être observée dans le temps. Elle est difficile à quantifier et a moins de poids que les autres facteurs (aménagement du territoire, croissance démographique, évolution économique).

## Offre énergétique

Les changements climatiques auront différentes répercussions au niveau de l'offre énergétique – en particulier en ce qui concerne la production d'électricité. Il convient de noter que la Suisse sera aussi fortement touchée par l'évolution de l'offre européenne en matière d'énergie. Celle-ci sera probablement même plus importante que l'influence des changements climatiques eux-mêmes.

## Force hydraulique

Des études récentes (CH2014-Impacts 2014) prédisent jusqu'en 2050 environ des minimes augmentations – de l'ordre de 0,9 à 1,9 pour cent en moyenne annuelle – pour la contribution de loin la plus importante à la production d'électricité, à savoir celle provenant de la force hydraulique. Il faut néanmoins s'attendre à des variations régionales. L'on s'attend cependant à une hausse d'environ dix pour cent de la production de courant en hiver, et au recul simultané de quatre à six pour cent de cette même production en été, notamment en raison des quantités d'eau diversement disponibles selon la saison. L'avantage est que ce décalage saisonnier réduirait les excédents de production durant le semestre d'été, qui devraient augmenter à l'avenir en raison de la contribution importante escomptée du photovoltaïque. Il n'y a toutefois pas encore d'affirmations solides pour l'après 2050, période où l'on redoute une réduction du volume des glaciers d'environ 60 à 80 pour cent (CH2014-Impacts 2014, scénario avec des émissions moyennes SRES-A1B). Des changements au niveau du charriage pourraient en outre poser de plus grandes exigences infrastructurelles. Les possibilités techniques pour procéder à des adaptations dans le domaine sont connues, mais nécessitent des moyens financiers en conséquence.

## Grandes centrales thermiques

Des températures plus élevées provoquent généralement une perte de performance et, dans une moindre mesure, une baisse de rendement des grandes centrales thermiques, en particulier lorsqu'il y a moins d'eau de refroidissement à la fin de l'été. Cependant, comme l'on peut s'attendre à ce que les centrales nucléaires soient mises à l'arrêt en Suisse bien avant 2050 et que les centrales à charbon n'entreront pas en ligne de compte, ce problème devrait être insignifiant à long terme. S'il fallait à l'avenir recourir à des centrales à gaz pour couvrir les besoins énergétiques intérieurs, elles devraient être utilisées de préférence durant l'hiver, saison durant laquelle la question du refroidissement peut être résolue plus facilement.

## Photovoltaïque

Les hausses de température attendues pourraient jouer un rôle central pour la technique photovoltaïque, dont le potentiel pour couvrir les besoins en électricité en Suisse est estimé à 20 pour cent vers le milieu du siècle. Une hausse de température d'un degré conduit généralement à une baisse de rendement d'environ 0,5 pour cent (IPCC 2014/WGII/Chap.10), en fonction de la technique photovoltaïque utilisée. En valeur absolue, l'effet n'est pas très grand, d'autant plus que des techniques telles que les capteurs hybrides avec un refroidissement par l'arrière des panneaux solaires et une utilisation simultanée de la chaleur, par exemple pour chauffer l'eau, arrivent sur le marché. Toutefois, des événements extrêmes, comme des chutes de grêle, pourraient concerner la Suisse, ce qui nécessiterait de protéger en conséquence les infrastructures concernées.

## Biomasse

Même s'il existe des différences régionales (production plus importante en haute altitude grâce au changement climatique, et moindre à basse altitude en raison de la sécheresse estivale), il faut compter sur une disponibilité accrue de la biomasse suite aux changements climatiques. Le potentiel d'utilisation de cette énergie, acceptable aujourd'hui du point de vue écologique, représente entre 10 et 15 pour cent au maximum de l'énergie finale actuelle en Suisse (OcCC & ProClim 2007). L'utilisation de la biomasse est un aspect essentiel de la stratégie énergétique 2050. Il faut toutefois veiller à l'utilisation optimale des différents types de biomasse, car cette énergie chimique précieuse ne doit pas servir uniquement à couvrir les besoins en chaleur, mais aussi à assurer une production combinée d'électricité et de chaleur et/ou à remplacer les carburants fossiles, par exemple sous forme de méthane synthétique.

## Vent

Selon la stratégie énergétique 2050, l'énergie éolienne devrait atteindre une contribution annuelle de quelque quatre térawattheures pour couvrir les besoins en électricité en Suisse. Les estimations quantitatives relatives à l'influence des changements climatiques ne sont pas connues à l'heure actuelle. La fréquence estimée des événements extrêmes donne à penser que les charges pour garantir la robustesse et le bon fonctionnement des installations augmenteront ; cela vaut aussi pour les infrastructures hydrauliques et, de manière générale, dans le domaine des transports et de l'énergie.

## Conclusion

Les répercussions attendues des changements climatiques sur le système énergétique suisse seront très modérées au moins jusqu'au milieu du siècle, et probablement majoritairement positives d'après les tendances. Des défis plus importants ont été mis en évidence, d'une part, concernant les exigences infrastructurelles et, d'autre part, en relation avec la contribution à long terme de la force hydraulique.

## Bibliographie

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland**. Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 10 «Key economic sectors and services». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

OcCC, ProClim (eds.) (2007) **Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Conséquences pour l'environnement, la société et l'économie**. Berne, 168 pp.

OFEN, Prognos (2012) **Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050**. Perspectives énergétiques 2050.

OFEN (2014) **Statistique globale suisse de l'énergie 2014**. www.bfe.admin.ch

OFEV (2012) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Objectifs, défis et champs d'action**. Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2014) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Plan d'action 2014-2019**. Deuxième volet de la stratégie du Conseil fédéral du 9 avril 2014. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2015) **Inventaire des émissions de gaz à effet de serre 2015**. www.bafu.admin.ch/inventaire-gas-serre

# 2.15 Santé

**Les conséquences directes et indirectes des changements climatiques sur la santé ne sont plus à démontrer. Elles toucheront tout particulièrement les pays et les populations les plus pauvres. En Suisse, il est possible, au travers de stratégies d'adaptation, de réduire considérablement l'impact des conséquences sanitaires, à savoir des vagues de chaleur et phénomènes climatiques extrêmes. Dans l'ensemble, en Suisse, l'impact des changements climatiques sur la santé pourrait moins dépendre du climat et de ses conséquences directes et indirectes que des décisions politiques adoptées en matière de protection du climat et des stratégies d'adaptation. L'adaptation à des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses, la surveillance des vecteurs de maladies et des maladies infectieuses chez l'homme et l'animal, ainsi qu'une politique énergétique compatible avec une bonne qualité de l'air devraient être les piliers de toute stratégie de prévention.**

*Nino Künzli (Institut tropical et de santé publique suisse et Université de Bâle)*

## Situation mondiale et nationale

Les changements climatiques peuvent avoir des répercussions directes et indirectes sur la santé. Fluctuations des températures, précipitations extrêmes, vagues de chaleur ou feux de forêts sont des causes directes de maladies et de décès. L'impact des pertes de récolte, de la redistribution des vecteurs de maladies[1], de l'assainissement de l'eau, de la pénurie d'eau ou des migrations provoquées par la sécheresse (réfugiés) sur la santé sera quant à lui indirect (IPCC 2014/WGII/Chap.11). Les influences peuvent être positives ou négatives : le déplacement géographique de la production alimentaire, la baisse des maladies vectorielles ou la diminution des vagues de froid auront un effet bénéfique sur la santé dans certaines régions. Mais dans l'ensemble, ces conséquences positives seront bien moindres que les conséquences négatives. Ainsi, la distribution géographique de certains vecteurs de maladies, et donc des maladies qu'ils transmettent, continuera d'évoluer – d'une part à cause des changements climatiques et d'autre part, surtout, à cause des flux migratoires et commerciaux mondiaux. Dans les pays grands consommateurs de viande, le passage à une alimentation moins carnée peut contribuer à réduire les polluants susceptibles d'avoir une influence sur la santé et le climat. S'agissant de la santé en Suisse, les changements climatiques jouent un rôle relativement mineur en comparaison avec d'autres problématiques sanitaires, comme l'augmentation des maladies non transmissibles et les coûts qui en découlent. D'ici 2050, ils ne feront qu'accentuer les défis sanitaires déjà existants, tels que la gestion des vagues de chaleur ou la propagation des maladies transmissibles. A plus long terme, ces effets d'amplification devraient néanmoins gagner en importance.

1 Les « vecteurs de maladies » transmettent des agents infectieux d'un hôte à un autre organisme sans tomber eux-même malades. La transmission peut s'effectuer par une piqûre, par exemple.

## Vulnérabilité

La vulnérabilité de la population aux conséquences sanitaires directes et indirectes des changements climatiques dépend de la situation géographique, de la formation et des revenus, ou encore de l'âge et de l'état santé des personnes, mais aussi de la capacité des gouvernements à répondre efficacement aux défis (IPCC 2014/WGII/Chap.11). Les systèmes de santé les plus durement touchés par les changements climatiques seront ceux des pays les plus pauvres et des régions côtières exposées à un risque majeur d'inondation. Les conséquences climatiques susceptibles d'avoir un impact sur la santé, comme les vagues de chaleur, frapperont surtout les plus jeunes et les plus âgés, de même que les personnes socialement isolées et celles déjà en proie à des problèmes de santé, tels que des troubles rénaux, des maladies psychiques ou de l'asthme allergique.

Suite à l'amélioration généralisée de la santé, l'espérance de vie a fortement augmenté dans pratiquement tous les pays. La part des seniors et des personnes souffrant de maladies chroniques non transmissibles ne cesse dès lors de s'accroître. Et, avec elle, celle de la population qui pourrait être particulièrement affectée par des situations climatiques extrêmes.

Jusqu'au milieu du siècle, si les changements climatiques continuent de progresser, il faudra s'attendre à un risque sanitaire plus élevé surtout dans les pays pauvres, et ce, du fait des vagues de chaleur, de la sécheresse, des inondations et des incendies, de la malnutrition découlant d'une production alimentaire moindre ainsi que de l'augmentation des maladies liées à la contamination de l'eau et des denrées alimentaires ainsi que des maladies vectorielles (IPCC 2014/WGII/Chap.11).

Avec le changement climatique, on pourrait assister à une augmentation de la concentration en ozone atmosphérique

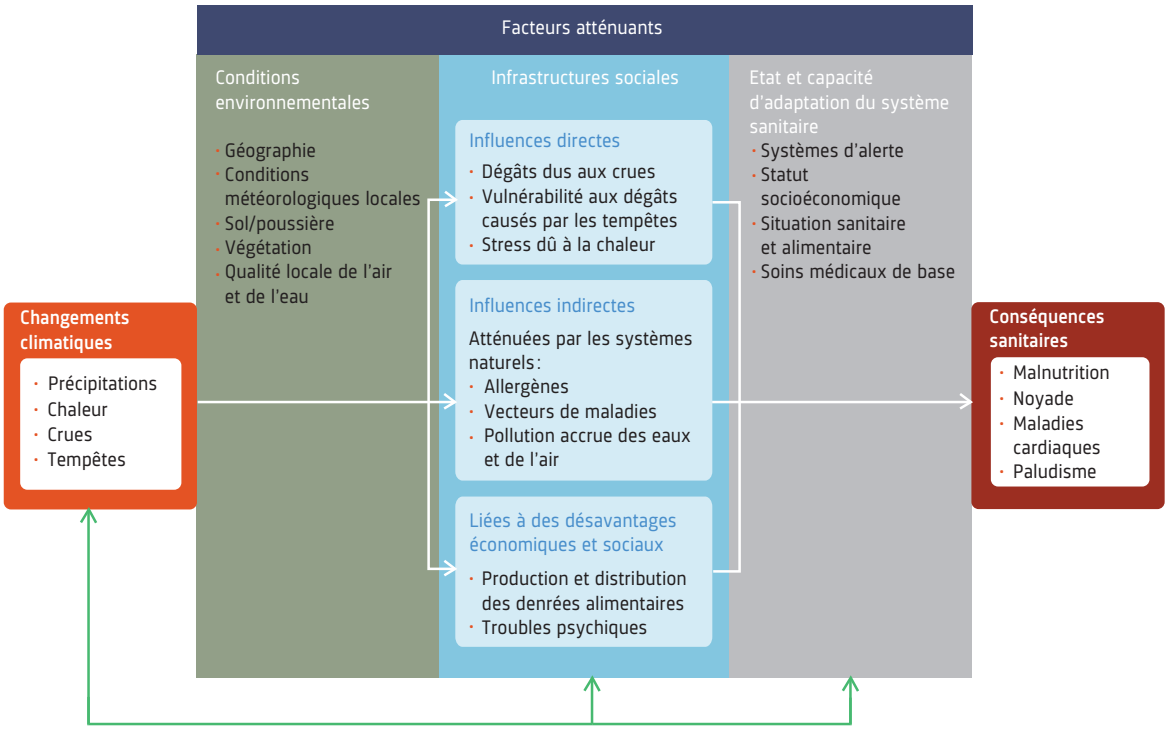



Figure 2.20: Ce diagramme présente trois grands axes au travers desquels les changements climatiques affectent la santé: directement via des variables météorologiques telles que la chaleur et les tempêtes, indirectement par l'entremise des systèmes naturels ou par les facteurs humains, comme la malnutrition. L'encadré vert regroupe les conditions environnementales locales susceptibles d'influencer l'intensité avec laquelle les changements climatiques se font sentir sur une population donnée. L'encadré gris montre que l'ampleur des problèmes sanitaires effectifs liés aux changements climatiques est influencée ou modérée par des facteurs tels que la santé publique et les conditions socioéconomique, ainsi que par les mesures d'adaptation prises. Les flèches vertes au bas de l'encadré désignent les interactions positives ou négatives entre les infrastructures sociales, le système sanitaire, les mesures d'adaptation et les changements climatiques eux-mêmes. Ainsi, des mesures sanitaires peuvent aussi réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui contribue à son tour à amoindrir et à freiner les changements climatiques et à améliorer la santé des populations locales. Les exemples mentionnés ne sont pas exhaustifs et ne sont fournis qu'à titre d'illustration. (Source: IPCC 2014/WGII/Chap.11)

et à un allongement de la saison des pollens, au détriment surtout des personnes asthmatiques ou allergiques.

## Maladies transmissibles

En Suisse, l'augmentation annoncée des vagues de chaleurs (CH2014 2014), la modification des vecteurs de maladies et l'éventuel allongement de la saison des pollens pourraient avoir un impact en termes de santé publique. S'agissant des vecteurs de maladie, le rôle des changements climatiques doit néanmoins être mis en corrélation avec d'autres facteurs de causalité importants. Ainsi, l'intensification, dans le cadre de la globalisation, des flux migratoires et commerciaux internationaux entraîne un déplacement des vecteurs et agents pathogènes, comme le montre l'exemple du moustique tigre (*Aedes albopictus*), devenu endémique dans le Tessin et désormais aussi dans le nord de la Suisse (Kutlar 2010; Suter et al. 2015). L'exemple du paludisme, également présent dans les climats plus tempérés comme celui de la Suisse jusqu'à la première moitié du XIXe siècle (Kutlar 2010), montre que les stratégies sanitaires axées par exemple sur la lutte contre les sources de contamination ou les vecteurs infectés (dans le cas du paludisme, via l'assèchement des zones marécageuses) peuvent avoir un impact bien plus grand sur la santé que les changements climatiques. A l'avenir aussi, les décisions politiques et le comportement des personnes devraient, en Suisse, continuer d'exercer une influence plus importante sur les maladies vectorielles que le climat. De façon générale, le bon état sanitaire et les ressources d'adaptation, dont la Suisse ne manque pas, pourraient réduire notre vulnérabilité dans le domaine sanitaire.

## Phénomènes extrêmes

L'augmentation des phénomènes extrêmes, comme les vagues de chaleur ou les fortes précipitations, aura globale-

ment des conséquences sur la santé des populations concernées, surtout pour les personnes qui travaillent à l'extérieur (IPCC 2014/WGII/Chap.11). La capacité de travail et la productivité sont amoindries par les conditions climatiques extrêmes. A cela s'ajoute que les cas d'intoxication alimentaire augmentent en cas de vague de chaleur, lorsque les denrées alimentaires ne sont pas conservées de manière adéquate. Les périodes de sécheresse, les feux de forêt ou les fortes pluies et inondations ont des répercussions directes et indirectes sur la santé. Les exemples australiens, californiens et russes montrent que, par vents défavorables, les grands feux de forêts (souvent très éloignés des agglomérations) peuvent engendrer un smog massif et durable dans les grandes villes, au détriment de la santé (IPCC 2014/WGII/TS). En Suisse, l'impact des vagues de chaleur sur le taux de mortalité et sur les hospitalisations est documenté (CH2014 2014; Grize et al. 2005; Manser et al. 2013).

## Adaptation

Dans les régions où le bien-être augmente, l'impact sanitaire des changements climatiques pourra être limité, ou du moins compensé par des progrès sociaux favorables à la santé publique. Les adaptations les plus efficaces, sur le plan de la santé, coïncident avec les grandes politiques sanitaires mondiales sans rapport avec le climat, dont:

- un accès sûr à l'eau potable, les soins médicaux de base et les programmes de vaccination,
- la lutte contre la pauvreté et
- les programmes visant à donner une réponse efficace aux catastrophes naturelles et au maintien d'un environnement sain.

Si les pays pauvres ne peuvent pas suffisamment être partie prenante à ces avancées, les conséquences sanitaires des changements climatiques s'y feront sentir plus durement et ralentiront encore les progrès. Le Suisse ne devrait néanmoins pas être concernée.

### Evénements liés à la chaleur

Les observations du passé (Grize et al. 2005), sans prise en compte des adaptations, ne permettent pas d'établir de manière définitive si les principaux facteurs des changements climatiques pertinents pour la santé (vagues de chaleur, précipitations extrêmes) nuiront à la santé de la population suisse, ni dans quelle mesure. Ainsi, après les vagues de chaleur extrêmes de 2003, des mesures de politique sanitaire ont permet de réduire considérablement les conséquences des phénomènes extrêmes ultérieurs en France (Fouillet et al. 2008) et dans le reste de l'Europe (Kovats 2006). Ces dernières années, plusieurs cantons (dont le canton de Vaud) ont élaboré des plans d'action en vue d'atténuer les conséquences des vagues de chaleur. Parmi les mesures possibles, citons:

- l'adaptation des comportements: éviter les rayons directs du soleil, augmenter la prise de liquides, consommer des repas rafraîchissants, éviter les activités sportives à l'extérieur aux heures les plus chaudes et compenser la perte de sel et d'eau engendrée par ces activités; veiller à maintenir une température ambiante et une température corporelle la plus fraîche possible,
- les mesures architecturales: bonne isolation et/ou climatiseurs et
- l'aménagement du territoire: verdissement, création de zones ombragées, aération, plans et cours d'eau ouverts (réduire l'effet d'îlot thermique).

Sur le long terme, la physiologie humaine s'adapte à l'augmentation progressive des températures moyennes. Ainsi, une mortalité accrue est observée partout en cas de vagues de chaleur comme de vagues de froid. La température optimale moyenne en journée, c'est-à-dire la température avec le taux de mortalité le plus bas, dépend en revanche de la zone climatique.

### Mobilité et aménagement du territoire

L'aménagement du territoire, avec l'extension et la promotion des systèmes de transport urbain, offre aussi des

#### Les polluants qui agissent sur le climat nuisent aussi à la santé

Exception faite du $CO_2$, tous les polluants qui agissent sur le climat, comme la suie ou le dioxyde de soufre ont aussi des répercussions directes sur la santé aux concentrations présentes dans l'environnement. Globalement, plus de sept pour cent de tous les décès et maladies de la charge de morbidité mondiale[1] sont imputables à cette pollution atmosphérique. Une réduction de ces émissions contribue donc à protéger le climat mais aussi la santé. Une politique énergétique axée sur une plus grande efficacité énergétique et sur les énergies renouvelables, qui cible aussi une réduction des émissions de polluants nocifs, sert ainsi les intérêts des politiques climatique et sanitaire. En Suisse, une baisse des émissions de particules de 80 pour cent, telle celle préconisée par la Commission fédérale de l'hygiène de l'air, jouerait en faveur de la politique climatique, mais serait aussi bénéfique à la santé, dans l'immédiat et sur le long terme. En effet, chaque année en Suisse, plusieurs milliers de décès, de même qu'un nombre considérable de maladies, sont imputables aux polluants émis lors de la combustion (ECOPLAN 2014).

1 La charge de morbidité inclut toutes les années de vie perdues en raison d'un décès prématuré ou dont la qualité est restreinte par la maladie. Ces années de vie perdues ou limitées ont différentes causes www.healthdata.org

possibilités d'adaptation et d'atténuation. Ces systèmes de transport favorisent en effet la mobilité active, réduisent le transport individuel motorisé et conduisent ainsi à une plus grande activité physique et à des émissions polluantes moindres. De même, un aménagement du territoire et une urbanisation adaptés aux changements climatiques peuvent contribuer à la protection du climat et avoir un effet favorable sur la santé, par exemple grâce à des espaces verts plus nombreux, à la prévention des îlots thermiques et à une densification plutôt qu'à un étalement des villes (cf. chap. 2.13 L'espace urbain, p. 126).

## Défis pour la Suisse

Dans les analyses des risques réalisées par les autorités (OFEV, OFPP), la multiplication des vagues de chaleur a été identifiée comme un risque majeur pour la Suisse. En revanche, aucune évaluation complète n'a à ce jour été réalisée à l'échelle nationale concernant l'importance sanitaire des changements climatiques et de la politique climatique, tenant compte notamment de la charge et de la dynamique de la morbidité. De telles études existent néanmoins pour certaines régions (AG, BS). Une évaluation globale doit aussi inclure une comparaison avec les conséquences sanitaires d'autres causes, afin d'isoler adéquatement l'impact sanitaire des changements climatiques de celui d'autres problématiques. En Suisse, par exemple, moins d'un pour cent des hospitalisations pour troubles gastrointestinaux sont imputables aux vagues de chaleur. Une grande partie des maladies infectieuses liées à l'alimentation pourrait toutefois être évitée grâce à des mesures d'hygiène indépendantes du climat. Dans l'ensemble, l'impact, en Suisse, des changements climatiques pourrait moins dépendre de ses conséquences directes et indirectes que des décisions politiques adoptées en matière de protection du climat et des stratégies d'adaptation (OFEV 2014).

Ainsi, en Suisse, la meilleure stratégie tant pour le climat que pour la santé (stratégie gagnant-gagnant) (Cheng & Berry 2013) pourrait ainsi résider dans une politique active dans le domaine de l'énergie et de la lutte contre la pollution de l'air. Les moyens de transport, mais aussi les installations de chauffage au bois, devraient être soumis à des normes des plus strictes en matière d'émissions, si l'on entend éviter que la promotion d'installations de chauffage au bois « climatiquement neutres », pertinente du point de vue de la politique énergétique, ne débouche sur une hausse de la pollution atmosphérique. Pour la Suisse, il y a fort à parier que les bienfaits sanitaires directs d'une politique de lutte contre la pollution de l'air axée sur le climat seront plus grands que les conséquences sanitaires potentielles des changements climatiques (cf. encadré Les polluants qui agissent sur le climat nuisent aussi à la santé).

Outre une politique énergétique respectueuse de la qualité de l'air, les grands piliers d'une politique de prévention qui tienne compte de l'aspect sanitaire résident dans l'adaptation aux vagues de chaleur ainsi que la surveillance des vecteurs et des maladies infectieuses chez l'homme et l'animal. L'essentiel étant d'éviter de prendre des décisions certes propices à la protection du climat, mais défavorables à la santé.

### Bibliographie


Bless PJ, Schmutz C, Suter K, Jost M, Hattendorf J, Mäusezahl-Feuz M, Mäusezahl D (2014) **A tradition and an epidemic: determinants of the campylobacteriosis winter peak in Switzerland.** European Journal of Epidemiology 29: 527–537.

Cheng JJ, Berry P (2013) **Health co-benefits and risks of public health adaptation strategies to climate change: a review of current literature.** International Journal of Public Health 58: 305–311.

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

ECOPLAN, INFRAS (2014) **Effets externes des transports 2010. Monétarisation des effets sur l'environnement, les accidents et la santé (Résumé).** Rapport du 18 juin 2014.

Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A, Frayssinet P, Bessemoulin P, Laurent F, De Crouy-Chanel P, Jougla E, Hémon D (2008) **Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003?** A study of the 2006 heat wave. International Journal of Epidemiology 37: 309–317.

Grize L, Huss A, Thommen O, Schindler C, Braun-Fahrländer C (2005) **Heat wave 2003 and mortality in Switzerland.** Swiss Medical Weekly 135: 200–205.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 11 «Human health: impacts, adaptation, and co-benefits». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Technical Summary (TS). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kovats RS, Kristie LE (2006) **Heatwaves and public health in Europe.** European Journal of Public Health 16: 592–599.

Kutlar Joss M (2010) **Klimawandel und Gesundheit. Durch Mücken übertragene Infektionskrankheiten in der Schweiz.** Universités de Bâle, de Berne et de Zurich.

Manser CN, Paul M, Rogler G, Held L, Frei T (2013) **Heat waves, incidence of infectious gastroenteritis, and relapse rates of inflammatory bowel disease: a retrospective controlled observational study.** The American Journal of Gastroenterology 108: 1480–1485.

OFEV (2014) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse - Plan d'action 2014–2019.** Deuxième volet de la stratégie du Conseil fédéral du 9 avril 2014. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

Suter T, Flacio E, Farina BF, Engeler L, Tonolla M, Müller P (2015) **First report of the invasive mosquito species Aedes koreicus in the Swiss-Italian border region.** Parasit Vectors 8: 402.

Xiao J, Peng J, Zhang Y, Liu T, Rutherford S, Lin H, Qian Z, Huang C, Luo Y, Zeng W, Chu C, Ma W (2014) **How much does latitude modify temperature-mortality relationship in 13 eastern US cities?** International Journal of Biometeorology 59: 365–372.

# 2.16 La migration dans le réseau d'interdépendances globales

**La Suisse évolue dans un monde de plus en plus interconnecté. Les conséquences du changement climatique, quand bien même éloignées géographiquement, peuvent donc affecter très concrètement la société suisse, notamment en matière de sécurité et de développement. La migration compte parmi les principaux mécanismes à l'œuvre qui relient la Suisse à ce phénomène d'envergure mondiale.**

*Etienne Piguet (Université de Neuchâtel)*

## Changement climatique, sécurité et développement

Les chapitres 12 *(Human security)* et 13 *(Livelihoods and poverty)* du cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2014/WGII) analysent de plus près l'impact du changement climatique sur la sécurité et le développement. Le concept de sécurité humaine recouvre les dimensions suivantes:

- les enjeux de sécurité au sens restreint, en particulier les risques de violence et de conflits,
- les questions de sécurité matérielle, notamment la sécurité alimentaire et
- toutes les questions de sécurité immatérielle, par exemple menaces pesant sur les conditions de vie d'une population sur le plan de la liberté, de la culture.

Les recherches sur lesquelles ce rapport est fondé aboutissent à cette conclusion: si la mise en danger de la sécurité humaine n'est certes pas due à une cause unique, le climat compte parmi les facteurs déterminants (IPCC/WGII/Chap.12).

### Sécurité économique

La majorité des études sur la production alimentaire prévoit dès 2050 un déclin des récoltes (cf. chap. 2.10 L'agriculture, p. 111). Il est déjà avéré que le réchauffement affecte les ressources de bases telles que l'eau, les stocks de poissons et l'élevage. Au-delà de certaines limites de concentration de $CO_2$ (horizon 2100 selon RCP8,5), la combinaison de températures et d'humidité élevées compromettront les activités agricoles et le travail à l'extérieur des habitations dans certaines régions et accroitront de manière très significative les risques pour la sécurité alimentaire (IPCC 2014/WGII/TS)

Les populations pauvres sont particulièrement tributaires des ressources agricoles et exposées à des fluctuations des prix, aussi bien en zones rurales qu'en zones urbaines. On ne peut que souhaiter que les progrès techniques accomplis – nouvelles semences, nouveaux engrais etc. ... – suffisent à compenser ces tendances; mais même si cet espoir devait se réaliser, ces innovations coûteraient cher et profiteraient donc surtout aux plus riches. Quoique restant difficilement quantifiable, l'intensité accrue de certains aléas climatiques comme les cyclones tropicaux (cf. chap. 1.8 Extrêmes climatiques et météorologiques, p. 52) exercera aussi un impact sur les populations démunies qui sont souvent beaucoup plus vulnérables en raison de leurs habitations de faible qualité, d'une forte densité démographique et du manque d'accès aux soins et aux services de secours (« Vulnérabilité », cf. chap. 2.2 Le nouveau concept de risque du GIEC, S. 77).

La forme la plus radicale de privation d'accès aux ressources est indubitablement la perte de leur espace vital dont sont menacées ces populations. Des centaines de millions de personnes seront exposées à ce risque d'ici la fin du XXIe siècle si aucune mesure correctrice n'est prise (IPCC 2014/WGII/TS; IPCC 2014/WGII/Chap.5). Une fois encore, les populations pauvres sont les premières victimes potentielles dans tous les domaines:

- les pays les plus pauvres – dont le Bangladesh (IPCC 2014/WGII/Chap.5) – viennent en tête des pays à protéger,
- les régions menacées sont souvent des villes côtières aux populations défavorisées comme Alexandrie, Port-au-Prince ou Djakarta (IPCC 2014/WGII/Chap.5) et
- à l'intérieur de ces villes, les quartiers les plus exposés aux inondations sont le plus souvent des bidonvilles et des zones d'habitat informel.

Le changement climatique affecte par ailleurs les pratiques culturelles, les modes de vie et l'attachement identitaire des communautés à leur espace de vie (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Il en est tout particulièrement ainsi dans les écosystèmes fragiles et fortement dépendants de l'environnement (p. ex. les peuples Inuits des régions arctiques).

Il ressort de plusieurs études que les dégradations environnementales engendrent inéluctablement des cercles vicieux de conflits et de migrations. Dans les milieux scientifiques, l'existence d'un lien direct entre l'altération de

Figure 2.21: A Saint-Louis du Sénégal le quartier des pêcheurs est menacé par la montée des eaux. (Source: Etienne Piguet)

l'environnement et le développement de ces actes de violence collectifs ou individuels est toutefois sujette à controverses. Le fait que les aléas climatiques puissent exacerber des problèmes politiques et économiques déjà présents et accroître ainsi indirectement les risques de violence est en revanche assez couramment admis (IPCC 2014/WGII/Chap.23). Il apparaît qu'indépendamment de leur origine, l'existence de conflits contribue à accroître la vulnérabilité de ces communautés aux changements climatiques.

## Migration et mouvements de la population

L'historique d'aléas climatiques extrêmes tels qu'inondations et périodes de sécheresse démontre leur capacité à provoquer l'exode de populations entières (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Les constats et modèles actuels suggèrent que les inondations côtières et la diminution du permagel dans les régions de montagne risquent d'entraîner des migrations et la nécessité de déplacer des populations entières (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Lors de périls climatiques, les migrants prennent en majorité la direction des villes, alors que celles-ci sont souvent elles-mêmes très vulnérables (IPCC 2014/WGII/Chap.12), ce qui a pour effet de rendre les couches de population concernées encore plus vulnérables, et risque de les priver des ressources indispensables pour fuir devant les catastrophes. Il en résulte que les villes les plus exposées, notamment les villes côtières des pays en développement voient leur population s'accroître à un rythme accéléré sous l'effet des migrations.

Malgré la gravité de ces évolutions, la majorité des études consacrées à ce sujet permettent de conclure que la Suisse ne sera pas touchée par des mouvements migratoires ayant pour cause des problèmes environnementaux. En effet, les mouvements de populations liés aux conditions climatiques se limitent généralement à de courtes distances, à l'intérieur des pays concernés et, dans une moindre mesure, jusque dans les pays voisins. On constate en outre lors de catastrophes majeures de courte durée, comme par exemple des cyclones, que les populations déplacées retournent en général sur le lieu de la catastrophe pour y reconstruire leur vie (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Seule une minorité envisage une migration définitive à longue distance.

Les causes des migrations sont multiples et ne se limitent pas aux conflits, à la pauvreté ou aux conditions climatiques, elles sont souvent dictées par des considérations d'ordre économique (réfugiés économiques). On ne peut donc exclure qu'une combinaison de plusieurs facteurs dans des domaines précis puisse aboutir à des crises aigües ou à des difficultés chroniques et générer ainsi une pression migratoire sur la Suisse. Cette hypothèse serait d'autant plus envisageable en cas de présence en Suisse d'une communauté « diasporique » de ressortissants des régions sinistrées. Ce type de migration n'atteindra toutefois jamais l'ampleur des migrations à courte distance.

## Défis pour la Suisse

Il ressort du cinquième Rapport d'évaluation du GIEC concernant le développement, les conflits et la migration que pour la Suisse, les défis s'avèrent dans une large mesure indirects. Les défis auxquels elle est confrontée résident moins dans sa politique d'asile et d'émigration que dans l'aide sur place en cas de catastrophe, la coopération au développement et la promotion de la paix.

### Politique d'asile

Il n'existe pas actuellement de textes juridiques internationaux protégeant à l'échelle mondiale les personnes déplacées par des aléas environnementaux. La législation suisse ne l'indique pas non plus comme étant un motif justifiant le droit d'asile. De fait, aucun cas d'octroi de l'asile, d'admission ou de protection provisoire pour motifs environnementaux n'a été recensé jusqu'ici. Cette situation ne devrait pas se modifier sensiblement à l'avenir. En revanche, la Suisse pourrait jouer un rôle dans la mise en place de conditions d'accueil améliorées pour les déplacés environnementaux dans les pays limitrophes en poursuivant et en renforçant des efforts tels que l'initiative Nansen où elle joue déjà un rôle de premier plan aux côtés de la Norvège (The Nansen Initiative 2016).

### Politique migratoire

Il faut se faire à l'idée que les populations risquant d'être immobilisées (notamment en raison du manque de ressources économiques) font partie des principales victimes des aléas climatiques. La solution consistant à faciliter leur migration peut donc être une stratégie efficace d'adaptation et de survie (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Cette approche pourrait être renforcée dans le cadre des partenariats migratoires et du dialogue international sur la migration (DFAE 2016b).

### Aide en cas de catastrophes et promotion de la paix

Les événements climatiques extrêmes deviennent de plus en plus fréquents et leur violence s'accentue. Le nombre de situations d'urgence augmente. Les mouvements de population subséquents étant généralement temporaires et à courte distance, ils appelleront principalement une aide humanitaire d'urgence sur place et des mesures de reconstruction que la Suisse aura l'obligation de soutenir. Au cas où les dégradations environnementales s'aggraveraient ou seraient exacerbées par des conflits, la politique de promotion de la paix devrait jouer également un rôle plus important (DFAE 2016a).

### Coopération au développement

Plusieurs des pays auxquels la coopération suisse au développement donne la priorité sont en première ligne en matière de risques climatiques et de populations à risque. Il est essentiel que les défis liés au changement climatique soient pris d'emblée en compte dans les projets de développement (comme c'est déjà souvent le cas aujourd'hui). L'un des enseignements de la recherche scientifique est que les investissements dans les domaines de la protection et de la prévention des aléas climatiques sont en général bien moins élevés que les coûts sociaux et économiques en cas d'inaction (IPCC 2014/WGII/Chap.5). Même la montée du niveau des mers peut, en raison de la lenteur du processus, être limitée par la mise en place de structures de protection, mais cela nécessite souvent des ressources financières considérables.

Le risque de voir le changement climatique renforcer les disparités socioéconomiques et mettre la sécurité en péril est donc considérable, mais la pluralité des causes à leur origine peut aussi être interprétée comme un signe d'espoir : elle signifie que même si certaines dégradations climatiques sont désormais inévitables, des stratégies bien conçues de prévention, de limitation de leurs impacts et de développement restent de la plus haute actualité.

#### Bibliographie

DFAE (2016a) **Politique extérieure. Droits de l'homme et Sécurité humaine. Paix**. www.eda.admin.ch

DFAE (2016b) **Politique extérieure. Droits de l'homme et Sécurité humaine. Migration**. www.eda.admin.ch

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 5 «Coastal systems and low-lying areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 12 «Human security». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 13 «Livelihoods and poverty». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 23 «Europe». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Technical Summary (TS). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

The Nansen Initiative (2016) **The Nansen Initiative – Towards a Protection Agenda for people displaced across borders in the context of disasters and the effects of climate change**. www.nanseninitiative.org

# 2.17 L'industrie de l'assurance et des services financiers

**Les dommages économiques globaux résultant des extrêmes météorologiques ont augmenté ces dernières années, ceci avant tout en raison de l'accroissement des valeurs matérielles exposées. L'influence du changement climatique est difficile à évaluer dans ce contexte. L'évolution du climat et le développement économique de la propriété privée et des infrastructures publiques feront probablement encore augmenter le potentiel de dommages. Le secteur des assurances doit faire face à de nouveaux défis, tels que des montants de dommages en hausse. Une multiplication des événements soulève la question de leur assurabilité. Pour garantir celle-ci à l'avenir, des mesures de prévention doivent être développées en permanence. Des dispositions telles qu'une hausse des primes, une adaptation de la couverture d'assurance ou une plus large répartition des risques peuvent être nécessaires. En développant de nouveaux modèles de financement, l'industrie des services financiers peut contribuer à ce qu'il y ait suffisamment de capital à disposition pour des mesures d'adaptation. La prise en compte du climat concourt à l'évaluation des risques de placement dans la gestion de patrimoine et permet d'éviter des pertes imprévues.**

*Lea Müller (Swiss Re), Olivia Martius (Université de Berne),*
*David N. Bresch (Swiss Re, *aujourd'hui EPF de Zurich et MétéoSuisse), Sabine Döbeli (Swiss Sustainable Finance)*

La Suisse est habituée à vivre avec des catastrophes naturelles. Les inondations, les tempêtes et la grêle ont causé à maintes reprises des dommages économiques pendant les 60 années passées. D'autres catastrophes naturelles, telles que les vagues de chaleur, les avalanches, les glissements de terrain et les éboulements sont également des menaces pour la population. Des mesures de prévention permettent d'atténuer les risques et des solutions d'assurance peuvent rendre supportables la réparation des dommages. Les effets possibles du changement climatique sur l'assurance des valeurs matérielles (bâtiments, inventaire du ménage etc.) sont examinés ci-après. En revanche, les connaissances de base manquent pour discuter des possibles impacts de l'évolution du climat sur des produits d'assurance ayant trait à la santé, à l'approvisionnement énergétique et au tourisme. Le rôle de l'industrie des services financiers est expliqué dans le dernier paragraphe.

## Trois modes d'action des assurances

Dans le contexte des dangers naturels, le risque exprime l'ampleur et la probabilité d'un dommage possible ; il se calcule comme produit de la fréquence d'occurrence par l'ampleur du dommage. Cette dernière dépend de l'intensité de l'événement, de la valeur des objets concernés et de leur vulnérabilité. Les assurances représentent une possibilité de rendre les risques supportables pour les particuliers et pour l'économie. Elles jouent un rôle essentiel dans la maîtrise d'un événement. Les assurances réagissent de trois manières au changement climatique :

- **La stabilisation des moyens d'existence individuels et de l'économie** : L'industrie des assurances identifie et estime les risques possibles, les évalue financièrement et les couvre. Dans une assurance, un grand nombre de personnes s'associent en une communauté de risque. Elles assument ensemble les risques dus à des événements subits et fortuits et les rendent ainsi supportables. Lors de catastrophes naturelles, les assurances couvrent une partie substantielle de la charge des sinistres : elles soutiennent l'intervention, la remise en état et la reconstruction. Elles s'engagent également en matière de prévention. L'assurance concourt ainsi à la stabilisation des moyens d'existence de particuliers et à celle de l'ensemble de l'économie (IPCC 2014/WGII), ce qui permet aussi d'internaliser les coûts de ces risques.
- **L'encouragement de l'innovation et de la croissance** : L'économie privée peut, elle aussi, recourir à une assurance et atténuer ainsi des risques potentiels liés, par exemple, à de grands projets de construction ou au développement de nouvelles techniques telles que les parcs éoliens et les installations solaires. De cette manière, l'assurance assume une importante fonction d'encouragement de l'innovation et de la croissance (Swiss Re 2010). Elle lance à ce sujet de nouveaux produits (assurance de choses et responsabilité civile pour des nouvelles techniques telles que les parcs éoliens et les installations solaires, assurances indexées sur les conditions météorologiques pour l'agriculture et le tourisme) qui n'aident pas seulement les preneurs d'assurance à faire face au changement climatique, mais qui concourent aussi à la conversion vers une économie respectueuse du climat.
- **L'approvisionnement de l'économie en capitaux à long terme** : L'industrie des assurances gère des montants considérables, dont elle a besoin pour payer des dommages futurs, et compte parmi les grands investisseurs institutionnels. La majeure partie de ce capital est investi à

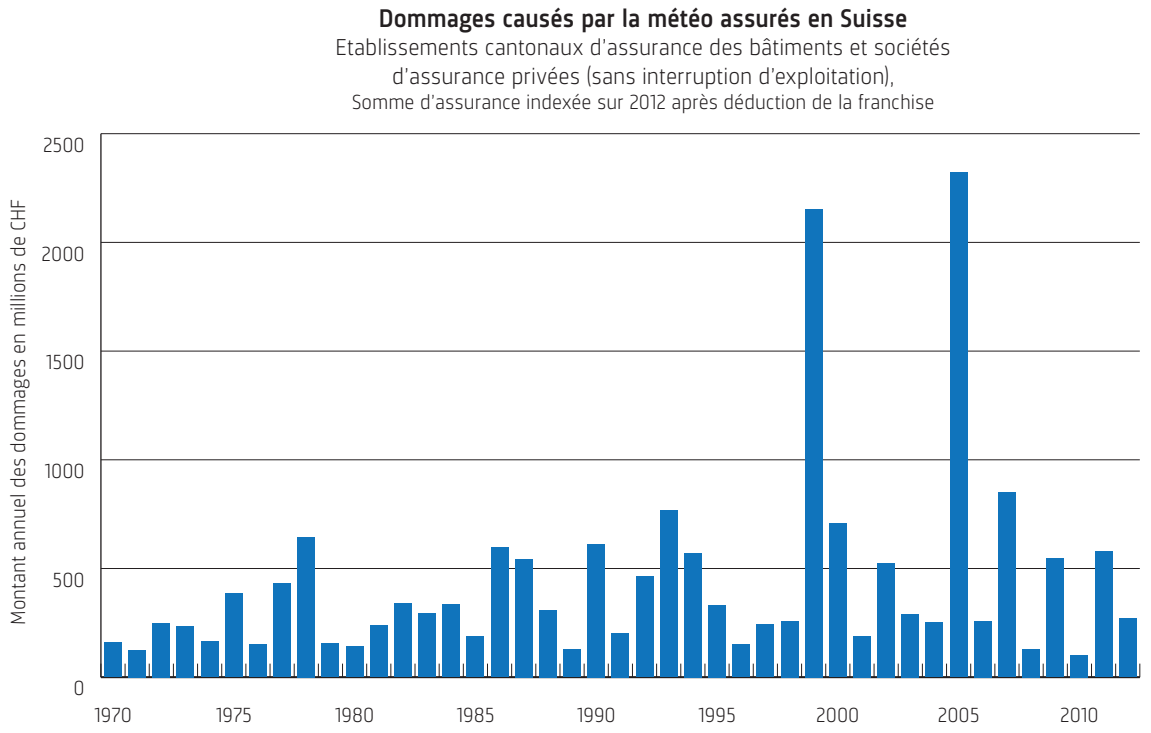



Figure 2.22 : Dommages causés en Suisse par les événements météorologiques de 1970 à 2012. Ces dommages ont augmenté au cours des 30 dernières années. Cette augmentation est due en premier lieu à des facteurs socioéconomiques tels que la progression des valeurs assurées ou la vulnérabilité croissante des bâtiments. (Source : Association Suisse d'Assurances 2011)

long terme dans des emprunts d'Etat et d'entreprise et est ainsi à disposition de gouvernements et de l'économie (Swiss Re 2010).

## L'assurabilité

L'assurance met du capital à disposition pour couvrir des dommages causés par des dangers naturels ; les futurs paiements de sinistres sont préfinancés par l'encaissement des primes. La condition essentielle est l'assurabilité des dangers naturels. L'assurabilité n'est pas déterminée par une formule fixe, mais tient à une série de critères qui doivent être satisfaits pour qu'un risque puisse être assuré (Swiss Re 2010) :

- **La réciprocité** : Le preneur d'assurance et l'assureur forment une communauté et partagent les risques à des conditions économiques et loyales.
- **Le caractère aléatoire** : Un événement assuré qui survient en un lieu donné arrive à un moment qui n'est pas prévisible et se produit indépendamment de la volonté de l'assuré aussi bien que de l'assureur. Des dommages qui se répètent fréquemment sont en revanche incompatibles avec le principe de l'assurabilité. Il faut donc prendre des mesures préventives si l'on veut réduire les dommages de tels événements.
- **L'évaluabilité** : La fréquence et l'ampleur des sinistres doivent pouvoir être quantifiées dans un intervalle de temps approprié.
- **La rentabilité** : Pour l'assureur, le prix inclut les coûts attendus des dommages ainsi que les frais d'acquisition et d'administration. Le prix doit en outre permettre un rendement approprié du capital, qui satisfasse aussi les attentes des investisseurs (par exemple des actionnaires). Une aggravation des dommages et une augmentation de la fréquence des sinistres entraînent à terme la hausse des primes et l'adaptation des conditions d'assurance.

Le changement climatique peut donc influencer l'assurabilité de dangers naturels, notamment en modifiant la fréquence des sinistres : d'une part, certains événements peuvent survenir plus souvent et n'être alors plus assurables ; d'autre part, des événements très rares et non évaluables aujourd'hui peuvent devenir plus fréquents et donc évaluables et assurables.

## La situation nationale

En Suisse, 99 pour cent des bâtiments privés et des biens mobiliers sont assurés aujourd'hui contre les dommages dus à des événements naturels tels que les crues, les inondations, les tempêtes, la grêle, les avalanches, la pression de la neige, les éboulements, les chutes de pierre et les glissements de terrain (Association Suisse d'Assurances 2011).

Les dommages aux bâtiments, dus à des causes naturelles, ont augmenté en Suisse ces dernières années (cf. fig. 1). Cette hausse tient en premier lieu à des facteurs socioéconomiques, tels que la progression des valeurs assurées ou la vulnérabilité croissante des bâtiments (CH2050; IPCC 2014/WGII) du fait de changements architecturaux, des matériaux employés ou de l'implantation de constructions dans des zones à risque. En outre, étant donné que la période prise en compte est relativement courte pour un suivi des événements extrêmes, des variations naturelles jouent également un rôle important dans la tendance observée – par exemple la survenance fortuite d'événements (tels que la tempête « Lothar » en 1999 ou les inondations de 2005) dont la période de retour peut être très supérieure à l'intervalle de temps considéré. Vu l'influence des facteurs socioéconomiques et des mesures de prévention, il est difficile d'estimer la part du changement climatique dans l'augmentation des dommages (IPCC 2014/WGII). Des analyses quantitatives sont encore à venir.

Les dangers naturels qui causent des dommages en Suisse sont avant tout les tempêtes de vent, les inondations, les fortes précipitations, la grêle et les vagues de chaleur, et en second lieu des mouvements de masse tels que les avalanches, les chutes de pierres ou les laves torrentielles. Les inondations sont à l'origine de plus de la moitié des dommages des catastrophes naturelles qui se sont produites en Suisse pendant les 40 années passées (Swiss Re 2013). En outre, les vagues de chaleur menacent la santé des enfants en bas âge ainsi que des personnes âgées ou atteintes de maladies chroniques ; ce sont ces périodes caniculaires qui ont causé le plus de décès dus à des catastrophes naturelles pendant ces dernières années (OFEV 2013).

## Evolution future

L'évolution du climat entraînera des changements de la fréquence, de la durée et de l'intensité de dangers naturels. La force des modèles climatiques actuels réside dans leur capacité de prévoir des valeurs moyennes mondiales, notamment celles de la température. Ils ont beaucoup plus de difficulté à rendre compte de phénomènes régionaux et locaux tels que des précipitations extrêmes. Il est très probable que la durée et l'intensité des vagues de chaleur s'accroîtra ; une augmentation des périodes sèches est également attendue. Les données sur l'évolution future des fortes précipitations et de la grêle en Suisse comportent de grandes incertitudes ; il est néanmoins prévisible que l'intensité des fortes précipitations croîtra, car l'atmosphère a une teneur en eau plus élevée quand la température est plus haute. Le chapitre 5 des Swiss Climate Change Scenarios (CH2011 2011) comprend une synthèse du savoir actuel sur les changements attendus des dangers naturels atmosphériques.

Le changement climatique pourrait accroître indirectement la vulnérabilité de constructions, car des mesures d'atténuation et d'adaptation, telles que l'assainissement de bâtiments (par exemple la pose ultérieure d'une isolation extérieure), l'installation de panneaux solaires sur des toits ou le placement de stores pare-soleil, augmentent le potentiel de dommages pour certains événements.

### L'assurance des bâtiments en Suisse

En Suisse, l'assurance des bâtiments inclut à la fois l'incendie et les éléments naturels (crues, inondations, tempêtes, grêle, avalanches, pression de la neige, éboulements, chute de pierres et glissements de terrain). Dans 19 cantons, un établissement cantonal en détient le monopole. Dans les autres cantons, des sociétés d'assurance privées proposent une assurance éléments naturels pour les bâtiments. Cette assurance est obligatoire dans tous les cantons (à l'exception de ceux de Genève, du Tessin et du Valais). Dans toute la Suisse, les primes d'assurance ainsi que la franchise sont règlementées et fixées par des dispositions législatives de la Confédération et des cantons. Les assurances ménage et inventaire (contenu du bâtiment) ne sont obligatoires que dans les cantons de Vaud et de Nidwald et y sont délivrées par les établissements cantonaux d'assurance des bâtiments. Dans les autres cantons, des sociétés d'assurance privées proposent également ces services.
Les établissements cantonaux d'assurance des bâtiments offrent une protection illimitée, tandis qu'une limite de responsabilité de un milliard de francs par événement s'applique dans toute la Suisse à l'ensemble des assureurs de droit privé. Tous les assurés doivent supporter solidairement ce « frein aux catastrophes » (Finma 2013).

## Le rôle actif de l'industrie de l'assurance

L'adaptation au climat est une tâche urgente qui fait appel à des décisions tant sur le plan national que local. De nombreuses mesures d'adaptation connues permettent de réduire la vulnérabilité de régions, communes et villes à l'égard du changement climatique (OFEV 2013). Un dialogue régulier a lieu à ce sujet entre tous les acteurs, notamment en ce qui concerne la collaboration suprasectorielle avec les pouvoirs publics.

L'industrie de l'assurance évalue et couvre des risques, aussi est-il impératif pour elle de détecter à temps les nouvelles menaces et de les comprendre. A ce titre, elle est prédestinée à jouer un rôle important et actif dans la gestion du changement climatique. Des mesures d'adaptation, telles que la protection contre les crues, la planification des zones ou la mise à jour de prescriptions sur la construction, permettent d'abaisser les primes d'assurance. Ceci ne vaut d'ailleurs pas seulement pour l'évolution du climat, mais aussi pour l'élimination de lacunes de protection contre des dangers qui existent déjà aujourd'hui. D'autre part, des facteurs tels que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements accroissent les risques et font monter les primes. En Suisse, l'assurance des dommages dus à des événements naturels est réglementée par la loi et les primes sont fixées par l'Etat (cf. encadré L'assurance des bâtiments en Suisse, p. 141).

En identifiant et évaluant (par exemple en termes de coût) les risques actuels, mais aussi futurs, l'assurance crée des bases pour l'assurabilité à long terme. Et en favorisant les efforts de prévention, par exemple par des allègements de primes, elle incite à adopter un comportement prévisionnel et à prévenir les risques. Par ailleurs, des mesures d'adaptation permettant de renforcer la résilience climatique existent (IPCC 2012/SREX; IPCC 2014/WGII).

## Le rôle des banques et des gérants de fortune

Les mesures d'adaptation accroissent les besoins de financement d'infrastructures tant dans le secteur public que privé (Swiss Re 2014). L'industrie des services financiers peut jouer ici un rôle d'intermédiaire. En développant de nouveaux modèles de financement, elle peut contribuer à ce que suffisamment de capital soit mis à disposition pour ces mesures d'adaptation.

Les effets globaux du changement climatique modifient les conditions pour les entreprises et ont également un impact sur l'évaluation des placements. Ceci entraîne de nouveaux risques dans les opérations de placement, qui concernent tant les investisseurs institutionnels que privés (Mercer 2011). Les caisses de pension notamment, qui gèrent du capital à titre fiduciaire, sont tributaires de services de gestion de fortune qui tiennent compte autant que possible des risques climatiques. Pour cela, des méthodes sont nécessaires pour évaluer l'influence du changement climatique sur la valeur des placements. Les banques et les gérants de fortune sont appelés à développer de telles méthodes et à les intégrer dans leur gestion d'actifs. Les risques climatiques peuvent être pris en compte aussi bien lors de la définition de la stratégie de placement et du choix des catégories d'actifs que lors de la sélection des placements (par exemple CSSP & SPG 2015). Une possibilité consiste à calculer les émissions totales de $CO_2$ d'un portefeuille en additionnant les émissions des différentes firmes en proportion de leur part. Certains investisseurs vont même jusqu'à exclure de leurs placements des entreprises qui émettent beaucoup de $CO_2$ (par exemple des sociétés pétrolières).

## Défis pour la Suisse

En conséquence du changement climatique, le secteur des assurances doit relever des défis touchant à l'estimation des primes, à la prévention, à la rareté du capital après des événements particulièrement graves et à l'augmentation du montant des dommages (IPCC 2014/WGII). Une question fondamentale est de juger de la possibilité même d'une assurance (IPCC 2014/WGII). Elle devient significative pour la Suisse dès qu'une influence du changement climatique sur l'évolution du montant des dommages est constatée ou attendue. Des mesures d'adaptation possibles dans le secteur des assurances comprennent les hausses de primes, la réduction de la couverture d'assurance, l'élargissement de la répartition des risques et la création d'incitations visant à diminuer les risques (IPCC 2014/WGII).

S'ils ne sont pas assurés, les dommages dus à des catastrophes naturelles représentent une charge financière considérable pour les particuliers et pour l'Etat. C'est le plus souvent l'Etat – et donc le contribuable – qui paie la facture en cas de graves catastrophes. Après un événement, le gouvernement doit immédiatement se charger des coûts des mesures d'intervention et d'aide directe; il assume en outre les coûts subséquents de grands projets d'infrastructures lorsque des routes endommagées ou d'autres équipements et installations publics doivent être remis en état. Une assurance est un mécanisme financier de prévoyance pour l'économie et les particuliers qui ne disposent pas des moyens financiers d'un Etat pour couvrir le coût des dommages.

La protection contre les dangers naturels se réfère aujourd'hui aux principes de la gestion intégrale des risques,

qui instaure une approche globale des dangers naturels avec toutes les parties concernées. La Confédération, les cantons et les communes, ainsi que les assurances et la population collaborent à une approche prévisionnelle des risques naturels leur permettant d'agir précocement et pas seulement de réagir. Si l'évolution du climat entraîne en Suisse un changement de la fréquence des dangers naturels causant des dommages, des adaptations peuvent devenir nécessaires en matière de gestion intégrale des risques, avec les conséquences suivantes pour l'assurabilité des événements et la nécessité de les prévenir :

– Si un événement de peu d'envergure se produit localement beaucoup plus fréquemment, par exemple tous les trois ans en moyenne au lieu de tous les 15 ans, l'assurer n'est éventuellement plus rentable. S'il n'est alors plus assurable, il faut prendre d'autres mesures, de caractère préventif, par exemple en matière de construction. A noter que des mesures de prévention supplémentaires peuvent être envisagées aussi pour des événements qui sont encore assurables.
– Si des événements de très grande envergure – qui ne sont pas assurables en ce moment, parce qu'ils sont trop rares (par exemple une fois tous les 1000 ans en moyenne) pour satisfaire au principe de l'évaluabilité – se produisent plus fréquemment et deviennent ainsi évaluables, les assurances devraient proposer des possibilités de les assurer et accroître à cette fin leur couverture en capital.

De grands investisseurs internationaux attendent aujourd'hui déjà que de tels risques climatiques soient pris en compte dans la gestion de fortune. De ce fait, il est important que les banques et les gérants de fortune suisses établissent des processus permettant de prendre en considération les risques climatiques auxquels des installations sont exposées et qu'ils développent ces méthodes en permanence afin de rester concurrentiels au niveau international.

S'adapter au changement climatique est plus avantageux qu'attendre, bien que ce ne soit pas gratuit – et ne peut être financé que si le changement climatique et ses impacts sont limités au maximum.

## Bibliographie


Association Suisse d'Assurances (2011) **Die einzigartige Elementarschadenversicherung.** www.svv.ch/fr

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011.** Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

CH2050 (2007) **Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie.** OcCC, ProClim (eds.), Berne, 168 pp.

CSSP, SPG (2015) **Risque carbone pour la place financière suisse.** Center for Social and Sustainable Products & South Pole Group (eds.), Zurich/Vaduz, 94 pp.

Finma (2013) **Assurance des dommages dus aux événements naturels en Suisse (assurance DN). Histoire et champ d'application.** www.finma.ch

IPCC (2012) **Special Report «Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation» (SREX).** www.ipcc.ch/report/srex

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Mercer (2011) **Climate Change Scenarios – Implications for strategic asset allocation.** Mercer, London.

OFEV (2013) **Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau.** Rapport. Office fédéral de l'environnement (OFEV).

Swiss Re (2010) **Wegweisende Einführung in die Rückversicherung.** www.swissre.com

Swiss Re (2013) **Geschichte der Versicherung in der Schweiz.** www.swissre.com

Swiss Re (2014) **Economics of Climate Adaptation – Shaping climate resilient development: A global overview of case studies with a focus on infrastructure.** www.swissre.com

# 2.18 Stratégies et mesures de la Confédération en matière d'adaptation aux changements climatiques

**Les conséquences de l'évolution du climat, à savoir une hausse des températures ainsi que des changements en matière de précipitations et de catastrophes naturelles, se manifestent déjà en Suisse. Il faut s'attendre à ce qu'elles deviennent encore nettement plus sensibles, surtout à partir du milieu du XXIe siècle. Afin de soutenir le mieux possible l'administration, la société, l'économie et l'environnement, la Confédération a élaboré la stratégie « Adaptation aux changements climatiques ». Ses objectifs sont de minimiser les risques des changements climatiques, de protéger la population, les biens et les ressources naturelles vitales, ainsi que d'augmenter la capacité d'adaptation de la société, de l'économie et de l'environnement. Cette stratégie inclut un plan d'action de 63 mesures à concrétiser de 2014 à 2019. Pour la mettre en œuvre avec succès, il est indispensable de l'intégrer à d'autres stratégies et politiques de la Confédération. Cependant, l'adaptation n'est pas seulement une tâche de l'Etat : elle nécessite la participation de tous les acteurs concernés.**

*Marco Pütz (WSL), Anthony Patt (EPF de Zurich), Roland Hohmann (OFEV)*

## Les bases de l'adaptation

Il n'y a pas de recette miracle pour l'adaptation à l'évolution du climat. Les impacts des changements climatiques présentent de grandes différences géographiques et temporelles. C'est pourquoi les mesures d'adaptation doivent être planifiées et mises en œuvre en fonction des conditions et expériences concrètes propres au lieu considéré. Les activités d'adaptation les plus répandues aujourd'hui ont trait aux assurances ou à des mesures techniques contre des dangers naturels, telles que les ouvrages de protection contre les crues ou contre les coulées de boue. Mais d'autres activités gagnent en importance – c'est le cas notamment de mesures écosystémiques, institutionnelles ou sociales, par exemple les mises en garde et les alarmes dans le domaine de la santé.

L'adaptation peut être autonome ou planifiée. Alors que l'adaptation autonome (ou spontanée) se fait en toute indépendance, sans projet et inconsciemment, l'adaptation planifiée est ciblée sur des changements climatiques réels ou attendus et sur leurs conséquences. Il est possible aussi de distinguer entre mesures d'adaptation techniques, écosystémiques, légales, ou encore orientées sur la gestion ou sur la politique.

Les efforts d'adaptation sont particulièrement efficaces quand ils permettent de créer des synergies et des situations de win-win (co-bénéfices) avec d'autres activités. Lors du choix des mesures d'adaptation, il faut donner l'avantage à des dispositions souples et centrées sur l'éducation.

### Adaptation aux changements climatiques

On entend par adaptation aux changements climatiques le processus de mise en accord de systèmes naturels et sociaux avec l'évolution du climat et ses conséquences. Elle a pour objectif d'atténuer les effets négatifs et d'exploiter les avantages de ces développements. En Europe, les principaux champs d'action de l'adaptation au climat portent sur les canicules, les précipitations extrêmes, l'élévation du niveau de la mer, les crues, ainsi que sur l'altération des ressources en eau et de la biodiversité (IPCC 2014/WGII/SPM).

## Circonstances entravantes

Les circonstances suivantes sont des entraves à la planification des activités d'adaptation et à leur mise en œuvre :
- les conséquences locales de l'évolution du climat sont mal connues,
- les ressources financières et humaines sont insuffisantes,
- la coordination des activités d'adaptation ne recouvre pas l'ensemble des échelons administratifs et des secteurs,
- les risques climatiques sont trop peu connus et donnent lieu à des évaluations divergentes,
- les mesures prises et leurs effets, et par conséquent les coûts et bénéfices, sont décalés dans le temps et
- le leadership fait partiellement défaut dans la politique, l'administration ou l'économie.

La recherche de trajectoires de développement qui combinent les mesures de protection du climat et d'adaptation aux changements climatiques pour promouvoir la durabilité est au cœur du débat au niveau international. Toutefois, les synergies entre protection du climat et adaptation ne représentent pas forcément les mesures les plus efficaces (IPCC 2014/WGII/SPM).

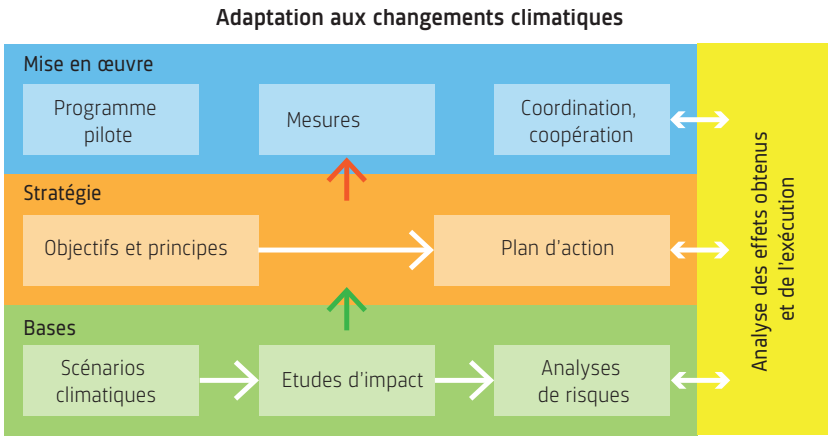



Figure 2.23: La politique suisse d'adaptation au climat: bases, stratégies, mise en œuvre et suivi. (Source: OFEV 2014)

## La stratégie du Conseil fédéral en matière d'adaptation

L'article 8 de la loi sur le $CO_2$ prévoit que la Confédération coordonne des activités d'adaptation aux changements climatiques et prend des dispositions visant à améliorer le savoir nécessaire à cette fin. En conséquence, le Conseil fédéral a chargé l'administration d'élaborer une stratégie d'« adaptation aux changements climatiques en Suisse ».

### Premier volet de la stratégie: les objectifs, défis et champs d'action

Le premier volet de la stratégie a été adopté le 2 mars 2012. Il contient les objectifs, les défis et les champs d'action de l'adaptation au climat en Suisse (OFEV 2012). Les trois objectifs de la stratégie consistent à:

- exploiter les opportunités offertes par les changements climatiques,
- minimiser les risques des changements climatiques et protéger la population, les biens et les ressources naturelles vitales et
- accroître la capacité d'adaptation de la société, de l'économie et de l'environnement.

En outre, la stratégie comporte neuf approches partielles dédiées à autant de secteurs spécifiques (gestion des eaux, gestion des dangers naturels, agriculture, économie forestière, énergie, tourisme, gestion de la biodiversité, santé, développement territorial) et examine douze défis transsectoriels.

### Deuxième volet de la stratégie: le plan d'action 2014-2019

Le 9 avril 2014, le Conseil fédéral a approuvé un plan d'action, qui constitue le deuxième volet de sa stratégie d'adaptation aux changements climatiques (OFEV 2014). Ce plan d'action comprend des mesures déjà appliquées, prévues concrètement ou à développer, destinées à mettre en œuvre la stratégie d'adaptation pendant les années 2014 à 2019 et à préparer la Suisse aux conséquences des changements climatiques. Parmi les 63 mesures du plan d'action, 54 se répartissent entre les neuf secteurs précités et doivent être réalisées dans le cadre des politiques sectorielles respectives. Cinq autres dispositions sont transsectorielles: elles visent à améliorer la base de connaissance. Les quatre dernières mesures servent à promouvoir la collaboration entre la Confédération, les cantons, les villes et les communes. Les progrès réalisés dans la mise en œuvre de la stratégie et l'effet obtenu sont contrôlés régulièrement. En 2019 au plus tard, la décision sera prise concernant la phase ultérieure du processus d'adaptation aux changements climatiques.

### Harmoniser les stratégies

Pour que les activités d'adaptation au climat atteignent leur objectif, il est important que la stratégie d'adaptation soit intégrée à d'autres stratégies et politiques de la Confédération ou qu'elle soit retenue comme complément de ces dernières et prise en compte dans leur mise en œuvre. Il y a nécessité d'harmonisation entre autres avec

- la stratégie « Sécurité contre les dangers naturels », de la PLANAT,
- la mise en œuvre du rapport « Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse »,
- la stratégie Climat pour l'agriculture,

– la loi sur les forêts,
– la Stratégie énergétique 2050,
– la Stratégie de croissance pour la place touristique suisse,
– la Stratégie Biodiversité Suisse,
– la stratégie Santé animale en Suisse 2010+ et
– le Projet de territoire suisse.

## Encouragement et mise en œuvre d'activités d'adaptation au climat menées en Suisse

L'adaptation au climat planifiée en Suisse se fonde sur des bases scientifiques solides et sur une stratégie nuancée. Elles sont induites par différentes mesures et soutenues par un programme pilote. Le développement de ces bases, la stratégie et sa mise en œuvre font l'objet d'un suivi permettant d'évaluer les effets et l'exécution de l'adaptation (fig. 2.23). Les activités de la Confédération en matière d'adaptation au climat ne conduiront au succès que si les acteurs concernés participent activement et prennent eux-mêmes des initiatives.

### L'analyse des risques et des opportunités climatiques jusqu'en 2060

L'analyse des risques et opportunités climatiques constitue, aux côtés des scénarios climatiques (CH2011) et des études d'impact (CH2014), une base importante des activités d'adaptation au climat menées en Suisse. Une méthode a été développée pour cette analyse : elle permet d'examiner les risques et opportunités de l'évolution du climat et de les évaluer quantitativement ou qualitativement, ceci au niveau transsectoriel et en fonction de différents dangers et effets climatiques (Holthausen et al. 2011). Cette méthode tient compte aussi bien des changements climatiques que démographiques et socioéconomiques prévus en Suisse par les projections. Cette analyse est effectuée dans les six grandes régions du pays : le Plateau, les Alpes, les Préalpes, le Jura, la Suisse méridionale et les grandes agglomérations. Au moins un canton représentatif est examiné dans chacune de ces régions. Réalisée dans le canton d'Argovie, la première étude de cas (EBP et al. 2014) montre que les changements climatiques entraînent des risques pour la biodiversité et la santé, mais que l'on peut, par contre, en attendre de légers avantages dans l'agriculture et en ce qui concerne la consommation d'énergie. L'analyse portant sur l'ensemble de la Suisse sera à disposition probablement à mi-2017.

### Programme pilote d'encouragement de projets innovants dans les régions

Pour encourager les activités d'adaptation dans les régions, l'Office fédéral de l'environnement, en partenariat avec d'autres services de la Confédération, a lancé en 2013 le « Programme pilote adaptation aux changements climatiques ». Des projets innovants et exemplaires d'adaptation aux changements climatiques sont réalisés dans des cantons, des régions et des communes avec le soutien financier de la Confédération. Les 31 projets sélectionnés parmi la centaine de propositions reçues se répartissent entre cinq domaines thématiques : gestion des modifications écosystémiques et de l'utilisation des terres, gestion des pénuries locales d'eau, gestion des dangers naturels, transfert de connaissances et gouvernance, développement urbain adapté aux changements climatiques. Les premiers projets ont démarré en janvier 2014. Tous les projets seront terminés fin 2016 ; l'ensemble du programme s'achèvera en 2017 par un rapport de synthèse.

### Activités d'adaptation des cantons et des régions

Indépendamment du programme pilote, les cantons et les régions élaborent des stratégies et des mesures d'adaptation. Dans le canton d'Uri, par exemple, le Conseil d'Etat a décidé, en 2011, de mettre sur pied une stratégie pour faire face aux changements climatiques (Canton d'Uri 2011). Elle formule des objectifs et des étapes de mise en œuvre en matière d'adaptation, de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de suivi et de production de savoir, ainsi que de communication et d'information. Au début 2016, le canton des Grisons a adopté sa stratégie climatique qui traite à la fois de la prévention et de l'adaptation (ANU 2015). Les cantons de Bâle-Ville, de Schaffhouse, de Berne, d'Argovie et de Zurich (en collaboration avec la Conférence internationale du lac de Constance) ont établi des vues d'ensemble sur les conséquences régionales des changements climatiques, les mesures à prendre et les possibilités d'adaptation.

Ces prochaines années, les activités d'adaptation commencées seront complétées et développées. Elles comprennent, entre autres bases importantes, des nouveaux scénarios climatiques régionalisés, planifiés pour 2018. Les résultats de l'analyse de l'exécution et de l'effet obtenu, qui devraient être à disposition en 2018, seront également d'un grand intérêt, car ils se fondent entre autres sur les rapports intermédiaires des cantons et des offices fédéraux concernés – rapports qui ont été exigés pour la première fois pour fin 2015. Partant des expériences concrètes faites sur le terrain en matière de mise en œuvre d'activités d'adaptation, un second plan d'action devrait être élaboré à partir de 2018.

## Bibliographie

ANU (2015) **Klimawandel Graubünden. Synthese der Herausforderungen und Handlungsfelder.** Arbeitspapier 4 einer kantonalen Klimastrategie. Coire, 27 pp.

Canton d'Uri (2011) **Umgang mit dem Klimawandel. Klimastrategie des Kantons Uri.** Sur mandat du Conseil d'Etat du canton d'Uri. Altdorf, 46 pp.

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011.** Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

EBP, WSL, SLF (2014) **Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau.** Rapport. Office fédéral de l'environnement (OFEV).

Holthausen N, Perch-Nielsen S, Locher P, de Haan van der Weg P, Pütz M, Bründl M (2011) **Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz.** Rapport. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et de l'Office fédéral du développement territorial (ARE). Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf, 145 pp.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

OFEV (2012) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Objectifs, défis et champs d'action.** Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat

OFEV (2014) **Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Plan d'action 2014-2019.** Deuxième volet de la stratégie du Conseil fédéral du 9 avril 2014. Berne. www.bafu.admin.ch/adaptation-climat