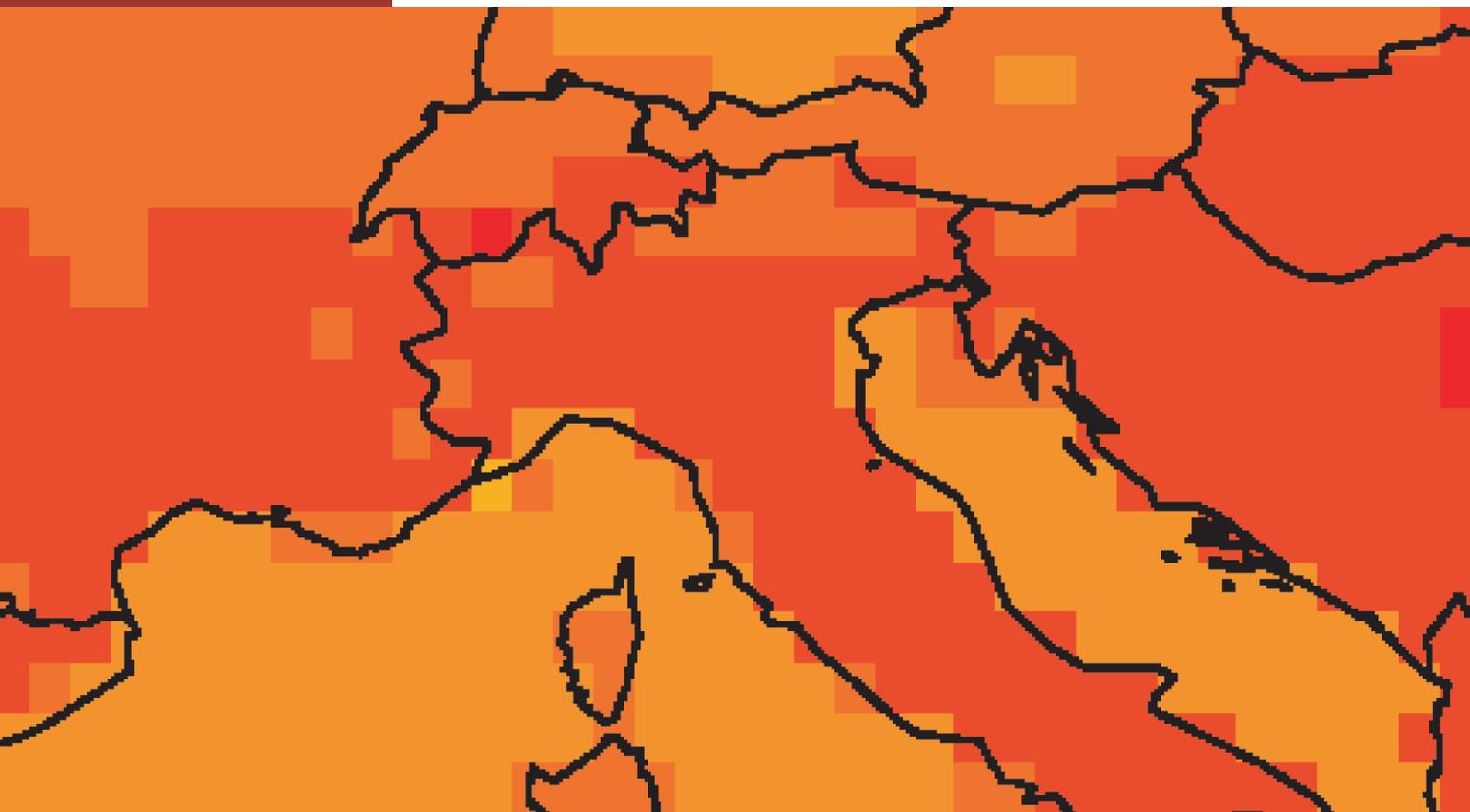


## Les changements climatiques et la Suisse en 2050

Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie



## **Editeur et distributeur**

OcCC / ProClim–  
Schwarztorstrasse 9  
3007 Bern

Tél.: (+41 31) 328 23 23  
Fax.: (+41 31) 328 23 20  
Email: [occc@scnat.ch](mailto:occc@scnat.ch)

Berne, en juin 2007

## **Image de couverture**

Fragment d'une carte des changements de températures modélisés pour le scénario de base de CH2050.  
Christoph Frei, MétéoSuisse, Zurich

L'Organe consultatif sur les changements climatiques (OcCC) a pour mission de formuler des recommandations sur des questions ayant trait au climat et aux changements climatiques à l'attention des milieux politiques et de l'administration publique. Il a été créé en 1996 par le Département fédéral de l'intérieur (DFI) et le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). Le mandat pour la création de cet organe a été confié à l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT). Celle-ci a invité une trentaine de personnalités de la recherche, de l'économie et de l'administration fédérale à collaborer au sein de cet organe consultatif. Le suivi de ce mandat par l'administration fédérale incombe à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

ProClim–, Forum sur le climat et le changement global, est un organe de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT), qui a été fondé en 1988 et promeut le dialogue entre les scientifiques, les décideurs et le public.

Imprimé avec le soutien financier de SwissRe et de la SCNAT.

**Swiss Re**



sc | nat 

Swiss Academy of Sciences  
Akademie der Naturwissenschaften  
Accademia di scienze naturali  
Académie des sciences naturelles



# **Les changements climatiques et la Suisse en 2050**

Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie

# Table des matières

<b>Editorial</b>	<b>4</b>
<b>Résumé</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>9</b>
<b>Données fondamentales</b>	<b>11</b>
1. L'avenir climatique de la Suisse	12
2. Evénements extrêmes	17
3. Evaluations sommaires d'autres grandeurs climatiques	18
4. Impacts des changements climatiques sur le cycle de l'eau	21
<b>Ecosystèmes terrestres</b>	<b>25</b>
1. Introduction	26
2. Biodiversité	29
3. Dangers naturels et sécurité des espaces vitaux	34
4. Utilité et produits des écosystèmes	38
<b>Agriculture</b>	<b>41</b>
1. Introduction	42
2. Production végétale indigène	44
3. Evénements météorologiques extrêmes	45
4. Sécurité des récoltes	46
5. Approvisionnement en eau selon les sites	47
6. Organismes nuisibles et leur importance	47
7. Elevage d'animaux pour la production de denrées alimentaires	49
8. Mesures relatives aux cultures, aux procédés cultureux et à la conduite d'exploitation	50
9. Approvisionnement alimentaire national et global	52
<b>Economie des eaux</b>	<b>55</b>
1. Introduction	56
2. Changements affectant les cours d'eau naturels	58
3. Dangers naturels de l'eau	60
4. Offre et besoin en eau	63
5. Utilisation de l'eau	64
6. Gestion renforcée des ressources en eau	65
<b>Santé</b>	<b>67</b>
1. Introduction	68
2. Vagues de chaleur	70
3. Autres événements extrêmes: inondations, glissements de terrain, tempêtes	72
4. Intoxications alimentaires	74
5. Maladies des voies respiratoires et allergies	74
6. Maladies transmises par des vecteurs	76
<b>Tourisme</b>	<b>79</b>
1. Introduction	80
2. Changements de l'offre et de la demande sous l'aspect du climat	82
3. Impacts des changements climatiques sur l'offre de tourisme nature	83
4. Impacts des changements climatiques sur le tourisme en Suisse	86
5. Stratégies et mesures	91
6. Le tourisme en 2050	93

<b>Energie</b>	<b>95</b>
1. Introduction	96
2. Consommation d'énergie	98
3. Production établie d'électricité	101
4. Les nouvelles énergies renouvelables	103
5. Aspects économiques	106
<b>Constructions et infrastructures</b>	<b>109</b>
1. Introduction	110
2. Bâtiments	112
3. Voies de transport	116
4. Gestion de l'eau urbaine	120
5. Agglomérations urbaines	121
<b>La Suisse urbaine</b>	<b>123</b>
1. Introduction	124
2. La Suisse comme système urbain	125
3. Scénarios et paramètres-clés	126
4. Evolution démographique	127
5. Développement de l'habitat	128
6. Evolution des ouvrages de construction	131
7. Développement en matière de transports et communications	132
8. Evolution de la disponibilité des ressources	134
9. Développement des relations et dépendances entre le système urbain suisse et son contexte global	135
10. Conséquences	136
<b>Assurances</b>	<b>137</b>
1. Introduction	138
2. Comment fonctionnent les assurances	139
3. Expérience relative aux dommages	141
4. Regard vers l'avenir	143
5. Impacts sur les assurances et mesures prises par ces dernières	146
<b>Synthèse</b>	<b>153</b>
1. Introduction	153
2. Changements lents	154
3. Evénements extrêmes	155
4. Cycle hydrologique et ressources en eau	157
5. Territoire	159
6. Changements pour l'être humain	161
7. Remarques finales	161
<b>Annexe</b>	<b>167</b>
Impressum	167
Sources des illustrations	168

## Editorial

Il y a environ quarante-cinq ans, j'étais alors encore une petite fille, nous autres enfants faisons chaque hiver de folles parties de luge à l'Ackermannstrasse, au Zürichberg, juste au-dessous de l'ISM (aujourd'hui MétéoSuisse). Les choses ont changé entre-temps. Faire de la luge à Zurich, sur le Plateau et dans les Préalpes n'est plus guère possible aujourd'hui. A ceci s'ajoute que le trafic motorisé, vu son développement, ne permettrait plus les descentes en luge dans une rue de quartier.

Et à quoi ressemblera notre proche avenir? Que pourront faire nos enfants dans quarante-cinq ans? Quelle Suisse les attend? C'est de ce genre de questions que s'occupe le Rapport CH2050. Les rapports 2001 et 2007 du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) lui servent de base scientifique. Les données et faits consignés dans les rapports scientifiques disponibles aujourd'hui démontrent ce qui était évident déjà depuis des années: la majeure partie de la hausse, observée depuis le milieu du 20e siècle, de la température moyenne globale est attribuable, avec une probabilité de plus de 90 pour cent, à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre émis par l'être humain. Aujourd'hui, les preuves sont là, qui ne peuvent plus être ignorées: le réchauffement global est causé par l'être humain. Les changements climatiques sont devenus un problème du 21e siècle pour tous les habitants de la Terre. Le rapport du GIEC calcule plusieurs scénarios jusqu'en 2100 et au-delà – c'est alors que les mesures prises aujourd'hui exerceront pleinement leur effet sur le climat.

Avec notre rapport CH2050, nous nous préoccupons, pour le moment, de la situation à la mi-temps. Que signifient pour la Suisse les changements climatiques à l'échelon local dans le proche avenir? Quels impacts auront-ils dans les différents espaces naturels et les secteurs socioéconomiques de la vie quotidienne? Comment la société et l'économie devront-elles répondre aux changements qui se dessinent? Dans quelle mesure les responsables politiques sont-ils appelés à agir? Dans quelle direction les mesures doivent-elles aller pour relever ces défis avec succès?

C'est à ces questions que nous voulons faire face. Car l'Organe consultatif sur les changements climatiques – l'OcCC – a pour tâche de diffuser l'avis des scientifiques dans les milieux économiques et politiques et dans la société et d'élaborer des stratégies et approches de solutions pour la Suisse. C'est pourquoi CH2050 devrait servir de base aux grandes orientations permettant à la Suisse de planifier les mesures souhaitables et nécessaires et de définir les actions requises aux niveaux politique, économique et social.



Dr Kathy Riklin, présidente de l'OcCC  
Conseillère nationale

## Résumé

Le présent rapport décrit les conséquences possibles et les vulnérabilités de l'environnement, de l'économie et de la société auxquelles il faut s'attendre en Suisse jusqu'en 2050 du fait des changements climatiques causés par les émissions de gaz à effet de serre. Il examine les impacts possibles attendus dans différents domaines et leur importance écologique, économique et sociale, de même que des mesures et stratégies d'adaptation envisageables.

A noter que le réchauffement climatique attendu jusqu'en 2050 aura lieu en majeure partie encore indépendamment des mesures prises dans le monde pour réduire les émissions, car ce n'est qu'à long terme que ces mesures auront un effet déterminant. Si les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas très substantiellement réduites au cours des prochaines décennies, les conséquences du réchauffement pendant la seconde moitié de ce siècle seront encore bien plus lourdes que ne le présente ce rapport.

### Données de base

Le rapport prend pour base un réchauffement du climat de la Suisse jusqu'en 2050 d'environ 2 °C en automne, hiver et printemps (compte tenu des incertitudes, ce réchauffement se situe dans une fourchette de 1-4 °C) et de presque 3 °C en été (1.5-5 °C). Il admet que les précipitations augmenteront d'environ 10% en hiver et diminueront d'à peu près 20% en été. Il faudra compter avec davantage de précipitations extrêmes et donc aussi de crues et laves torrentielles pendant l'hiver, mais éventuellement aussi durant l'été en dépit de la baisse des précipitations totales. En été, il y aura davantage de vagues de chaleur et probablement aussi de périodes de sécheresse. Il faut s'attendre par contre à moins de vagues de froid en hiver.

### Energie – constructions

A l'avenir, dans le secteur des services notamment, on aura besoin de moins d'énergie en hiver pour le chauffage et de davantage en été pour la climatisation. La demande se déplacera donc des combustibles vers l'électricité. L'augmentation de la consommation de courant pourra être atténuée entre autres en recourant

à des appareils utilisant l'énergie de façon plus efficace, à des techniques d'aération et à des moyens de protection contre le soleil. Les normes de construction devraient être adaptées au climat futur.

La diminution du débit et de l'effet réfrigérant des cours d'eau, en été surtout, aura un impact défavorable sur la force hydraulique et les centrales refroidies à l'eau. Il faut compter avec un recul de la production annuelle de quelques centièmes jusqu'en 2050.

Les nouvelles énergies renouvelables deviendront plus compétitives en raison de la demande accrue d'énergie, dont le prix montera et qui devra être produite si possible sans émissions de CO<sub>2</sub>. Par rapport à la consommation actuelle, leur contribution à l'approvisionnement électrique de la Suisse pourra se hisser à plus de 10% jusqu'en 2050. L'énergie éolienne et celle du bois figurent au premier plan dans ce contexte. Les tendances à long terme et l'évolution de l'économie forestière et du bois permettent d'entrevoir un triplement du potentiel. Son exploitation présuppose toutefois la réduction des émissions polluantes y relatives.

Les changements climatiques accroîtront le risque d'interruptions d'exploitation dans le secteur énergétique. La lacune qui se dessine en matière d'approvisionnement devra être comblée, autant que possible en épuisant le potentiel d'économies d'énergie et en encourageant les énergies renouvelables. La dépendance énergétique à l'égard de l'étranger diminuerait du même coup. A l'avenir, l'électricité devra être produite dans la mesure du possible sans émissions de CO<sub>2</sub>.

### Economie des eaux

En comparaison internationale, la Suisse dispose d'une offre en eau relativement élevée. Suite aux changements climatiques, celle-ci diminuera en été et en automne, surtout pendant les périodes de sécheresse. Si les besoins en eau de l'agriculture augmentent simultanément, les écosystèmes, certains consommateurs et les régions se trouveraient en situation de concurrence. Il pourrait

s'ensuivre des pertes agricoles, de même qu'une baisse de la production d'électricité, avant tout provenant des centrales au fil de l'eau et refroidies à l'eau. Une gestion optimisée permettra très probablement d'assurer néanmoins l'approvisionnement en eau.

L'accroissement de la valeur des infrastructures situées dans des zones exposées a conduit à une amplification substantielle du potentiel de dommages dus aux crues, laves torrentielles et glissements de terrain au cours des cinquante dernières années. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations accroîtront encore le risque de dommages. En outre, les précipitations tomberont plus souvent sous forme de pluie que de neige. Les crues se feront plus fortes et plus fréquentes, surtout en hiver. Une protection durable contre les crues par la renaturation et l'élargissement des cours d'eau ainsi que la limitation du potentiel de dommages figurent au premier plan des mesures envisageables.

### **Assurances – infrastructures**

Si les dommages dus à des phénomènes naturels se multiplient et s'aggravent, les assurances et réassurances devront hausser les primes ou limiter la couverture, afin de pouvoir payer les sinistres. Au cas où des phénomènes naturels violents se produiraient plus souvent, des mesures préventives devraient être prises pour que le risque soit encore assurable. Il faudrait notamment adapter et faire respecter les principes d'aménagement du territoire et les normes de construction. La nécessité de mieux contrôler le développement en matière d'urbanisation et de construction se fait sentir de façon particulièrement impérieuse en montagne, en raison de la menace des dangers naturels dans ces régions et de la dépendance de ces dernières du tourisme d'hiver.

### **Tourisme**

Des étés plus chauds peuvent rendre des destinations indigènes plus attractives pour le tourisme, ceci notamment au bord des lacs ou dans les Alpes. En hiver par contre, la montée de la limite des chutes de neige a pour conséquence qu'à long terme, des régions skiables des

Préalpes ne pourront plus guère être exploitées de façon rentable. Des fréquences plus élevées en été ne compenseront pas les pertes de recettes des remontées mécaniques et de l'hôtellerie en hiver. Les stations de sport d'hiver situées à haute altitude profiteront éventuellement de la situation. Il faut s'attendre à ce que le marché des résidences secondaires soit sous pression dans ces régions. Les lieux touristiques des Alpes deviendront plus difficilement accessibles en raison de la menace croissante des événements extrêmes sur les voies de communication. La détérioration des conditions d'enneigement et les altérations du paysage, dues notamment à l'énorme recul des glaciers, auront un impact important sur l'attrait des sites touristiques alpins. Le dégel du pergélisol constitue un risque coûteux pour de nombreuses remontées mécaniques, étant donné qu'en haute altitude, les fondations des mâts et des stations sont souvent ancrées dans de la roche meuble gelée. Le danger d'éboulement et de chutes de pierres augmentera également. Pour maintenir leur attractivité, les destinations touristiques devront adapter leur offre aux nouvelles conditions. Les changements possibles du climat et du paysage doivent être pris en considération déjà au stade de la planification.

### **Agriculture**

Un réchauffement modéré inférieur à environ 2-3 °C devrait avoir en général des effets positifs pour l'agriculture suisse. La période de végétation étant plus longue, la production des prairies et le rendement potentiel des récoltes de nombreuses plantes culturales seront plus élevés, pour autant que l'offre en eau et en substances nutritives soit suffisante. La production animale pourra aussi en profiter. En revanche, l'offre en eau baissera en été, il y aura davantage de mauvaises herbes et d'insectes nuisibles et les dommages dus à des événements extrêmes augmenteront. L'agriculture pourra s'adapter à une hausse modérée de la température moyenne de 2-3 °C jusqu'en 2050 par un choix bien ciblé des plantes et procédés culturels et par l'adaptation de la conduite d'exploitation en conséquence. La multiplication des périodes de forte chaleur et de sécheresse est toutefois problématique. En outre, des précipitations plus fortes et plus

fréquentes renforceront l'érosion du sol. Les besoins en eau d'irrigation augmenteront en maints endroits. Ces risques pourront être atténués par une diversification des entreprises et une plus haute couverture d'assurance.

Par contre, les inconvénients prédomineront si le réchauffement climatique est supérieur à 2-3 °C jusqu'en 2050: il faudra compter alors avec un manque d'eau plus aigu pendant la période de végétation, et le développement végétal accéléré entraînera des pertes du rendement des céréales et des légumineuses à grains. Mais en Suisse, jusqu'en 2050, la libéralisation des marchés et les adaptations de la politique agricole seront des facteurs d'influence plus importants que les changements climatiques.

### Santé

Comme l'a montré la canicule de l'été 2003, l'accroissement des vagues de chaleur, associé à des concentrations d'ozone plus élevées, représente en Suisse la principale conséquence sanitaire d'un réchauffement. L'augmentation de la mortalité consécutive à la chaleur peut toutefois être contrôlée par des mesures adéquates. Les vagues de chaleur compromettent aussi les prestations au travail et ont ainsi des conséquences économiques.

La multiplication et l'intensification probables d'autres événements extrêmes, tels que les inondations, les laves torrentielles et vraisemblablement aussi les tempêtes, feront des morts et des blessés, et exerçant de graves impacts psychiques.

Une hausse des températures accroît également le danger d'intoxications alimentaires par des denrées avariées. On ne sait pas au juste comment évolueront certaines maladies transmises par des vecteurs. Une propagation de la malaria ou de la dengue est peu probable en Suisse. En revanche, la fièvre du Nil occidental est en progression. Des températures plus élevées pourraient aussi favoriser l'apparition de nouveaux vecteurs ou conduire à un changement d'hôtes. En ce qui concerne les maladies transmises par des tiques, l'aire de répartition, le taux d'infection et la période d'activité pourraient se modifier.

### Ecosystèmes terrestres

La composition des écosystèmes se modifiera en Suisse à long terme, car les espèces réagissent différemment aux changements climatiques. La flore et la faune suisses se rapprocheront toujours plus de celles des régions méridionales et de très basse altitude. Les espèces sensibles à la chaleur se rabattront vers des zones plus fraîches situées sur les hauteurs. Les espèces sensibles peu mobiles diminueront fortement ou disparaîtront.

La production de bois, de denrées alimentaires et d'eau propre peut être entravée par la combinaison de températures élevées et de précipitations moins abondantes. En altitude, la productivité de la forêt et des prairies permanentes sera plutôt stimulée par le réchauffement, alors qu'à plus basse altitude, elle sera amoindrie par la sécheresse. La disponibilité en eau prendra une plus grande importance à l'avenir pour les écosystèmes, les zones les plus concernées étant les vallées et les régions collinaires.

### Conclusion

Dans l'optique actuelle, et pour autant que l'augmentation des températures reste dans les limites attendues, les conséquences du réchauffement climatique auxquelles il faut s'attendre d'ici 2050 semblent maîtrisables en Suisse. Des estimations approfondies des coûts des adaptations et mesures – un facteur important pour l'économie nationale – font toutefois encore défaut. La branche du tourisme notamment doit s'attendre à des changements radicaux. Ce constat ne doit pas faire oublier que l'évolution à long terme au cours de la seconde moitié du 21ème siècle dépendra fortement des mesures de réduction qui seront prises pendant les prochaines années et décennies, et que les impacts seront de même nettement plus graves dans le cas d'une évolution du type „business-as-usual“. A ceci s'ajoute que de nombreux pays dans le monde, avant tout les pays en développement les plus pauvres, doivent d'une part s'attendre à des impacts nettement plus lourds, et disposent d'autre part de moyens financiers insuffisants pour s'adapter. Les développements géopolitiques qui s'ensuivront pourraient fort bien avoir des conséquences aussi pour la Suisse.



# Introduction

Ce rapport examine les impacts des changements climatiques en Suisse en 2050. Plus de cent spécialistes des disciplines les plus diverses ont participé à ce projet. Il repose sur de multiples données récoltées, discutées et assemblées au cours de nombreux ateliers et séances.

Ce travail se fonde sur un scénario climatique régional pour la Suisse. Ce scénario, décrit au chapitre „Données fondamentales“, sert de base pour analyser les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes terrestres, l'agriculture, l'économie des eaux, la santé, le secteur énergétique, le tourisme, les infrastructures, l'espace urbanisé et les assurances. Ces thèmes ne sont pas traités de manière définitive; il s'agissait bien plus, partant de l'état actuel du savoir, d'essayer d'anticiper les changements auxquels nous devons nous attendre en conséquence de l'évolution du climat, l'ampleur qu'ils auront et les décisions qui devront être prises pour s'y adapter.

Le choix de 2050 tient d'une part au fait qu'à cette échéance, tous les scénarios climatiques du GIEC indiquent sans ambiguïté un réchauffement, mais sont aussi relativement proches les uns des autres dans leurs prévisions. Ceci permet de discuter sur les impacts des changements climatiques sans devoir distinguer entre différents scénarios. D'autre part, nombre de lectrices et lecteurs verront encore les développements décrits dans ce rapport. Le choix de 2050 présente donc l'avantage que nous ne pouvons pas nous soustraire à notre responsabilité et laisser à la génération suivante le soin de résoudre le problème, comme cela serait possible dans le cas d'un scénario pour 2100.

Des transformations socioéconomiques et politiques difficilement prévisibles se superposeront aux impacts des changements climatiques en 2050. Pour se faire une idée claire des difficultés et incertitudes que cela implique, il suffit de s'imaginer comment un être humain se serait représenté en 1950 la vie dans notre pays aujourd'hui. De nombreux développements qui

ont eu lieu au cours des cinquante années passées étaient imprévisibles – que l'on songe aux progrès du génie génétique ou à la diffusion des ordinateurs. Malgré ces difficultés, il importe de regarder en avant et d'essayer de discerner à temps les changements climatiques importants. Vu l'inertie du climat, ces changements constituent un processus très lent, dont les impacts négatifs se feront sentir pendant des décennies, voire des siècles. Agir en faisant preuve de prévoyance va dans l'intérêt de l'humanité.

Le rapport montre que la Suisse se trouve à maints égards dans une position favorable et que nombre d'impacts seront encore relativement faibles en 2050. Ceci ne doit pas nous inciter à prendre les changements climatiques à la légère. Car 2050 ne marque qu'une petite étape d'une longue évolution qui s'accélèrera et aura encore de nombreux et plus grands impacts. En outre, nombre de pays seront touchés beaucoup plus durement que la Suisse. Les auteurs de ce rapport sont convaincus que la limitation des concentrations de gaz à effet de serre par une politique climatique bien ciblée représente la possibilité la plus simple et la plus efficace de restreindre les dommages des changements climatiques et les coûts d'adaptation en Suisse et à l'étranger.

Pour conclure, j'aimerais remercier toutes les personnes qui ont mis leurs compétences au service de ce projet en tant qu'auteurs, participantes et participants aux ateliers ou experts, de même que les collaboratrices et collaborateurs du secrétariat de ProClim et de l'OcCC, qui ont fait preuve de beaucoup de patience et d'engagement pour réaliser ce projet, et Markus Nauser, qui a lancé l'idée de ce projet, autour d'une tasse de thé à Marrakech pendant la COP 7.



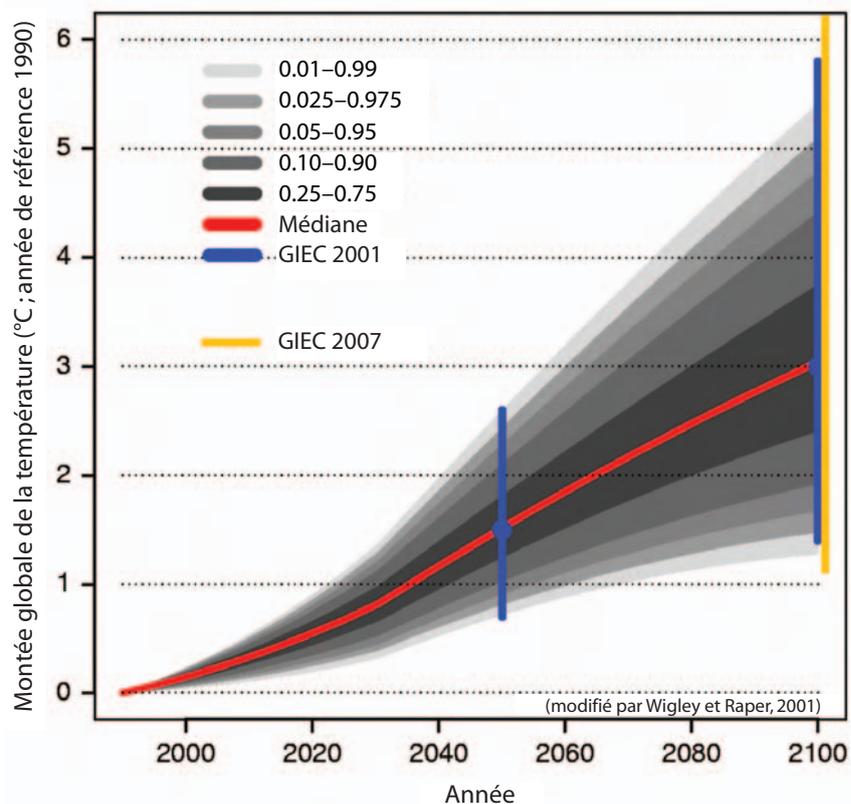
Roland Hohmann  
Directeur du projet, OcCC, Berne



# Données fondamentales

## Auteurs

Christoph Frei	MétéoSuisse, Zurich
Pierluigi Calanca	Agroscope FAL Reckenholz
Christoph Schär	Institut für Atmosphäre und Klimawissenschaft (IAC), EPF de Zurich
Heinz Wanner	Geographisches Institut, Université de Berne
Bruno Schädler	Hydrologie, Office fédéral de l'environnement
Wilfried Häberli	Geographisches Institut, Université de Zurich
Christof Appenzeller	MétéoSuisse, Zurich
Urs Neu	ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles
Esther Thalmann	ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles
Christoph Ritz	ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles
Roland Hohmann	OcCC, Berne



## 1. L'avenir climatique de la Suisse

### Changements observés au 20e siècle

Au 20e siècle, la température globale moyenne a augmenté d'environ 0.6 °C.<sup>1</sup> En Suisse – comme en d'autres régions continentales – le réchauffement a été plus fort qu'en moyenne globale. Au 20e siècle, la température a augmenté d'environ 1.6 °C en Suisse occidentale, 1.3 °C en Suisse alémanique et 1.0 °C au Sud des Alpes. Sur le flanc nord des Alpes, la fréquence des mois anormalement chauds (température de plus de 2 °C au-dessus de la moyenne à long terme) a déjà augmenté d'environ 70%.<sup>2</sup> Le régime des précipitations s'est également modifié. Les précipitations annuelles ont augmenté en gros de 120 mm (8%) au 20e siècle. Dans l'espace alpin septentrional et occidental, les précipitations d'hiver moyennes ont subi une hausse de 20–30%.<sup>3</sup> Les fortes précipitations journalières et de 2–5 jours ont également augmenté en automne et en hiver dans de vastes parties du Plateau et de la bordure nord des Alpes.<sup>4</sup> Etant donné que l'évapotranspiration a augmenté de 105 mm (23%) avec le réchauffement, l'écoulement n'a pratiquement pas changé en moyenne annuelle. Simultanément, les réserves d'eau stockées dans les glaciers ont décliné d'à peu près 50 kilomètres cubes en cent ans. Cette diminution du volume des glaciers a contribué à l'écoulement à raison de 12 mm/a (1.2%) en moyenne.

### Scénarios de températures et de précipitations

Les changements climatiques s'accroîtront à l'avenir. Suivant l'évolution future des émissions de gaz à effet de serre, il faudra compter avec une augmentation de la température globale par rapport à 1990 de 0.8°–2.4 °C jusqu'en 2050 et de 1.4°–5.8 °C d'ici la fin du 21e siècle, au cas où aucunes mesures radicales de réduction ne seraient prises.<sup>1,5</sup> Le cycle de l'eau aussi changera (cf. paragraphe 4). Toutefois, les changements climatiques ne se manifesteront pas de façon égale dans toutes les régions. Le climat va-t-il se modifier en Suisse à l'avenir? Les changements régionaux sont nettement plus difficiles à évaluer, vu que l'environnement respectif (relief, distance de la mer, structures locales des vents et leurs fluctuations etc.) a une grande influence. La présente étude s'appuie sur un scénario régional de températures et de précipitations calculé pour la Suisse.<sup>6</sup> Il est basé sur les calculs effectués au moyen de diverses combinaisons de modèles climatiques globaux et régionaux du projet PRUDENCE<sup>7</sup> de l'UE (voir encadré). Ceux-ci permettent d'évaluer les incertitudes ayant trait à la compréhension physique du système climatique. Une seconde étape a pris en compte le lien de dépendance des résultats à l'égard de l'évolution future des émissions, sans inclure d'éventuelles

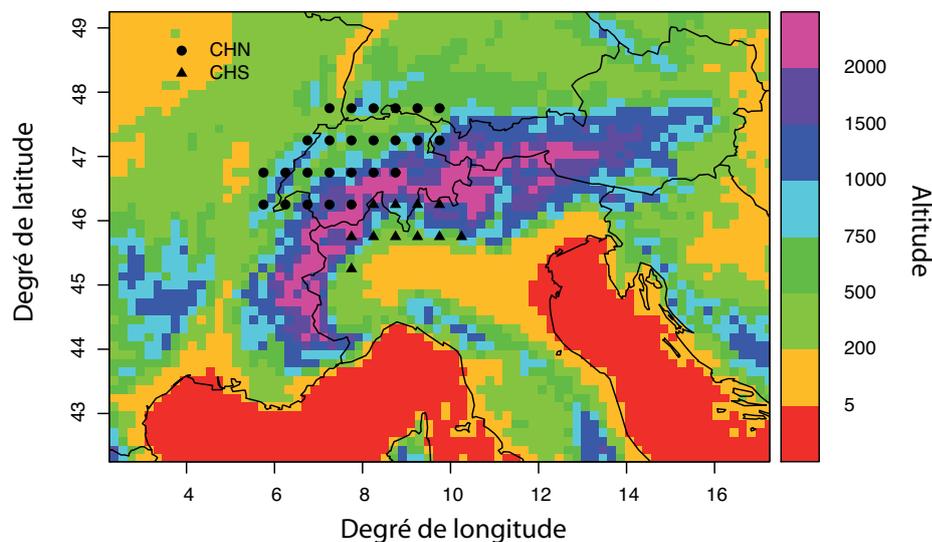


Figure 1: Grilles de points du modèle utilisé dans l'analyse, pour la Suisse septentrionale (CHN) et méridionale (CHS). La topographie des Alpes (m d'altitude) est rendue par des couleurs (résolution de 15 km).

mesures politiques visant à abaisser les émissions de gaz à effet de serre (p.ex. Protocole de Kyoto et actions subséquentes). Des mesures, même radicales, de réduction des émissions n'auront pas encore d'effets très marqués avant 2050, mais influenceront fortement sur l'évolution pendant

la seconde moitié du 21<sup>e</sup> siècle. Les fondements de ces données et les analyses statistiques sont décrits en détail par Frei (2004).<sup>6</sup> Pour la présente étude, les valeurs moyennes relatives aux versants nord et sud des Alpes (Fig. 1) ont été calculées pour 2030, 2050 et 2070.

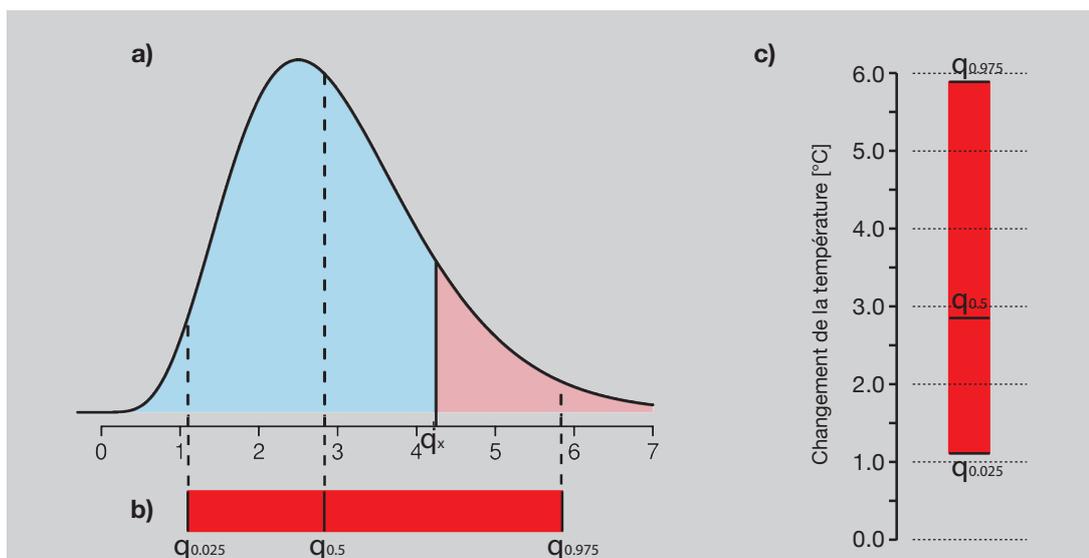


Figure 2: Distribution schématique de probabilité pour les changements de température (a). Cette distribution est caractérisée par la médiane ( $q_{0.5}$ ) et l'intervalle de confiance de 95% (de  $q_{0.025}$  à  $q_{0.975}$ ) (b). Dans le rapport, les scénarios de probabilité sont caractérisés par ces grandeurs caractéristiques (c).

### Bases du calcul et de la représentation des résultats

Les modélisations du projet PRUDENCE<sup>6</sup> de l'UE ont servi de base. Les incertitudes relatives à la compréhension physique (incertitudes du modèle) ont été déduites de la dispersion des résultats de seize combinaisons différentes de modèles pour l'Europe. Deux scénarios moyens d'émissions du GIEC (SRES A2 et B2<sup>7</sup>), quatre modèles climatiques globaux et huit modèles climatiques régionaux ont été combinés de différentes manières. Partant des valeurs des températures de la période 2071–2100, un procédé statistique a représenté à la même échelle celles de 2030, 2050 et 2070.<sup>6</sup> L'influence de l'évolution des émissions a été évaluée en partant de l'hypothèse que la dispersion des résultats au niveau régional est comparable à celle qui ressort au niveau global des principaux scénarios d'émission du GIEC. Les incertitudes qui en découlent en matière de changements peuvent être représentées comme distribution de probabilité (figure 2a). La valeur  $q_x$  se lit quantile  $x\%$  et désigne la valeur du changement ayant une probabilité de  $x\%$  de ne pas être dépassée.

La médiane (le quantile 50%,  $q_{0.5}$ ) partage la distribution en deux surfaces égales et désigne l'évaluation moyenne du changement. L'intervalle de confiance de 95% entre les quantiles 2.5% et 97.5% ( $q_{0.025}$  à  $q_{0.975}$ ) désigne le domaine des valeurs dans lequel le changement futur se situera avec une probabilité de 95% selon les calculs ci-dessus.

La distribution calculée peut donc être représentée de façon simplifiée par les quantiles 2.5%, 50% et 97.5% (figure 2b). Dans le rapport, les distributions pour les différentes saisons sont montrées l'une à côté de l'autre sous la forme de barres verticales (figure 2c).

Disposant de nouveaux résultats de modélisations, fournis par un projet de recherche de l'UE actuellement en cours (ENSEMBLES), il devrait être possible dans un proche avenir d'améliorer encore les calculs. De futures nouvelles données pourront rétrécir les intervalles d'incertitude aussi bien que les élargir. Ce second cas pourrait se présenter par exemple si des processus négligés jusqu'ici faisaient apparaître de nouvelles sources d'incertitudes.

## Les scénarios CH2050

Les graphiques des figures 3 et 4 traduisent les changements calculés des précipitations et des températures sur les versants nord et sud des Alpes en 2030, 2050 et 2070. Ils montrent l'évolution future attendue et mettent en évidence que la Suisse sera exposée en 2050 à des changements climatiques toujours plus rapides et plus forts. Des mesures rigoureuses de réduction des émissions peuvent exercer une influence déterminante sur cette évolution avant tout pendant la seconde moitié du 21<sup>e</sup> siècle. De telles mesures ne sont pas prises en compte dans l'évolution représentée ici. Vu l'inertie du système climatique, il faudra mettre le cap

dans cette direction déjà ces prochaines années et décennies.

Les résultats pour 2050 sont résumés dans le tableau 1. Ils constituent la base du présent rapport. Jusqu'en 2050, le réchauffement sera pratiquement le même sur les versants nord et sud des Alpes. Selon une estimation moyenne (la médiane, voir l'encadré), la hausse des températures sera de 1.8 °C en hiver et de 2.7 °C en été en Suisse septentrionale et de 1.8 °C en hiver et de 2.8 °C en été en Suisse méridionale. Pour les saisons de transition, le réchauffement est comparable à celui de l'hiver (printemps: 1.8 °C sur les versants nord et sud des Alpes; automne: 2.1 °C sur le versant nord et 2.2 °C sur le versant sud des Alpes).

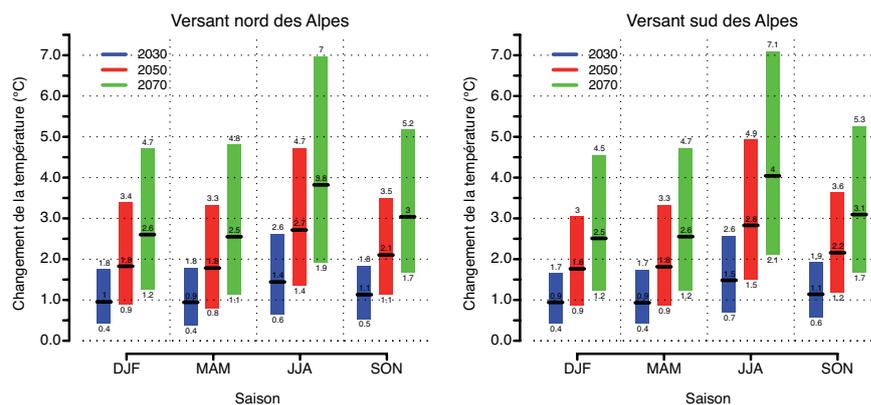


Figure 3: Changement de la température moyenne en hiver (DJF: décembre à février), au printemps (MAM: mars à mai), en été (JJA: juin à août) et en automne (SON: septembre à novembre) sur les versants nord et sud des Alpes en 2050 par rapport à 1990. Les lignes horizontales indiquent chaque fois l'estimation moyenne (médiane). Le réchauffement se situera avec une probabilité de 95% à l'intérieur des barres de couleur (intervalle de confiance de 95%, cf. encadré).

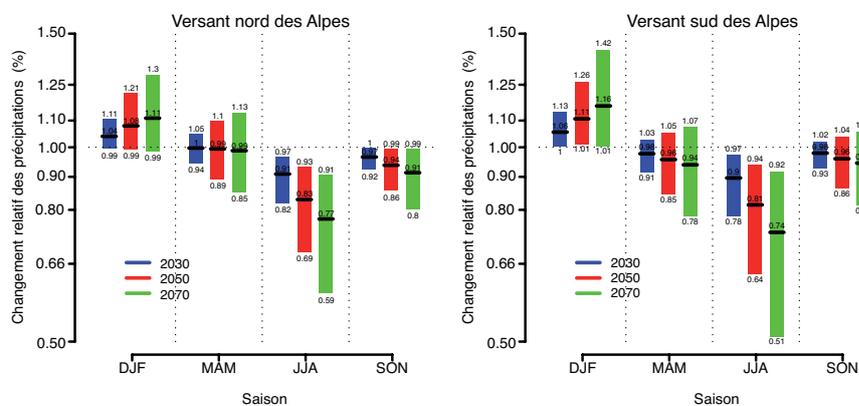


Figure 4: Changement relatif des précipitations saisonnières moyennes sur les versants nord et sud des Alpes en 2050 par rapport à 1990 (échelle logarithmique; définition des saisons, voir fig. 3). Une valeur de 0.50 désigne une diminution de moitié, une valeur de 1.25 une augmentation de 25% par rapport aux conditions actuelles. Les lignes horizontales indiquent chaque fois l'estimation moyenne (médiane). Le réchauffement se situera avec une probabilité de 95% à l'intérieur des barres de couleur (intervalle de confiance de 95%, cf. encadré).

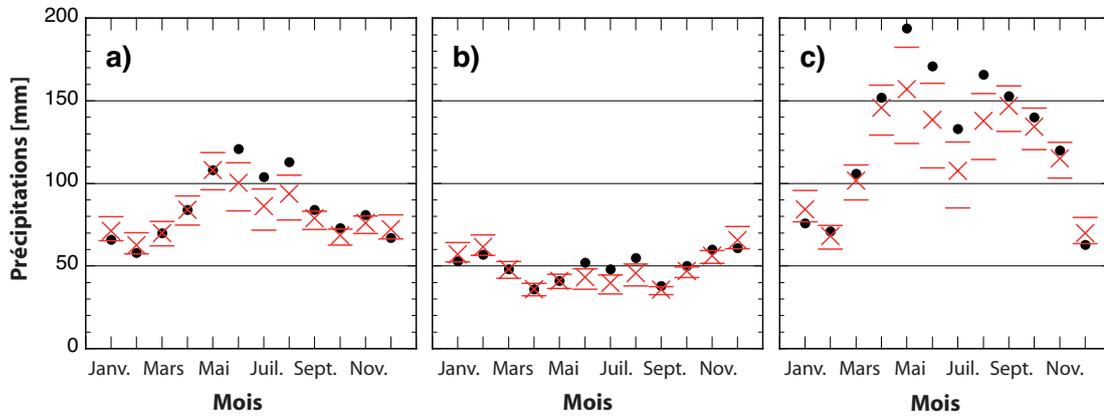


Figure 5: Pluviométrie mensuelle à a) Berne Liebefeld, b) Sion et c) Lugano aujourd'hui (points noirs) et en 2050 (en rouge; médiane et intervalle de confiance de 95%)

Tableau 1: Changement des températures (°C, en haut) et des précipitations (en bas) en 2050 par rapport à 1990 (chiffres en bleu: médiane; chiffres en rouge: intervalle de confiance). Le scénario pour 2050 sert de base au présent rapport.

Région	Saison	Probabilités		
		0.025	0.5	0.975
Suisse septentrionale	déc/jan/fév	0.9	1.8	3.4
	mars/avr/mai	0.8	1.8	3.3
	juin/juil/août	1.4	2.7	4.7
	sept/oct/nov	1.1	2.1	3.5
Suisse méridionale	déc/jan/fév	0.9	1.8	3.1
	mars/avr/mai	0.9	1.8	3.3
	juin/juil/août	1.5	2.8	4.9
	sept/oct/nov	1.2	2.2	3.7

Région	Saison	Probabilités		
		0.025	0.5	0.975
Suisse septentrionale	déc/jan/fév	-1%	+8%	+21%
	mars/avr/mai	-11%	0%	+10%
	juin/juil/août	-31%	-17%	-7%
	sept/oct/nov	-14%	-6%	-1%
Suisse méridionale	déc/jan/fév	+1%	+11%	+26%
	mars/avr/mai	-15%	-4%	+5%
	juin/juil/août	-36%	-19%	-6%
	sept/oct/nov	-14%	-4%	+4%

La situation en matière de précipitations est aussi très semblable sur les deux versants des Alpes. Pour toutes les saisons, les changements se distinguent seulement de quelques centièmes d'une région à l'autre (fig. 4). Jusqu'au milieu du 21e siècle, il faudra s'attendre sur le versant nord des Alpes à une augmentation d'environ 8% en hiver (11% sur le versant sud) et à une diminution de 17% en gros en été (19% sur le versant sud). Au printemps et en automne, des augmentations ou diminutions des précipitations sont toutes deux possibles. L'incertitude est particulièrement grande pour l'été.

Les changements absolus des précipitations à Berne Liebefeld, Sion et Lugano sont représentés sur la fig. 5. Au total, le volume annuel des précipitations diminue légèrement (-50 mm à Berne Liebefeld, -20 mm à Sion, -150 mm à Lugano).

### Positionnement des changements

Où situer ces changements climatiques? Le climat à Berne en 2050 sera-t-il pareil au climat actuel à Rome? Pour répondre à ce genre de questions, les scénarios climatiques ont été comparés avec les conditions actuelles dans différentes stations de

MétéoSuisse. Le fait que les températures et précipitations dépendent très fortement de la topographie, de la situation géographique et d'autres particularités locales rend la comparaison difficile. Pour les précipitations, la comparaison des stations ne donne pas une idée cohérente et a donc peu de sens.

En revanche, il existe en Suisse et dans les pays voisins des lieux où les conditions de température sont aujourd'hui ce qu'elles deviendront en 2050 en des endroits bien définis du fait du réchauffement. D'ici 2050, les températures à Zurich se rapprocheront des conditions régnant actuellement à Sion si le réchauffement est faible, à Magadino s'il est moyen et à Turin s'il est fort (fig. 6). La situation en matière de température en 2050 à Bâle correspondra à la situation actuelle de Grono si le réchauffement est faible, à celle de Lugano s'il est moyen et à celle de Vérone s'il est fort.

A propos de telles comparaisons, il faut considérer toutefois que la problématique des changements climatiques réside moins dans un nouvel état du climat que dans le processus de changement et d'adaptation à ces derniers.

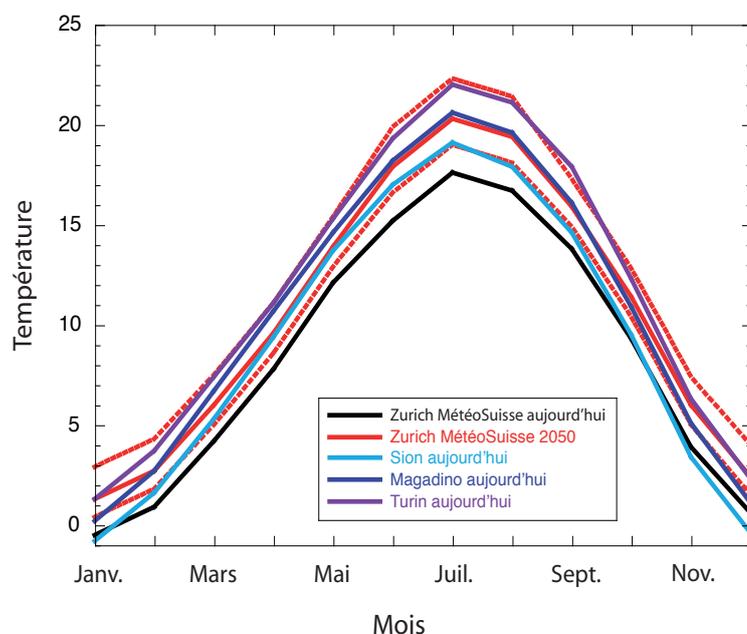


Figure 6: Comparaison des courbes de température de Zurich MétéoSuisse aujourd'hui et en 2050 avec les températures actuelles de Sion, Magadino et Turin, selon les scénarios pour un réchauffement faible, moyen et fort.

## 2. Événements extrêmes

Dans de nombreux cas, il est important d'évaluer les changements relatifs aux événements extrêmes, p.ex. de redimensionner les ouvrages de protection contre les crues. Le scénario climatique à la base de l'étude ne fait de prévisions qu'au sujet des moyennes saisonnières des températures et des précipitations, mais ne fournit pas de données sur les extrêmes. Mais les changements en matière d'événements extrêmes sont examinés dans de nombreuses études. On en trouve un résumé dans le rapport de l'OcCC intitulé „Evénements extrêmes et changements climatiques“.<sup>8</sup>

Sur la base des connaissances physiques des processus météorologiques et du système climatique, il faut s'attendre à ce que certains événements extrêmes augmentent et que d'autres diminuent. Ces changements seront vraisemblablement différents selon la région. Les modèles climatiques actuels ne rendent compte qu'approximativement des processus à petite échelle lors d'événements extrêmes. Les scénarios sur l'évolution de la fréquence et de l'intensité d'événements extrêmes sont donc encore peu sûrs. Fournir des données statistiques sur les tendances actuelles en matière d'extrêmes se révèle également difficile vu la rareté de ces événements et n'est possible que pour quelques catégories d'entre eux (voir plus bas).<sup>9</sup> Dans les résumés suivants, un changement n'est discuté que sur la base d'observations statistiquement significatives et/ou d'indices plausibles d'un développement dans une direction donnée.

### Extrêmes de température

L'évolution la plus claire est celle des extrêmes de température. Une hausse de la température moyenne en été entraînera des périodes de forte chaleur caractérisées par des températures plus élevées qu'aujourd'hui (figure 7).<sup>2</sup> La variabilité des températures moyennes d'été augmentera aussi selon les modèles climatiques, ce qui conduira à davantage de telles périodes.<sup>2,10</sup> Les modèles climatiques indiquent que les températures maximales absolues augmenteront davantage que les maxima journaliers moyens. Selon le scénario utilisé ici, des conditions telles que celles de l'été caniculaire 2003 seront encore très rares en 2050 si le réchauffement est faible; elles surviendront

toutes les quelques décennies si le réchauffement est moyen et toutes les quelques années s'il est fort (voir aussi le chapitre suivant). La fréquence des étés extrêmement chauds augmenterait encore plus rapidement si de surcroît la variabilité du climat estival devait s'accroître, ce que la plupart des scénarios climatiques suggèrent.

En contrepartie, la fréquence des périodes froides et le nombre de jours de gel diminueront. En hiver, la variabilité journalière de la température sera généralement plus faible, parce que les températures minimales subiront une hausse plus forte que les températures moyennes. Cet effet sera particulièrement marqué dans les régions où le manteau neigeux diminuera à la suite du réchauffement. On ne sait pas au juste quelles seront les modifications du risque de gel tardif, survenant donc après le début de la période de végétation, car celle-ci se décalera aussi avec le réchauffement.

### Extrêmes de précipitations

En ce qui concerne les extrêmes de précipitations, de nouvelles analyses indiquent un accroissement des précipitations extrêmes de un à cinq jours pendant le semestre d'hiver en Europe centrale.<sup>11</sup> Les modèles PRUDENCE montrent que les fortes précipitations, telles qu'elles se produisent aujourd'hui seulement tous les huit à vingt ans, surviendront en moyenne tous les cinq ans d'ici la fin du siècle. La situation en été est moins claire. Les modèles simulent une diminution prononcée des précipitations moyennes, mais la plupart d'entre eux indiquent néanmoins un accroissement de la valeur extrême quinquennale.

### Crues, glissements de pentes et laves torrentielles

Une augmentation de l'intensité et des extrêmes de précipitations recèle un potentiel de crues, glissements de pentes et laves torrentielles plus fréquents. Mais les impacts effectifs sur ces dangers naturels sont aussi déterminés par d'autres processus, eux-mêmes touchés par les changements climatiques (humidité du sol, fonte de la neige, régime d'écoulement). C'est pourquoi il est difficile de prévoir comment ces dangers naturels se modifieront (cf. le chapitre sur l'économie des eaux).

### Sécheresse

Des périodes de sécheresse extrême seront plus longues et plus fréquentes en été, conformément à la diminution des précipitations moyennes et du nombre de jours de pluie. La combinaison de précipitations moins abondantes et de l'évapotranspiration plus intense pourra conduire régionalement à une diminution de la teneur du sol en eau. En outre, les réserves de neige s'amenuisant dans les Alpes, les cours d'eau, alimentés aujourd'hui en été par l'eau de fonte, s'assècheront plus fréquemment et

l'accumulation saisonnière d'eau dans les Alpes diminuera.

### Tempêtes

En ce qui concerne l'évolution des tempêtes, il faut compter plutôt, en Europe centrale, avec une diminution de leur fréquence, en même temps qu'avec une augmentation du nombre de très fortes tempêtes (p.ex. de la catégorie de „Vivian“ ou de „Lothar“). En principe, les trajectoires des zones de basse pression et des tempêtes se décaleront en direction des pôles.

## 3. Evaluations sommaires d'autres grandeurs climatiques

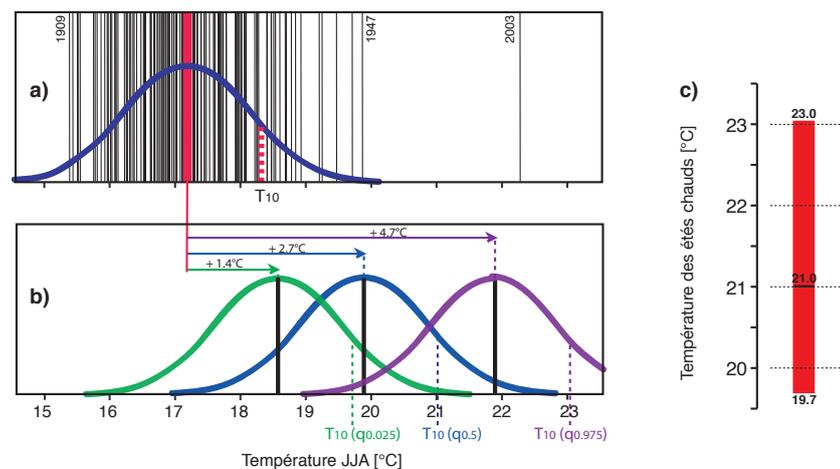


Figure 7:  
a) Distribution des températures d'été de 1864 à 2003 et b) en 2050. c) La température de l'été le plus chaud d'une décennie augmente aussi avec les changements climatiques.

Partant du présent scénario climatique, il est possible d'évaluer sommairement les changements d'autres grandeurs climatiques. Voici quelques exemples.

### Etés caniculaires

Le scénario climatique indique que le réchauffement sera particulièrement marqué en été. Qu'est-ce que cela signifie pour la température d'étés très chauds?

La figure 7a présente les températures moyennes d'été de 1864 à 2003 dans les vallées du versant nord des Alpes. La distribution de probabilité y relative (courbe bleue) correspond à une moyenne  $T_M = 17.2^\circ\text{C}$  (ligne rouge). Un été torride, tel qu'il se produit en moyenne une fois tous les dix ans, est plus chaud que  $T_{10} = 18.3^\circ\text{C}$ .

Avec le réchauffement, la distribution de probabilité des températures moyennes d'été se décale jusqu'en 2050 (figure 7b) et la température de l'été le plus chaud d'une décennie augmente. En 2050, un été sur dix sera plus chaud que  $21^\circ\text{C}$  dans le cas le plus probable, que  $19.7^\circ\text{C}$  dans l'hypothèse d'un très faible réchauffement et que  $23^\circ\text{C}$  dans le cas d'un très fort réchauffement.

Cette évaluation repose sur l'hypothèse simplificatrice que les changements climatiques n'ont pas d'influence sur la forme de la distribution (variabilité année par année) des températures d'été. Si la variabilité devait augmenter du fait des changements climatiques, comme la plupart des modèles du climat le suggèrent<sup>9,10</sup>, la fréquence des étés extrêmement chauds s'accroîtra nettement plus vite et plus fort.

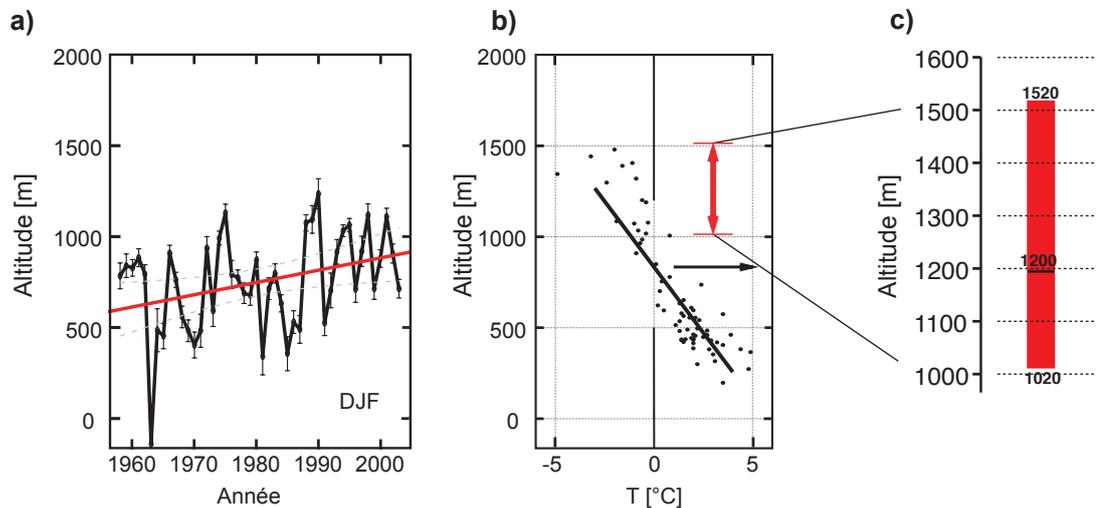


Figure 8: a) Evolution temporelle de l'altitude moyenne de l'isotherme de 0 °C pendant les mois d'hiver (DJF) de 1958 à 2003. Le calcul est basé sur 67 mesures homogénéisées de la température du sol. La ligne rouge indique une tendance linéaire, la ligne traitillée l'incertitude correspondante (intervalle de confiance de 95%). b) Distribution verticale des températures moyennes d'hiver mesurées dans des stations de MétéoSuisse de 1959 à 1997. L'actuelle isotherme de 0 °C se situe aux environs de 840 m d'altitude. c) D'ici 2050, l'isotherme de 0 °C montera d'env. 360 m pour atteindre l'altitude de 1300 m (fourchette entre 1020 et 1520 m d'altitude).

### Isotherme de zéro degré en hiver

L'élévation de la température entraîne celle de l'isotherme de zéro degré en hiver. Celle-ci correspond à peu près à la limite des chutes de neige. La figure 8a montre l'évolution de l'isotherme de zéro degré pendant les mois d'hiver de 1958 à 2003. Pendant cette période, elle a passé d'environ 600 m pendant les années 1960 à quelque 900 m pendant les années 1990 (à peu près 200 m par degré de réchauffement).<sup>12</sup>

La distribution verticale des températures moyennes d'hiver jusqu'à 1500 m d'alt. est présentée à la figure 8b (points noirs). La droite de régression (ligne noire) indique le refroidissement moyen avec l'altitude en hiver. Elle coupe la ligne de 0 °C vers 840 m d'alt., ce qui correspond à l'altitude moyenne de l'isotherme de zéro degré pendant la période d'observation. Si l'élévation observée (fig. 8a) se poursuit à l'avenir, l'isotherme du zéro degré montera jusqu'en 2050 d'environ 360 m dans le cas d'un réchauffement moyen (+1.8 °C en hiver), 180 m dans celui d'un faible réchauffement (+0.9 °C) et 680 m en cas de fort réchauffement (+3.4 °C) (figure 8c).

### Recul des glaciers

La transformation la plus frappante dans les Alpes, consécutive aux changements climatiques, sera le recul des glaciers. La fig. 9 présente des modélisa-

tions de l'amenuisement des glaciers en comparaison de la période de référence 1971–1990.<sup>13</sup> Ces calculs ont été effectués pour un réchauffement entre +1 et +5 °C en été et une modification des précipitations annuelles entre -20% et +30%.

Selon le scénario climatique utilisé ici, la superficie des glaciers des Alpes diminuera de trois quarts environ d'ici 2050 par rapport à la période de référence dans l'hypothèse d'un réchauffement moyen (fig. 9b). La perte de surface sera d'à peu près 50% si le réchauffement est modeste, et d'environ 90% s'il est fort. Les pertes relatives seront moindres pour les grands glaciers et plus importantes pour les petits que le changement moyen évalué. Nombre de petits glaciers vont probablement disparaître.

### Recul du pergélisol

Le réchauffement du sous-sol gelé en permanence en haute montagne est un processus lent qui a des effets à long terme. Pour le réchauffement décrit dans le présent scénario, le dégel d'éboulis riches en glace, situés entre 2000 et 3000 m d'alt. sur des pentes à l'ombre, aura lieu plus en profondeur, mais ne sera total que par endroits. Le réchauffement de parois de rocher gelées, qui a atteint une épaisseur d'une cinquantaine de mètres du fait de l'augmentation de la température au 20e siècle, pénétrera plus en profondeur et conduira

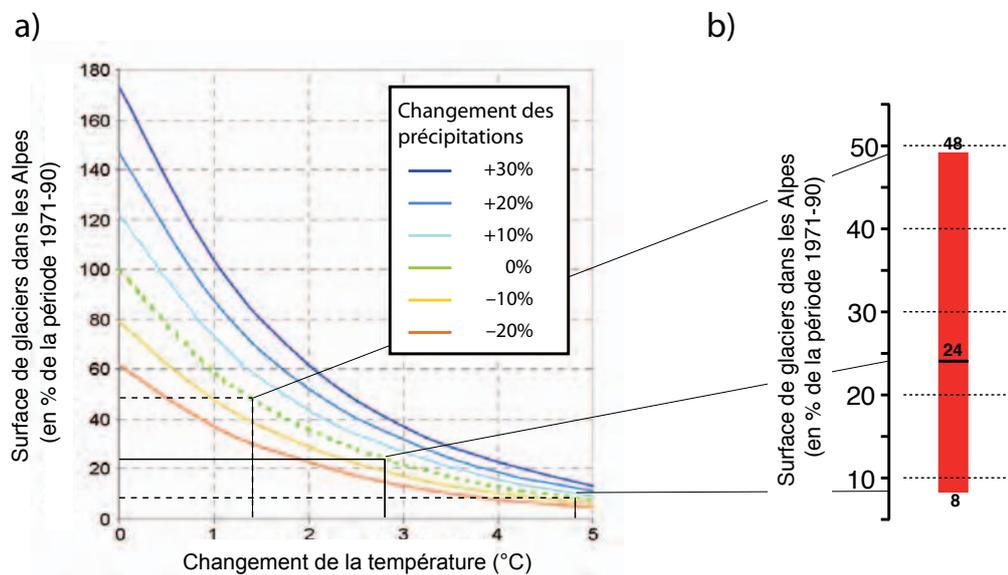


Figure 9: a) Changement du degré de glaciation des Alpes pour une augmentation de la température d'été de +1 à +5 °C et un changement des précipitations annuelles entre -20% et +30%. b) Selon le scénario, le degré de glaciation diminuera des trois quarts environ d'ici 2050.

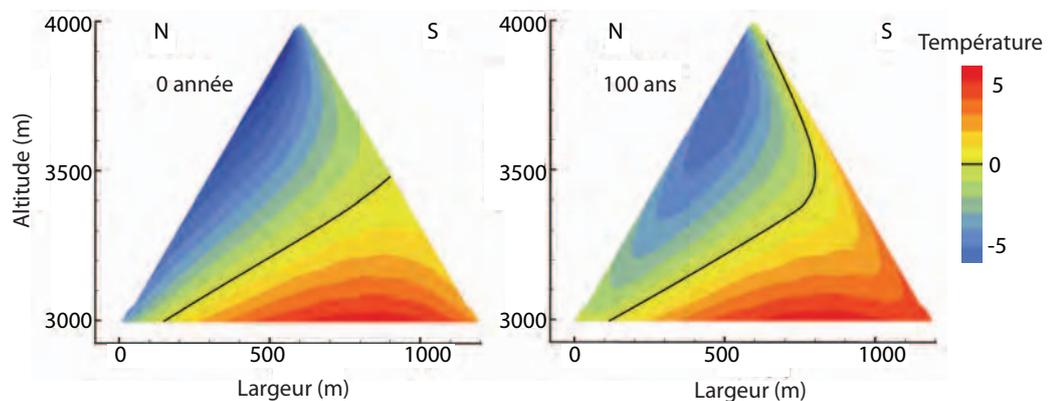


Figure 10: Réchauffement du pergélisol dans une montagne idéalisée (modélisation, diffusion thermique pure).<sup>14</sup> Le pergélisol subsiste longtemps dans le sous-sol et peut être présent en des endroits dont la surface n'est plus soumise à des conditions climatiques correspondantes. Au sommet et le long des arêtes, la chaleur pénètre de plusieurs côtés. Vu que la chaleur se propage très lentement dans le sous-sol, ce processus durera des siècles.

à des déséquilibres thermiques prononcés. De tels effets sont particulièrement marqués sur les sommets et les arêtes, étant donné que le réchauffement peut y accéder de différents côtés.

### Eboulements

Depuis le milieu des années 1980, cinq grands éboulements de plus de 1 million de m<sup>3</sup> se

sont produits dans les Alpes: Valteline 1987, Randa 1991, Mont-Blanc versant Brenva 1997, Thurwiserspitze/Ortler 2004, Eiger 2006. Les trajectoires des éboulements se sont prolongées en partie bien au-dessous de la limite des forêts (Valteline, Randa, Mont-Blanc) et ont touché, sauf dans le cas de l'Eiger, des régions touristiques équipées (routes, pistes de ski, chemins

pédestres). La relation avec les glaciers et le pergélisol est démontrée dans trois de ces cas (Mont-Blanc, Ortler, Eiger); dans les deux autres, elle est probable (Valtelline) ou possible mais incertaine (Randa).

La stabilité de parois de rocher en haute montagne (avant tout au-dessus de la limite des forêts) dépend en premier lieu de leur constitution géologique, de l'inclinaison de leur surface, des événements antérieurs et des conditions glaciologiques (étayage par un glacier, systèmes de fractures remplies de glace dans le pergélisol). Chaque éboulement a sa combinaison spécifique de facteurs. Mais ce sont les conditions glaci-

logiques qui se transforment le plus vite en ce moment et sont par conséquent des facteurs essentiels. Des conditions critiques résultent en particulier de la disparition de glaciers de vallées (perte d'étayage) et du réchauffement du pergélisol (existence de mélanges de roche, glace et eau entre 0 et  $-1$  °C env.). Le recul croissant des glaciers, la progression du réchauffement de pentes pergélisolées qui étaient froides jusqu'ici et des perturbations thermiques atteignant de plus grandes profondeurs dans des parois gelées devraient accroître tant la fréquence des éboulements que la probabilité d'événements de grande ampleur.

## 4. Impacts des changements climatiques sur le cycle de l'eau

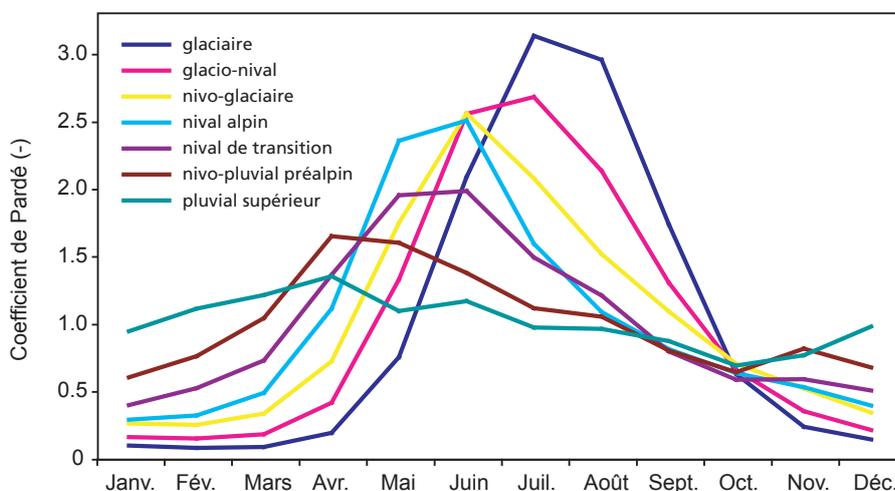


Figure 11: Régimes d'écoulement moyens de bassins versants suisses de différentes altitudes. Leur spectre s'étend du régime qui dépend principalement de la pluie (pluvial supérieur, altitude moyenne de 800 m) jusqu'au régime qui est avant tout déterminé par les glaciers (glacière, 2700 m d'alt.). La différence d'altitude entre les différents régimes est d'environ 300 m. Le coefficient de Pardé est le rapport du régime mensuel moyen sur le régime annuel moyen. (glacière: déterminé par les glaciers; nival: déterminé par la neige; pluvial: déterminé par les précipitations).

Les systèmes hydrologiques – ruisseaux, rivières, petits et grands lacs, eau souterraine dans des pores, des fissures ainsi que des aquifères, et bien sûr aussi les grands réservoirs d'eau alpins tels que la neige, les névés et les glaciers – font partie du cycle de l'eau. Celui-ci relie l'atmosphère, le sol, la végétation et les systèmes hydrologiques par le biais de l'évapotranspiration et des précipitations. Il est déterminé par – et inversement influe sur – le climat et la météo. L'être humain

intervient dans ce cycle régulateur extrêmement complexe: il retient de l'eau dans des bassins d'accumulations et des réservoirs ou la dévie vers d'autres bassins versants, irrigue des aires agricoles sur de vastes surfaces, assèche des zones humides et abaisse ou rehausse le niveau des aquifères.

Les écoulements vont indirectement de pair avec les précipitations. Si l'évapotranspiration est relativement constante, ils suivent les variations

des précipitations durant des années. Mais une faible part seulement des précipitations s'écoule directement; la majeure partie est stockée par exemple dans le manteau neigeux et les glaciers, dans le sol, dans les aquifères et dans des lacs naturels et artificiels. A court terme, l'eau libérée par ces réservoirs influence l'écoulement.

Partant du degré de glaciation et de l'importance du manteau neigeux, différents types d'écoulement peuvent être définis qui présentent des caractéristiques saisonnières différentes. La figure 11 présente un choix de ces types d'écoulement. Les cours d'eau alimentés principalement par la fonte des glaciers et de la neige (type glaciaire) connaissent les plus fortes fluctuations de débit. Leur débit mensuel moyen peut facilement varier d'un facteur 30 entre l'hiver et l'été. Les fluctuations de débit les plus faibles sont celles des cours d'eau qui dépendent essentiellement de la pluie (type pluvial supérieur).

Selon le scénario climatique utilisé ici, il faut compter d'ici 2050 avec les changements suivants du cycle de l'eau:

- En raison du réchauffement, moins de précipitations tomberont sous forme de neige aux altitudes basses et moyennes. Un réchauffement moyen fera monter d'environ 360 m la limite des neiges qui sépare les zones recouvertes de neige des domaines situés à plus basse altitude (cf. paragraphe 3).
- Sur le Plateau, la fréquence et l'ampleur des crues augmenteront en hiver dans les bassins versants de faible et moyenne étendue. Des raisons à cela seront une part croissante de précipitations sous forme de pluie au lieu de neige aux faibles et moyennes altitudes et une hausse des fortes précipitations (cf. paragraphe 2).
- La superficie de glaciers diminuera en gros des trois quarts dans les Alpes d'ici 2050 dans le cas d'un réchauffement moyen (paragraphe 3, figure 9). Cette estimation sommaire est en accord avec des études antérieures<sup>15</sup>, selon lesquelles un réchauffement de 2,7 °C en été ferait monter de 400 m la ligne d'équilibre des glaciers.
- L'évapotranspiration continuera en général d'augmenter du fait du réchauffement. Le sol devenant plus sec, l'évapotranspiration pourrait se limiter dans l'espace et dans le temps et diminuer.
- Du fait de la diminution du volume des précipitations et de l'augmentation de l'évapotranspiration, le volume d'écoulement annuel baissera, surtout dans le Sud, mais aussi dans le Nord. Ceci en dépit de l'excédent temporaire d'eau provenant de la fonte des glaciers. En été, l'humidité du sol pourra être réduite durant de longues périodes (en particulier pendant l'arrière-été et l'automne dans le Sud, mais aussi dans le Nord). Les périodes de sécheresse affecteront davantage les cours d'eau petits et moyens du Plateau et du sud du Tessin. De surcroît, les périodes de sécheresse pourraient être plus nombreuses pendant l'arrière-été aussi dans les régions où les glaciers auront disparu.
- Les aquifères se reconstitueront plus difficilement en été et en automne dans les régions dépourvues de glaciers.
- A une certaine altitude, suite aux changements affectant le cycle de croissance et décroissance du manteau neigeux, à l'élévation de la limite des neiges et à la fonte des glaciers, les régimes d'écoulement (fig. 11) se décaleront vers le bas d'environ un degré sur l'échelle des régimes.

## Bibliographie et notes

- 1 IPCC (Hg.). *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- 2 C. Schär, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M. A. Liniger, and C. Appenzeller. The role of increasing temperature variability for European summer heat waves. In: *Nature*, 427, 2004, 332–336.
- 3 J. Schmidli, C. Schmutz, C. Frei, H. Wanner, and C. Schär. Mesoscale precipitation in the Alps during the 20th century. In: *Int. J. Climatol.* 22, 2001, 1049–1074.
- 4 J. Schmidli, C. Frei. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. In: *Int. J. Climatol.*, 25, 2005, 753–771.
- 5 T. M. L. Wigley, S. C. B. Raper. Interpretation of high projections for global-mean warming. In: *Science*, 293, 2001, 451–454.
- 6 C. Frei. *Die Klimazukunft der Schweiz – Eine probabilistische Projektion*. 2004. ([www.occc.ch/Products/CH2050/CH2050-Scenarien.pdf](http://www.occc.ch/Products/CH2050/CH2050-Scenarien.pdf)).
- 7 J. H. Christensen, T. Carter, and F. Giorgi. PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. In: *EOS*, 82, 147, 2002.
- 8 OcCC (Hg.). *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, 2003.
- 9 C. Frei, C. Schär. Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. In: *J. Clim.*, 14, 2001, 1568–1584.
- 10 S. I. Seneviratne, D. Luethi, M. Litschi, and C. Schär. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. In: *Nature*, 443, 2006, 205–209.
- 11 C. Frei, R. Schöll, J. Schmidli, S. Fukutome, and P.L. Vidale. Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. In: *J. Geophys. Res.*, 111, 2006, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- 12 S. C. Scherrer, C. Appenzeller. Swiss Alpine snow pack variability: major patterns and links to local climate and large-scale flow. In: *Climate Research*, 32, 2006, 187–199.
- 13 M. Zemp, W. Haeberli, M. Hoelzle, and F. Paul. Alpine glaciers to disappear within decades? In: *Geophys. Res. Lett.*, 33, 2006, L13504, doi:10.1029/2006GL026319.
- 14 J. Noetzli, S. Gruber, T. Kohl, N. Salzmann, and W. Haeberli (2007). Three-dimensional distribution and evolution of permafrost temperatures in idealized high-mountain topography. *Journal of Geophysical Research* (submitted).
- 15 M. Maisch, A. Wipf, B. Denneler, J. Battaglia und C. Benz. *Die Gletscher der Schweizer Alpen – Gletscherhochstand 1850, aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien*. Zürich: vdf Hochschulverlag, 1999.



# Ecosystèmes terrestres

## Auteurs

Christian Körner, présidence

Botanisches Institut, Université de Bâle

Nina Buchmann

Institut für Pflanzenwissenschaften, EPF de Zurich

Harald Bugmann

Departement für Umweltwissenschaften, EPF de Zurich

Peter Duelli

WSL Birmensdorf

Erika Hiltbrunner

Botanisches Institut, Université de Bâle

Gabriele Müller-Ferch

Rédaction, ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles

Jürg Paul Müller

Naturmuseum, Coire

Otto Wildi

WSL Birmensdorf

Roman Zweifel

WSL Birmensdorf



## 1. Introduction

### Situation

A quoi ressemblera le paysage dans lequel vivront nos enfants et petits-enfants en 2050? Quelles tendances discernons-nous aujourd'hui et comment notre paysage et ses prestations se modifieront-ils si l'évolution actuelle se poursuit, voire s'accélère? Le présent rapport est, comme toutes les projections dans le futur, une évaluation sur la base du savoir actuel, une tentative de fournir une image aussi plausible que possible.

Les aspects suivants comptent parmi les plus importants facteurs d'influence auxquels les écosystèmes sont soumis aujourd'hui:

- les changements dans l'utilisation du sol par l'être humain
- les modifications de la composition de l'atmosphère (CO<sub>2</sub>, composés d'azote)
- les changements climatiques (réchauffement, changements du régime des précipitations, tempêtes)
- l'accumulation de substances actives dans l'environnement (pesticides, hormones, substances réactives générales).

Les conséquences possibles sont:

- la perte de diversité biologique et de biocénoses entières
- des modifications des formes de couverture du sol (forêt, champ, herbage, site construit etc.)
- la perte de substance et de qualité du sol
- des modifications de l'utilité écosystémique pour l'être humain.

Chaque évaluation de l'évolution future des ressources naturelles d'un pays commence nécessai-

rement par une considération de l'état actuel et de son développement historique. Dans le cas des écosystèmes terrestres (les systèmes aquatiques sont traités au chapitre Economie des eaux), le meilleur point de départ est la répartition des surfaces des différentes formes de couverture du sol au cours du temps. Chose étonnante, des données à ce sujet n'existent pas encore depuis très longtemps.

Les premières vagues évaluations de la surface de forêt en Suisse remontent à 1840. A l'époque, des flancs entiers de montagne étaient coupés à blanc. La première loi sur les forêts, qui date de 1876, a limité ces déboisements effrénés et suscité la réalisation des premiers inventaires des forêts. Plus tard, l'intérêt s'est porté avant tout sur les ressources dont on avait besoin dans l'immédiat. C'est ainsi que pendant les grandes guerres, on s'est préoccupé du potentiel de la production agricole indigène et des surfaces se prêtant à cet usage. Les méthodes utilisées à cet égard ne sont pas restées tout le temps les mêmes. Il est par exemple très difficile de définir ce qui est une forêt et ce qui ne l'est pas. Les bosquets, les zones de chablis ou les jeunes peuplements en train de pousser sur d'anciens pâturages en font-ils partie ou non? La figure 1 présente une estimation, à partir de sources historiques, de l'évolution dans le temps des différentes formes de couverture du sol depuis 1900.

La première statistique de la superficie de la Suisse, basée sur des vues aériennes et donc relativement précise, a été réalisée dans les années 1979-1985, une autre remonte à la période 1992-1997. Une troisième mise à jour est en travail depuis 2005 (elle sera terminée d'ici 2013). Le

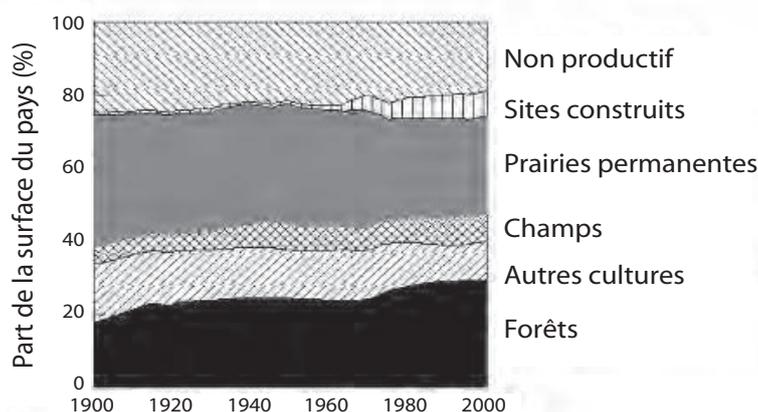


Figure 1:  
Estimation de l'évolution des formes de couverture du sol en Suisse de 1900 à 2000.<sup>1</sup>

Tableau 1: Formes de couverture du sol en Suisse. 74 catégories de base ont été regroupées en quatre catégories principales.

Catégories d'utilisation du sol et de structures	Surface en ha (% de la surface totale)		Changements entre les inventaires	
	1979–1985	1992–1997	Ha	% (100%=1979/85)
Surface urbanisée et de transport	246'098 (5.97%)	278'772 (6.76%)	32'674	+13.3
Surface agricole	1'572'091 (38.15%)	1'523'930 (36.98%)	-48'161	-3.1
Forêts et formations arbustives	1'252'815 (30.40%)	1'269'825 (30.81%)	17'010	+1.4
Surfaces non productive et végétation <sup>a)</sup>	1'050'044 (25.48%)	1'048'521 (25.45%)	-1'523	-0.1

<sup>a)</sup> Les écosystèmes humides (surfaces selon inventaires) sont compris dans cette catégorie (données de surface selon les inventaires fédéraux pour la protection des hauts- et bas-marais).

tableau 1 montre les changements entre la première et la seconde statistique de la superficie.

Des quelque 41'290 km<sup>2</sup> que compte la surface de la Suisse, la plus grande part, soit 38.1%, revenait à l'agriculture à l'époque de la première enquête (1979–1985). Les forêts et autres surfaces boisées représentaient 30.4% de la superficie du pays. A peine 6% étaient occupés par l'habitat humain, l'industrie et les surfaces de transport, 25.5% étaient des surfaces dites 'non productives': rochers, glaciers, lacs, cours d'eau. On peut dire en gros qu'au cours de ces douze années (1992–1997), la surface de forêts et la surface urbanisée ont augmenté d'environ 1.2% au détriment de l'agriculture; cependant, cette tendance s'est considérablement renforcée dans la période la plus récente. Lors de la seconde enquête, les surfaces boisées couvraient en gros 31% de la superficie du pays. La plus forte augmentation est à relever dans la forêt buissonnante des Alpes. Le pourcentage apparemment faible de la perte en surfaces agricoles ne doit pas masquer le fait qu'il représente en réalité une disparition considérable de terres cultivées (3% correspondent à la „disparition“ du canton d'Obwald).

Les prairies et pâturages ont cédé la place à la forêt dans les terrains à productivité limitée et à l'urbanisation avant tout dans le secteur de l'agriculture à haut rendement; la surface occupée par l'urbanisation et dédiée aux transports a augmenté de 13.3% en seulement douze ans. Pendant cette période, l'urbanisation et les surfaces de transport ont absorbé 7.5 ha par jour de surface agricole.

Dans la suite de ce chapitre, tous les scénarios et réflexions sont à considérer sur cet arrière-plan. En termes de superficie, l'importance de la forêt augmente, celle des herbages diminue, tandis qu'en haute montagne, la glace libère de vastes surfaces. L'évolution de l'espace urbain et de l'agriculture est présentée dans des chapitres spécifiques. Le présent chapitre, consacré aux écosystèmes terrestres, traite:

- des écosystèmes forestiers
- des prairies et pâturages (herbages utilisés extensivement)
- des biotopes humides (marais, zones alluviales, rives).

Les influences sur la faune seront abordées comme thème commun à toutes les formes de couverture du sol.

Nous examinerons rapidement les développements historiques qui ont conduit à la situation actuelle, pour nous tourner ensuite vers l'avenir. Nous mettrons l'accent sur la température et les précipitations comme grandeurs climatiques et nous ferons chaque fois la distinction entre l'évolution continue et les événements extrêmes. Le texte est subdivisé en trois paragraphes:

- biodiversité (perte d'espèces, perte d'habitat, interactions biotiques)
- dangers naturels et sécurité des espaces vitaux (érosion, inondations, instabilité des pentes)
- utilité et produits des écosystèmes (bois, alimentation, puits de carbone)

### Tour d'horizon

La composition des écosystèmes se modifiera à long terme en Suisse, car les espèces qui les constituent réagiront différemment aux changements climatiques. Beaucoup de ces modifications seront irréversibles. D'une part, des espèces qui existaient jusqu'ici disparaîtront, d'autre part, des espèces végétales et animales étrangères immigreront de régions plus chaudes. La flore et la faune de la Suisse se rapprocheront ainsi encore davantage de celles de régions de plus basse altitude et plus méridionales. Les espèces qui, dans les Alpes, sont adaptées à un climat frais devront se déplacer à plus haute altitude. Mais là, elles ne disposeront que d'une aire limitée en raison de la topographie; dans les cas extrêmes, leur biotope disparaîtra complètement. Les espèces ne disposant que de peu de possibilités de se propager seront particulièrement touchées par le réchauffement. Tant les changements climatiques que l'utilisation du sol auront des impacts sur la biodiversité durant les cinquante prochaines années.

La résistance de la végétation et, partant, la sécurité de nos espaces vitaux peuvent être renforcées par une grande diversité d'espèces et un souci de durabilité dans l'utilisation des écosystèmes naturels. Des événements extrêmes plus nombreux peuvent perturber gravement les écosystèmes à l'échelon local, au point de faire perdre à ces derniers, au moins temporairement, leur effet protecteur. Les changements moyens jusqu'en 2050, tels qu'ils ressortent des modélisations, ne mettront toutefois pas substantiellement en danger la sécurité des espaces vitaux en Suisse.

Les écosystèmes terrestres ne remplissent pas seulement d'importantes fonctions telles que la protection contre des dangers naturels, mais ils fournissent aussi des produits significatifs pour l'économie, comme du bois, des denrées alimentaires et de l'eau propre. A l'avenir, ces avantages pâtiront avant tout d'effets combinés, p.ex. du cumul de températures élevées et de faibles précipitations. La productivité des forêts et des prairies permanentes se modifiera sensiblement: à haute altitude, elle augmentera du fait du réchauffement, à basse altitude, elle souffrira de la sécheresse estivale. La pénurie d'eau en été en cas de températures élevées – comme par exemple en 2003 et, dans une plus faible mesure, en

juillet 2006 – limitera fortement la productivité. Pendant les années suffisamment humides, le réchauffement pourra conduire à un prolongement de la période de croissance, encore que le rythme de développement génétiquement défini de nombreux fruits de la terre de même que de la flore indigène ne laisse que peu de marge à cet égard (<2 semaines).

La disponibilité en eau prendra à l'avenir encore plus d'importance qu'aujourd'hui, ceci concernant avant tout les sites en vallées et le pays collinaire. L'exploitation des écosystèmes terrestres devra s'adapter aux nouvelles conditions environnementales. Les sites en altitude reprendront de l'importance comme surfaces de compensation pour la production animale.

### Lien avec d'autres thèmes

#### Economie des eaux

- Niveau des eaux souterraines, besoins en eau d'irrigation pour les prairies permanentes.
- Pertes de production dues au manque d'eau.

#### Agriculture

- Conflits relatifs à l'utilisation de l'eau, procédés culturels hautement mécanisés et évent. recours accru aux engrais et pesticides.
- Redécouverte de l'espace alpin comme zone d'exploitation.

#### Energie

Qualité des bassins versants des centrales hydrauliques (stabilité des pentes, érosion).

#### Santé

- Immigration d'espèces étrangères (néophytes) (p.ex. *Ambrosia artemisiifolia*) qui peuvent provoquer des allergies et de l'asthme.
- Situations défavorables comme conséquence de l'augmentation des dangers naturels.

#### Tourisme

Détérioration des protections naturelles dans les Alpes.

#### Assurances

Mise en question de la couverture d'assurance en cas de disparition de l'effet protecteur d'écosystèmes terrestres à la suite de conditions météorologiques extrêmes (sécurité des espaces vitaux).

## 2. Biodiversité

**La Suisse comme espace vital est fortement déterminée par sa structure étagée qui a conduit à la formation de ceintures de végétation. Un réchauffement climatique entraînera un déplacement de ces ceintures à plus haute altitude. Mais la composition en espèces à l'intérieur des ceintures se modifiera aussi. Ce qui ira de pair, avant tout en basse altitude, avec la disparition d'espèces qui s'y trouvaient jusqu'ici et l'immigration d'espèces végétales et animales étrangères à partir de régions plus chaudes.**

Bien que la Suisse soit relativement petite avec une superficie de quelque 41'290 km<sup>2</sup> et qu'elle ne confine pas à la mer, raison pour laquelle elle ne possède pas la flore et la faune variées des régions côtières, elle atteint néanmoins un nombre d'espèces semblable à maints pays européens beaucoup plus grands. Elle doit cette relativement grande biodiversité à son gradient d'altitude élevé, à sa diversité géologique, à la riche structure de ses régions rurales cultivées longtemps de façon traditionnelle et à son grand nombre de biotopes naturels.

Les ceintures de végétation de la Suisse traduisent la réaction de la flore et de la faune aux différents niveaux d'altitude. Ces étages sont caractérisés chacun par des climats et formes de terrain spécifiques. Alors que la topographie ne se modifiera guère à court terme, les ceintures climatiques tendront à se déplacer à plus haute altitude sous l'effet d'un réchauffement. Il en résultera une

nouvelle combinaison de topographie et climat. La question du déplacement et de la transformation des ceintures de végétation est donc de première importance pour les autres changements. Ne serait-ce déjà que par leur taille relativement grande, les *vertébrés* sont fortement dépendants de l'utilisation et organisation des espaces vitaux ainsi que de leur exploitation directe (chasse, lutte contre les parasites, etc.) par l'être humain. Cette situation masquera dans une large mesure les effets des changements climatiques – il en sera de même pour les invertébrés. Il est probable, notamment en ce qui concerne les animaux mobiles (p.ex. les oiseaux), que la question des immigrations à partir de régions plus chaudes restera encore longtemps d'actualité. La tendance, déjà observée actuellement, selon laquelle des espèces connues autrefois comme oiseaux migrateurs passent l'hiver en Suisse du fait du climat favorable, devrait se poursuivre à l'avenir.

### Evolution jusqu'à aujourd'hui

**Depuis la dernière glaciation, des espèces n'ont cessé d'immigrer naturellement de régions plus chaudes vers la Suisse. Dans les régions urbanisées de basse altitude, cette immigration s'est accélérée en vertu d'influences anthropiques, tandis qu'en altitude, les écosystèmes ne se sont modifiés que lentement.**

Une grande partie de la faune et de la flore des villes et des cours d'eau est constituée aujourd'hui déjà d'espèces étrangères. L'immigration d'espèces animales étrangères peut se faire très rapidement étant donné leur mobilité. Dans le cas des vertébrés, l'être humain a presque toujours joué un rôle central. La propagation d'espèces étrangères est le résultat de déplacements, intentionnels ou non, lors de transports de marchandises.

Que les ceintures de forêts, qui constituent l'étage dominant, se déplacent à plus haute altitude sous l'effet d'un réchauffement général est incontesté<sup>2</sup> et démontré pour l'évolution tardi- et postglaciaire<sup>3</sup>. On admet que ce déplacement peut durer très longtemps et la distribution actuelle des espèces d'arbres mettre des siècles à s'adapter à de nouvelles conditions. Les quelques déplacements

d'espèces observés dans le secteur de la limite des arbres indiquent par ailleurs que de telles réactions se déroulent particulièrement lentement en haute altitude.<sup>4</sup>

Le nombre d'espèces augmente en Suisse en raison de l'immigration permanente d'espèces étrangères depuis l'époque glaciaire. Du fait du réchauffement et de la mobilité croissante des êtres humains, cette tendance s'accélérera encore (fig. 2). Les nouvelles espèces pénètrent toutefois rarement ou avec un grand retard dans la végétation indigène existante et se trouvent principalement dans des biotopes perturbés.

Pour diverses raisons, davantage d'espèces indigènes disparaissent – soit qu'elles ne supportent pas le réchauffement, qu'elles soient supplantées par les nouvelles arrivées ou submergées par des espè-

ces indigènes plus dominantes. Ce dernier cas se présente p.ex. pour les forêts, où la plupart des espèces d'arbres ont vu leur croissance s'accélérer pendant les deux cents années passées en même temps que leur exploitation reculait (fig. 3). Ceci a conduit à des populations végétales plus denses

et, partant, à un recul des espèces recherchant la lumière. Une évolution similaire a été observée dans les zones humides d'altitude moyenne: elles n'ont guère changé du fait de la diminution des précipitations, mais ont réagi à un apport plus important de substances nutritives.

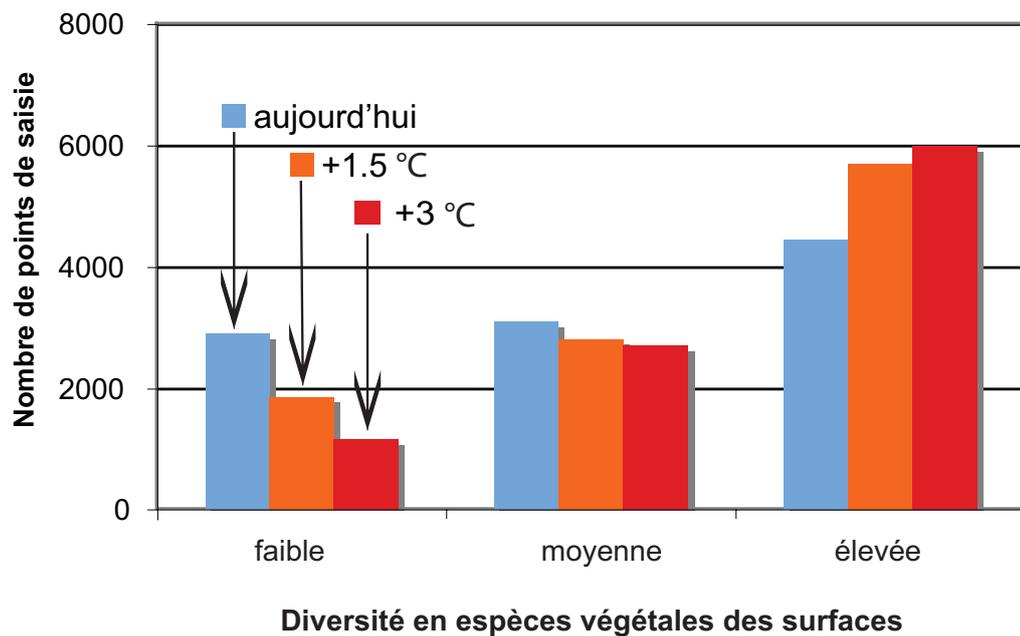


Figure 2: Changements pronostiqués du nombre d'espèces végétales dans les forêts de Suisse du fait des changements climatiques (étude de simulation, simplifiée)<sup>5</sup>. Une hausse de la température et une légère augmentation simultanée des précipitations (+15% dans le modèle; selon les prévisions actuelles de l'OcCC les précipitations diminueront) entraîne une réduction du nombre de surfaces pauvres en espèces et une augmentation de celles riches en espèces. Les points de saisie sont des échantillons aux intersections du réseau kilométrique de la Suisse à l'intérieur des aires de forêt. Le nombre d'espèces se réfère à des surfaces de 200 m<sup>2</sup>.

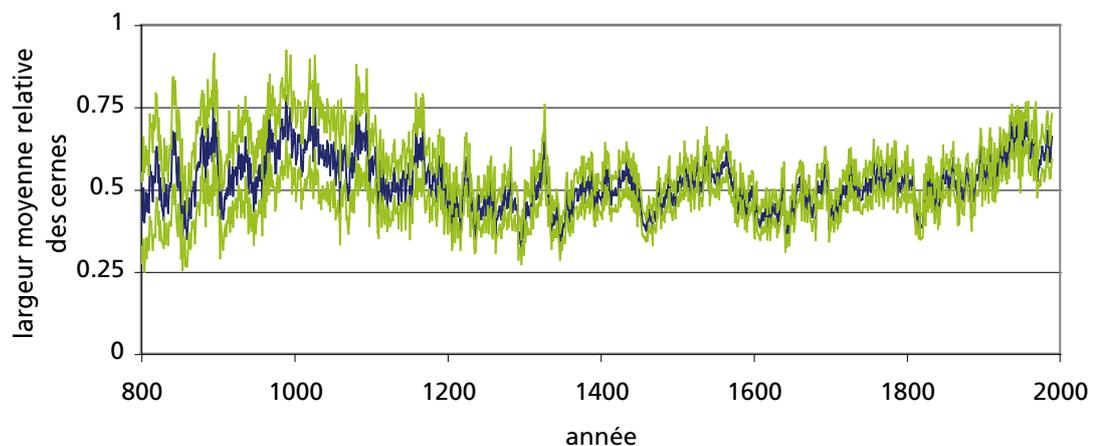


Figure 3: Accroissement radial moyen des espèces d'arbres poussant naturellement dans les Alpes jusqu'en 1993.<sup>6</sup> Depuis 1816, la largeur des cernes augmente constamment. Les fortes fluctuations (incertitudes) avant 1200 sont attribuées au manque d'échantillons de bois aussi anciens (faible statistique). Ligne violette: moyennes. Lignes vertes: écarts types.

## Avenir

**Tant les changements climatiques que l'utilisation du sol auront des impacts sur la biodiversité durant les cinquante prochaines années. De façon générale, la flore et la faune se rapprocheront plus fortement de celles de régions plus méridionales et de plus haute altitude. Combien d'espèces disparaîtront ou immigreront est difficile à estimer.**

L'immigration d'espèces étrangères en Suisse s'accéléra fortement pendant les cinquante prochaines années en raison de la montée rapide de la température. Suite aux changements climatiques, la flore et la faune se rapprocheront encore davantage de celles de régions plus méridionales et de plus basse altitude. Du fait du commerce (p.ex. plantes ornementales) et de la mobilité de la population, des espèces animales et végétales parviennent du monde entier en Suisse (on parle de néozoaires et de néophytes). Nombre d'espèces immigrées n'ont pas d'ennemis ou de maladies ici pour le moment et tendent à proliférer.

perceptibles qu'aujourd'hui quand bien même ils ont eu lieu il y a une centaine d'années (p.ex. la structure d'âges des forêts, l'abandon du pacage en forêt, l'augmentation des effectifs de gibier). Ainsi, suivant les connaissances actuelles, la biodiversité subira l'influence non seulement du climat, mais aussi avant tout de l'évolution de l'utilisation du sol. Du fait de la politique agricole et forestière libéralisée, l'exploitation du sol devrait se concentrer dans les zones favorables des vallées (agriculture) et les forêts aisément accessibles. Des prix de l'énergie en hausse pourraient inverser cette tendance à l'avenir, le bois devenant



Figure 4: Depuis les années 80, la mante religieuse immigre du sud-ouest (Jura) et de l'Alsace vers la Suisse septentrionale. En été 2006, des œufs de cet insecte ont été trouvés dans une clairière du Fricktal (AG).  
(Source: Peter Duelli, WSL)

Pour la plupart des écosystèmes, la période jusqu'en 2050 est très courte, aussi la tendance générale au réchauffement induira-t-elle une disparité entre les besoins en matière de climat et le climat réel du site. Ceci entraînera un déplacement progressif dans l'inventaire de la végétation existante et de la faune. Certaines espèces seront stimulées, d'autres entravées. Les changements en cours de l'utilisation du sol, par exemple le recul de l'agriculture et de l'exploitation forestière en montagne, se superposeront à ces processus, qui auront à leur tour pour niveau sous-jacent les changements passés dans l'utilisation du sol – des changements, dont les conséquences ne sont

alors plus attractif comme source d'énergie. De nombreux vestiges de l'agriculture des siècles passés (p.ex. des éléments structurant le paysage) disparaîtront. Dans les Alpes et le Jura, les paiements directs devraient permettre à l'agriculture de se maintenir avant tout dans les régions touristiques importantes. Les forêts aussi feront l'objet d'une transition progressive de la multifonctionnalité des aires forestières, encouragée aujourd'hui, vers une subdivision de ces surfaces selon leurs fonctions prioritaires: forêts de protection et zones forestières protégées bénéficiant de subventions pour leur entretien, forêts sans exploitation commerciale du bois, forêts permettant une exploita-

tion rentable du bois. Il faut s'attendre à ce que la surface urbanisée poursuive son extension et à ce que les transports continuent de croître, ce qui ira de pair avec la disparition de surfaces proches de l'état naturel et avec la poursuite du morcellement du paysage. Les espaces vitaux des animaux et des plantes s'amenuiseront ou disparaîtront. Dans les Alpes, des espèces tributaires de la fraîcheur pour survivre seront contraintes de se retirer à plus haute altitude où, pour des raisons tenant à la topographie, elles ne disposeront que d'une surface réduite. Les ceintures de végétation ne se déplaceront donc pas seulement en hauteur, mais seront aussi limitées en surface<sup>2</sup>; à noter toutefois que la compétition entre espèces peut modifier (ralentir ou accélérer) cette tendance, avant tout pour les arbres. Les espèces végétales vivant au voisinage des cours d'eau seront les plus promptes à immigrer, ceci vers les régions les plus chaudes (cours d'eau et lacs du Tessin, le Rhin près de Bâle, le Rhône près de Genève). La propagation des espèces à plus haute altitude sera toutefois limitée par la lenteur de leur adaptation au climat. En montagne, ce seront avant tout les espèces pionnières sur sols bruts qui suivront rapidement cette tendance. Des néophytes recherchant la chaleur se propageront aussi dans les forêts, ce qui permettra à des plantes de jardin en vente dans le commerce de se diffuser dans de vastes régions du Tessin et du Plateau. Il faut s'attendre à un recul du nombre d'espèces en particulier dans les bas-marais de

Suisse – sauf en Suisse méridionale. Celui-ci se renforcera encore si les précipitations baissent et que l'étendue de ces biotopes diminue. Les hauts-marais de Suisse ont à cet égard une situation spécifique. Des températures plus élevées et des périodes sèches plus longues mettent en danger la couverture de mousse et permettent à des espèces non spécifiques des hauts-marais de pénétrer dans ces biotopes. Ceci est jugé non souhaitable, car équivalant à une restructuration de l'écosystème et du fait qu'une caractéristique des hauts-marais est précisément qu'ils sont pauvres en espèces. Les espèces concurrencées sont des spécialistes qui ne peuvent pas coloniser d'autres biotopes.

Le réchauffement portera atteinte avant tout aux espèces peu mobiles ou tributaires d'espèces peu mobiles comme ressource alimentaire ou comme hôtes. Les espèces mobiles peuvent se déplacer dans des habitats plus frais, ce qui est plus aisé en montagne qu'en plaine. Néanmoins, le réchauffement et l'évolution de l'utilisation du sol fera disparaître de nombreuses espèces avant tout dans les Alpes et le Jura. Les espèces très isolées (endémiques) et les espèces qui n'ont pas la possibilité de se déplacer à plus haute altitude sont particulièrement menacées.

Les espèces toundriques recherchant le froid (lièvre variable, lagopède) trouveront dans un premier temps davantage d'espace vital grâce à l'extension de la couverture de végétation dans les montagnes ayant un vaste étage alpin et



Figure 5: Des espèces toundriques recherchant le froid, telle que le lièvre variable, trouveront dans un premier temps davantage d'espace vital grâce à l'extension de la couverture de végétation dans les montagnes ayant un grand étage alpin et nival. Mais elles disparaîtront des crêtes de faible dimension situées à plus basse altitude. (Source: Martin Merker)  
Des espèces rupestres d'origine méridionale, telles que le bouquetin, étendront leur territoire vers les hauteurs ou l'ont déjà fait, pour autant que les montagnes soient assez hautes. Dans le cas contraire, il est probable que les populations locales disparaîtront. (Source: Thomas Jucker)

nival, mais disparaîtront sur les crêtes de faible dimension situées à plus basse altitude. Les espèces rupestres d'origine méridionale (bouquetin, tichodromes) étendront leur territoire vers les hauteurs ou l'ont déjà fait (perdreix bartavelle) (cf. fig. 5). Parmi les vertébrés aussi, les formes mobiles (oiseaux, grands mammifères) réagiront plus vite aux changements climatiques. Mais chaque déplacement de territoire à plus haute altitude implique une diminution de la surface nette, vu que la superficie diminue avec l'altitude. Des données fiables existent à cet égard au sujet des modifications des effectifs d'oiseaux. Comme le montre la figure 6, les espèces ont reculé au cours des quinze années passées dans les terres cultivées, mais ont augmenté dans les forêts – une tendance qui va dans la même direction que l'évolution des formes de couverture du sol (fig. 1, tableau 1). Des changements spectaculaires sont peu probables à court terme pour les groupes d'organismes, et se limitent à des espèces isolées. C'est ce que montre p.ex. le „Swiss Bird Index“ de

toutes les espèces d'oiseaux, qui reste à un niveau pratiquement constant (fig. 6).

Le nombre d'espèces en Suisse augmente constamment selon le bilan, malgré la disparition croissante d'espèces, parce que le nombre de celles qui immigreront est nettement plus élevé que celui des espèces qui disparaissent. L'estimation globale doit toutefois faire plus grand cas des pertes, car nombre de ces espèces disparaîtront totalement, donc dans le monde entier, alors que celles qui immigreront ont leur principale aire de répartition souvent dans l'espace méditerranéen, parfois même sur d'autres continents.<sup>7</sup>

Tout aussi important pour l'évolution de la biodiversité en Suisse est la transition, qui se dessine au niveau politique, d'une utilisation intégrative du sol (un peu de tout partout) vers une répartition territoriale ségrégative (ici des espèces protégées, là une production intensive). Cette transition est controversée tant au niveau scientifique que politique et implique un changement d'optique dans la société au sujet de cette problématique.

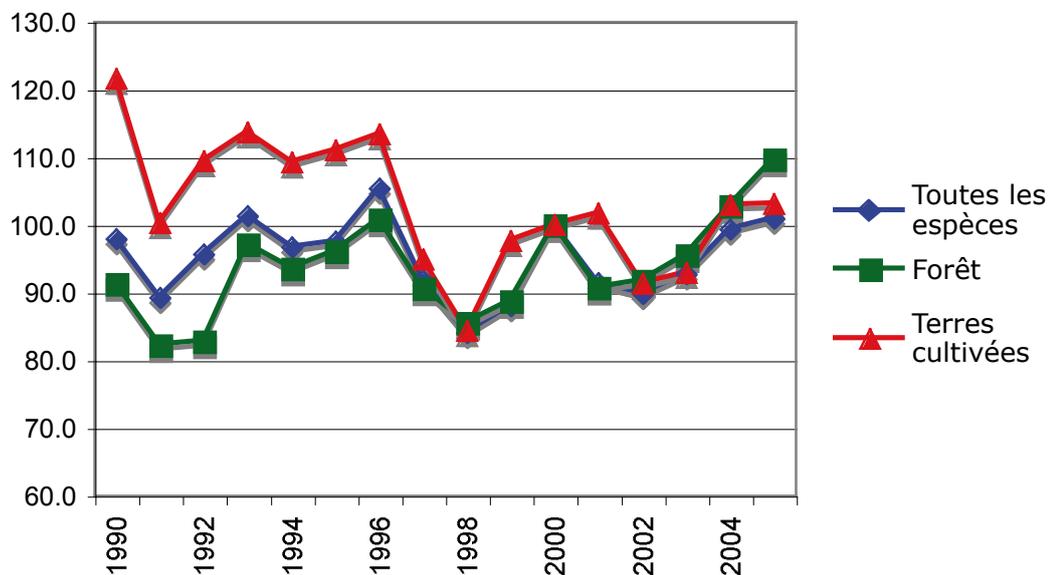


Figure 6: Evolution du „Swiss Bird Index“ (le SBI représente le nombre d'espèces d'oiseaux fidèles à leur habitat dans différents types de paysage) au cours des quinze années passées. La diversité diminue dans les terres cultivées, augmente en forêt et est constante pour la totalité des espèces d'oiseaux. (Source: © Station ornithologique suisse de Sempach)

## Mesures

**Il est difficile de réaliser des mesures directes de conservation des espèces menacées. La meilleure protection consiste à conserver l'espace vital, ce qui inclut aussi le maintien d'une utilisation du sol variée à petite échelle.**

Les mesures traditionnelles de protection des espèces et des biotopes destinées à conserver la diversité biologique conviennent aussi pour faire face à des développements futurs. Il serait souhaitable de faire coexister à grande échelle différentes utilisations du sol et la mise en œuvre sur tout le territoire (en y incluant des réserves naturelles) d'une protection et promotion ciblées des espèces, en tenant compte des spécificités régionales et culturelles.

La forte intensification de l'utilisation du territoire (agriculture, habitat et activités commerciales) a entraîné la disparition de nombreuses espèces au cours du siècle passé, laquelle n'a pas été compensée

par une extensification partielle (le plus souvent par reforestation). Combattre de telles pertes est pertinent et prioritaire aussi en relation avec les changements climatiques. La situation est moins aisée pour les espèces récemment immigrées. Parmi ces dernières, il y en a qui sont inoffensives et dont la propagation est une conséquence logique des changements environnementaux. D'autres doivent être contrôlées, s'il s'agit notamment de néophytes, néozoaires et nouveaux pathogènes agressifs qui menacent la biodiversité. Identifier ces espèces à temps est difficile et fait l'objet d'une recherche écologique.

## 3. Dangers naturels et sécurité des espaces vitaux

**Des événements extrêmes devenant plus fréquents et augmentant d'intensité peuvent perturber fortement les écosystèmes de la Suisse à l'échelon local et leur faire perdre de ce fait, au moins temporairement, leur effet protecteur. Les changements climatiques moyens à attendre d'ici 2050 selon les modèles du climat auront des effets comparativement moins prononcés sur les écosystèmes. Un danger pour la sécurité des espaces vitaux et l'intégrité des écosystèmes résulte principalement des événements extrêmes et d'une utilisation inappropriée de types sensibles de paysages (p.ex. forêts ayant une composition en espèces étrangère au site, changements dans l'exploitation de pâturages alpins, mais aussi apport de polluants dans des écosystèmes non utilisés).**

Les différents types de paysages et d'espaces vitaux des montagnes suisses remplissent une multitude de fonctions importantes: toute végétation homogène protège le sol, stabilise les pentes et pare à l'érosion. Un rôle spécifique incombe à la forêt dans la protection contre les avalanches et les chutes de pierres et dans le stockage écosystémique de l'eau. La végétation fournit également des matières premières, fait partie des espaces de détente et des terrains de sport. Ces importantes fonctions sont indissolubles de la résistance, la stabilité et la faculté d'adaptation dynamique des écosystèmes, en particulier des forêts. De ce fait, des organismes apparemment sans importance ont de la valeur pour la sécurité des espaces vitaux. L'action conjointe de ces innombrables composants est en fin de compte déterminante pour la vulnérabilité

des systèmes à l'égard de leur exploitation ou des changements climatiques. L'exploitation agricole ou forestière, mais aussi touristique, des écosystèmes représente un potentiel de changements des fonctions de protection bien plus grand à l'échéance de quelques décennies que les changements moyens à venir de la température et des précipitations. Une accumulation d'événements climatiques extrêmes peut induire des changements rapides d'écosystèmes naturels et recèle ainsi le risque d'une perte au moins temporaire de fonctionnalité. En outre, du fait qu'il utilise le paysage de façon de plus en plus dense, l'être humain laisse toujours moins d'espace aux grands événements naturels (p.ex. crues); aussi ces derniers se font-ils sentir plus fortement et causent davantage de dommages.

## Evolution jusqu'à aujourd'hui

**Jusqu'ici, des atteintes temporaires à la sécurité des espaces vitaux se sont produites principalement du fait d'événements extrêmes et de l'urbanisation dans des zones à risque. Mais l'évolution continue des formes d'exploitation des terres et l'apport de substances nutritives et de polluants par l'air ont rendu quelques écosystèmes plus sensibles à d'autres „perturbations“ climatiques. Certains changements, p.ex. l'augmentation de la surface de forêt, ont toutefois aussi des effets positifs: les forêts stabilisent bien mieux les pentes raides que tous les autres types d'écosystèmes.**

La forêt et les prairies extensives ont subi une grande transformation en Suisse durant les cent cinquante dernières années. Autrefois, chaque morceau de terrain était exploité dans l'optique de son utilité productive. C'est pourquoi les zones humides étaient asséchées, les forêts exploitées de manière à accroître la production de bois de haute qualité, les prés et pâturages forcés aussi sur des terrains impraticables. L'intégrité d'un écosystème de même que la sécurité y relative des espaces vitaux sont restées longtemps des aspects secondaires.

Aujourd'hui, nombre de ces régions ne sont plus intéressantes du point de vue économique; mais l'importance, pour la sécurité des espaces vitaux, d'une couverture de végétation intacte a augmenté en maints endroits, car ce sont aujourd'hui en partie précisément en ces lieux que les infrastructures touristiques et les zones urbanisées profitent de la protection de la forêt (toutes deux sont passées dans des zones potentiellement dangereuses). Les pâturages alpins sont laissés à l'abandon (et sont perdus comme espace vital spécifique et comme ressource) et les terrains impraticables ne sont plus utilisés, tandis que la société des loisirs exerce une pression croissante sur presque toutes les formes de végétation.

A part les changements climatiques, ces influences humaines aussi ont montré des effets sur la végétation et modifié la protection qu'elle offre contre les dangers naturels. La progression de la forêt va généralement de pair avec une augmentation de la capacité d'accumulation d'eau dans les sols, améliore la stabilité des pentes et protège contre l'érosion. Suivant la topographie, elle offre également une protection contre les avalanches ou les chutes de pierres. L'augmentation des événements extrêmes agit en sens opposé: ils ont provoqué en partie des inondations et des glissements de terrain qui n'ont pas pu être absorbés par l'effet amortisseur naturel de la végétation. L'accumulation des dommages causés par les tempêtes a temporairement réduit la sécurité des espaces vitaux dans les régions tou-

chées (p.ex. les tempêtes Vivian en 1990 et Lothar en 1999). Des atteintes importantes aux écosystèmes causées par des événements climatiques extrêmes ont eu lieu souvent là où les conditions topographiques avaient nécessité déjà des interventions humaines substantielles dans la végétation afin d'y rendre possible la vie humaine moderne, comme par exemple dans des vallées des Alpes ou à proximité de cours d'eau. Mais les fortes précipitations se combinant aux conditions géologiques ont dépassé en partie la capacité de rétention de toute forme de végétation. Des épisodes de précipitations extrêmes ont entraîné le glissement de pans entiers de forêt (p.ex. en Suisse centrale pendant l'été 2005).

Des pertes temporaires en termes de sécurité des espaces vitaux se sont produites aussi dans des forêts dans lesquelles la sécheresse s'ajoutant à des températures d'été élevées et à l'infestation par des insectes a entraîné un dépérissement étendu des arbres (p.ex. les épidémies de bostryches après Lothar et pendant l'été sec de 2003, forêts de pins en Valais;<sup>8</sup> cf. fig. 7 et 8). Ici aussi, la manière d'utiliser

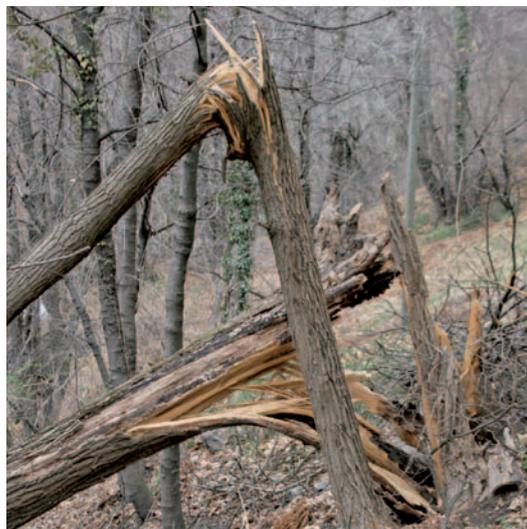


Figure 7: La combinaison d'arbres arrachés en plus grand nombre par le vent en hiver et d'étés plus chauds fait exploser les populations de bostryches. (Source: Christoph Ritz)

les forêts a probablement joué un rôle à côté des influences climatiques au cours des cent dernières années. Les feuillus, en premier lieu le chêne

pubescent, colonisent rapidement les surfaces libérées et ont ainsi remplacé jusqu'ici la fonction des pins (cf. fig. 8).



Figure 8: La combinaison de terrains laissés à l'abandon (pâturages boisés) et d'étés plus chauds et plus secs entraîne une transformation rapide des pinèdes valaisannes de basse altitude en chênaies pubescentes. (Source: Roman Zweifel)

## Regard vers l'avenir

**Du fait de l'accumulation pronostiquée d'événements extrêmes, il faut s'attendre à encore d'autres dégradations locales et limitées dans le temps des fonctions de protection des écosystèmes. Ce n'est pas un problème pour les parties du paysage proches de l'état naturel qui sont éloignées des agglomérations et non utilisées, vu que cette dynamique crée de nouvelles niches pour les animaux et les plantes. Mais si l'espace urbanisé ou les surfaces de transport sont touchés, ces changements ont des conséquences désastreuses.**

Cinquante ans sont peu de chose pour la végétation, et surtout pour les forêts, car les changements n'apparaissent qu'avec une certaine inertie et tardivement. Jusqu'en 2050, les changements climatiques moyens (!) pronostiqués ne représenteront guère de danger substantiel pour la fonction de protection de la couverture de végétation et, partant, pour la sécurité des espaces vitaux en Suisse. Mais des événements extrêmes plus fréquents ou plus violents (canicule, sécheresse, incendies, fortes précipitations, tempêtes) pourront avoir localement des conséquences très lourdes et modifier brusquement l'intégrité des écosystèmes (par exemple après un incendie de forêt ou une grande invasion d'insectes). De tels processus seront d'autant plus probables que le climat changera plus vite et que la végétation sera davantage en restructuration sous l'action de l'évolution générale du climat.<sup>9</sup>

Toutefois, de tels scénarios impliquant l'apparition subite et paroxysmique d'effets nuisibles (p.ex. une invasion d'insectes catastrophique comme conséquence de la sécheresse) ne peuvent guère faire l'objet de prévisions.

Les impacts des changements climatiques (en combinaison avec les influences humaines), au sujet desquels il existe des données empiriques, peuvent être estimés de façon plus fiable. Selon le savoir actuel, il faut s'attendre jusqu'en 2050 à ce que les changements climatiques aient des impacts plus forts qu'en moyenne dans les écosystèmes suivants:<sup>10</sup>

- les écosystèmes qui, en raison d'interventions humaines, sont très éloignés de leur forme, composition et fonction naturelles, p.ex. les monocultures forestières d'espèces étrangère-

res au site ou les herbages surexploités (p.ex. qui ont reçu des quantités excessives d'engrais et sont de ce fait pauvres en espèces);

- les écosystèmes qui se trouvent dans des zones climatiques limites, p.ex. dans des régions de dégel du pergélisol, dans des sites en voie de désertification, en des lieux humides dont la teneur en eau du sol est néanmoins faible et à proximité de la limite supérieure des forêts;
- les écosystèmes dans lesquels la façon d'utiliser les terres est contraire à l'évolution naturelle induite par le climat au cours des dernière

res décennies (p.ex., là où le pacage a maintenu la limite supérieure des forêts artificiellement à un niveau bas, la forêt peut très rapidement regagner du terrain s'il y a recul de l'utilisation en même temps qu'une hausse des températures);

- les écosystèmes dans lesquels les changements climatiques déclenchent des effets en cascade, comme p.ex. une infestation massive par des insectes ou autres parasites du fait de températures élevées (p.ex. trois au lieu de deux générations de bostryches par saison).

### Mesures, incertitudes, lacunes du savoir

**Une grande diversité d'espèces et une utilisation en accord avec le développement durable augmentent la résistance et la stabilité des écosystèmes naturels. Ceux-ci sont le mieux à même d'assurer la sécurité de l'espace vital de l'être humain. On ne peut influencer les changements climatiques que lentement. Nous pouvons néanmoins modifier plus rapidement notre manière d'utiliser notre espace vital. Ce qui nous permet aussi beaucoup plus rapidement d'assurer durablement les fonctions protectrices des écosystèmes.**

Pendant les cinquante dernières années surtout, l'urbanisation s'est effectuée en Suisse en partie dans des sites menacés du fait de leur topographie. On a bâti sur des pentes qui étaient boisées à l'origine, mais où l'exploitation forestière avait cessé. Des vallées que l'on avait évitées pendant des siècles sont aujourd'hui densément peuplées. C'est avant tout dans ces régions exposées que la végétation (modifiée par les interventions humaines) n'assume plus sa fonction de protection en cas d'événements extrêmes. L'évolution globale a conduit d'une part aux changements climatiques anthropiques, mais elle a aussi, notamment dans des pays de montagne comme la Suisse, rendu l'humanité plus dépendante de la sécurité des espaces vitaux qui résulte à son tour d'une couverture de végétation intacte. Les mesures techniques ne seront pas à même d'assurer la sécurité des espaces vitaux dans les vallées des montagnes suisses sans l'aide des écosystèmes naturels, en

particulier des forêts sur les pentes raides. Un aspect déterminant consistera donc à promouvoir des écosystèmes riches en espèces et adaptés au site et des forêts dont la structure d'âge et la composition soient proches de l'état naturel. Au vu de la lenteur du développement des écosystèmes, forestiers notamment, il est néanmoins douteux qu'une telle diversification puisse avoir lieu assez rapidement.

Le lien direct entre des écosystèmes résistants et proches de l'état naturel (donc bien adaptés et divers) et la sécurité des espaces vitaux dans les régions de montagne doit faire l'objet d'une prise de conscience (politique) accrue. A cet égard, il est particulièrement important, dans un pays densément peuplé comme la Suisse, de savoir que les écosystèmes comprennent toujours aussi les êtres humains qui y vivent et qu'un développement durable ne peut être réalisé qu'en tenant compte des activités humaines.

## 4. Utilité et produits des écosystèmes

**Les écosystèmes terrestres ne remplissent pas seulement d'importantes fonctions, telles que la sécurité des espaces vitaux, mais ils fournissent aussi des produits importants pour l'économie, comme le bois, des denrées alimentaires et de l'eau propre.**

Mis à part leur grande utilité pour la sécurité des espaces vitaux, déjà mentionnée au paragraphe 3 („Dangers naturels et sécurité des espaces vitaux“), les écosystèmes terrestres remplissent aussi d'importantes fonctions en dehors de l'agriculture intensive, telles que la protection de l'air et des eaux, le stockage de carbone et d'eau et le recyclage de substances nutritives. Ils fournissent des produits importants pour l'économie, tels que le bois, des denrées alimentaires et de l'eau.

En outre, les forêts présentent, de par la grande réserve de biomasse de leurs arbres, un potentiel particulièrement élevé comme puits de carbone, nettement plus considérable que les herbages et les champs (pour lesquels ce potentiel se limite à l'humus du sol). Tous ces produits et prestations sont certes influencés par les conditions physico-chimiques et climatiques, mais portent aussi l'empreinte de plusieurs millénaires d'utilisation des terres.

### Evolution jusqu'à aujourd'hui

**Pendant les cent dernières années, la plupart des écosystèmes terrestres ont subi davantage l'influence de l'évolution en matière d'utilisation des terres que des changements climatiques. Néanmoins, des impacts des changements climatiques sont déjà observés en Suisse en ce qui concerne la mise à disposition de ressources biologiques (p.ex. foin, réserve de bois, stockage de carbone).**

L'utilisation des terres d'écosystèmes agraires et forestiers a beaucoup changé pendant les cent dernières années. L'intensification et mécanisation de l'agriculture ont surtout fortement accru la productivité, mais en même temps amoindri l'humus et réduit ainsi le stockage de carbone dans les sols agricoles.<sup>11</sup> La réserve de bois dans les forêts suisses a substantiellement augmenté pendant les dernières décennies et atteint aujourd'hui des maxima tant par unité de surface (faible utilisation) qu'en raison de l'agrandissement des surfaces de forêt. La quantité de bois abattu par année en Suisse se monte à quelque 5 millions de m<sup>3</sup>, quand bien même la croissance annuelle permettrait d'exploiter 7 million de m<sup>3</sup> de bois sans effets négatifs pour les peuplements forestiers. Au cours des cinquante dernières années, les forêts ont poussé aussi sensiblement plus vite qu'autrefois en raison d'apports atmosphériques d'azote plus élevés et de conditions climatiques favorables. Aujourd'hui, 90% des forêts suisses sont surapprovisionnées en azote, ce qui entraîne, en plus de la croissance accélérée des arbres, une diminution de la saturation basique du sol, une acidification du sol et une pollution de l'eau d'infiltration qui alimente la nappe phréatique. Les effets des changements climatiques se manifestent déjà aujourd'hui dans le débourrement plus précoce et, partant, dans une prolongation de cinq à six jours de la période de végétation.<sup>12</sup> Dans le passé récent, les événements extrêmes (p.ex. les

tempêtes Vivian et Lothar, des étés caniculaires, de vastes feux de forêt en Valais) se sont multipliés et ont causé des dommages à la forêt. L'utilisation des terres évolue de façon très différente selon l'altitude. Dans les vallées, on constate qu'une certaine extensification a eu lieu à côté de l'intensification de l'agriculture pendant les dix à quinze dernières années, tandis que dans les régions subalpines et alpines, c'est l'extensification (transformation de prairies en pâturages), pouvant aller jusqu'à la cessation de toute exploitation, qui domine. La forêt s'établit sur ces aires qui étaient exploitées autrefois et sont laissées aujourd'hui à l'abandon. A défaut de pâture au-dessus de la forêt, davantage d'eau est cédée à l'atmosphère par évaporation et avant tout par transpiration de la végétation dont la taille a grandi. Moins d'eau s'écoule vers le bas (jusqu'à 10%), ce qui peut conduire à une production réduite d'énergie dans le bassin versant d'une centrale hydraulique.<sup>13</sup>

Des zones humides ont été fortement modifiées par l'être humain pendant les cent dernières années.<sup>14</sup> Alors qu'elles étaient autrefois d'importants réservoirs d'eau et de carbone, nombre d'entre elles ont été utilisées comme tourbières ou asséchées pour la production agricole. C'est ainsi que la surface des zones humides a diminué en Suisse de presque 90% au cours des cent dernières années, ce qui a entraîné une perte importante en biodiversité et en zones-tampons hydriques.

## Regard vers l'avenir

**A l'avenir, les fonctions et l'utilité des écosystèmes terrestres seront entravées avant tout par des effets combinés, p.ex. le cumul de températures élevées et de précipitations plus faibles. La disponibilité en eau et l'espace alpin prendront une importance particulière.**

Les scénarios climatiques pour la Suisse en 2050 se situent dans un domaine qui entraînera des changements perceptibles de la productivité de la forêt et des prairies permanentes. La tendance qui allait jusqu'ici dans le sens d'un accroissement de la productivité par l'intensification fléchira ou sera limitée par un manque d'eau prononcé en été en cas de températures élevées – comme en 2003 par exemple. Ciaï et al.<sup>15</sup> ont montré que la séquestration du carbone s'est profondément modifiée en Europe en 2003 et que d'un puits de CO<sub>2</sub>, la forêt européenne est devenue nettement une source de CO<sub>2</sub>. Ceci peut conduire à une diminution du stockage de carbone dans le sol, renforcée par une décomposition éventuellement accrue de substances organiques dans l'humus<sup>16</sup> et par des apports plus faibles de carbone par la végétation. Si – comme les modèles le prédisent – de tels étés secs deviennent plus fréquents, les réserves de carbone dans le bois et le sol diminueraient à long terme. Les effets locaux dépendent toutefois fortement de l'évolution de l'humidité du sol. Une augmentation du stockage de carbone continuera d'avoir lieu du fait de l'extension et de la sous-exploitation des forêts, pour autant que la hausse des coûts de l'énergie n'entraîne pas un retour au bois comme matière première. Une accélération de

la croissance des arbres du fait d'une plus haute concentration de CO<sub>2</sub> est plutôt improbable, étant donné que d'autres substances nutritives essentielles (à l'exception de l'azote) ne sont pas disponibles en plus grande quantité.<sup>17</sup> La pénurie d'eau en été et en automne touchera à l'avenir avant tout les vallées et le pays collinaire. Le manque d'eau se fera moins sentir dans les forêts de haute montagne et sur les hauteurs alpines. L'on s'attend ici plutôt à une augmentation de la productivité. La disponibilité en eau prendra donc une plus grande importance à l'avenir.

L'exploitation des écosystèmes terrestres devra s'adapter aux nouvelles conditions environnementales (p.ex. en avançant la récolte des foins, en irrigant la prairie permanente, en adaptant les effectifs de bétail, en pratiquant davantage l'estivage d'altitude, en choisissant d'autres espèces d'arbres). L'utilisation de sites en altitude pour maintenir les effectifs de bétail devrait redevenir plus lucrative. Cela signifie que l'espace alpin pourrait regagner en importance à l'avenir comme zone d'exploitation, mais aussi comme refuge et espace vital de substitution. Ceci ne réussira toutefois que si ces surfaces sont maintenues ouvertes par une gestion active et que l'on empêche les prairies et pâturages montagnards et subalpins de s'embroussailler.

## Incertitudes, mesures

**Une adaptation de la gestion des forêts et des prairies permanentes est nécessaire pour atténuer ou éviter les conséquences négatives des changements climatiques affectant l'utilité et les produits de ces écosystèmes. Les pâturages alpins devraient être maintenus ouverts.**

Il faudrait promouvoir la diversité naturelle des arbres comme assurance contre les changements climatiques ou les effets d'événements extrêmes. Le défrichement à grande échelle devrait être évité et les anciens peuplements forestiers (p.ex. la forêt jardinée<sup>18</sup>) être transformés en peuplements étagés, afin que la stabilité soit assurée et que le carbone stocké ne soit pas rejeté dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub>.

La gestion active du paysage, en particulier de l'espace alpin, devrait être mise en valeur. Cela permettrait une évaluation (aussi pécuniaire) en termes d'utilité pour l'ensemble de la société.

Il faudrait qu'un débat politique ait lieu sur la question de savoir comment une gestion adaptée et conforme au développement durable peut et doit être mise en œuvre et soutenue.

## Bibliographie et notes

- 1 Sources: annuaires statistiques, statistique de la superficie, statistique forestière, banque de données de la FAO.
- 2 B. Brzeziecki, F. Kienast, O. Wildi. A simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland. In: *Journal of Vegetation Science* 4, 1993, 499–508.
- 3 C. A. Burga, R. Perret. *Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter*. Thun, Ott-Verlag: 1998.
- 4 P. Geissler, J. Hartmann. Vegetation dynamics in a mountain pine stand burnt down in 1951. *Succession research in the Swiss National Park* 89, 2000, 107–130.
- 5 F. Kienast, O. Wildi, B. Brzeziecki. Potential impact of climate change on species richness in mountain forests – an ecological risk assessment. In: *Biological Conservation* 83, 1998, 291–305.
- 6 J. Esper, E. R. Cook, F. H. Schweingruber. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. In: *Science*, 295, 2002, 2250–2253.
- 7 W. Thuiller, S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes, and C. Prentice. Climate change threats to plant diversity in Europe. In: *PNAS* 102, 2005, 8245–8250.
- 8 A. Rigling, M. Dobbertin, M. Bürgi, E. Feldmeier-Christe, U. Gimmi, C. Ginzler, U. Graf, P. Mayer, R. Zweifel und T. Wohlgemuth. Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern – Wald und Klimawandel. In: T. Wohlgemuth (Hg.). *Forum für Wissen 2006 – Wald und Klimawandel*. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Zürich, 2006, 23–33.  
R. Zweifel, L. Zimmermann, W. Tinner, P. Haldimann, F. Zeugin, S. Bangerter, S. Hofstetter, M. Conedera, T. Wohlgemuth, A. Gallé, U. Feller und D. M. Newbery. *Salgesch, Jeizinen, ihre Wälder und der globale Klimawandel*. Nationaler Forschungsschwerpunkt Klima (NFS Klima), Universität Bern. Bern, 2006.
- 9 S. Schumacher, H. Bugmann. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. In: *Global Change Biology* 12, 2006, 1435–1451.
- 10 H. Bugmann, C. Pfister. Impacts of interannual climate variability on past and future forest composition. *Regional Environmental Change* 1(3), 2000, 112–125.  
H. Bugmann. Anthropogene Klimaveränderung, Sukzessionsprozesse und forstwirtschaftliche Optionen. In: *Schweiz. Z. Forstwesen* 150, 1999, 275–287.
- 11 J. Leifeld, S. Bassin, J. Fuhrer. Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. *Schriftenreihe der FAL* 44, 2003.  
B. Zierl, H. Bugmann. Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. In: *Water Resources Research* 41(W02028): 2005, 1–13.
- 12 A. Menzel et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. In: *Global Change Biology* 12, 2006, 1–8.
- 13 C. Körner. Mountain biodiversity, its causes and function. In: *Ambio, Special Report* 13, 2004, 11–17.
- 14 A. Grünig. Surveying and monitoring of mires in Switzerland. In: L. Parkyn, R. E. Stoneman, H. A. P. Ingram (Hg.). *Conserving peatlands*, Oxon, UK, CAB International, 1997, 217–227.
- 15 P. H. Cias et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by heat and drought in 2003. In: *Nature* 437, 2005, 529–533.
- 16 P. H. Bellamy, P. J. Loveland, R. I. Bradley, R. M. Murray, and G. J. Kirk. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. In: *Nature* 437/8, 2005, 245–248.
- 17 Ch. Körner, R. Asshoff, O. Bignucolo, S. Hättenschwiler, S. G. Keel, S. Pelaez-Riedl, S. Pepin, R. T. W. Siegwolf, and G. Zotz. Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO<sub>2</sub>. In: *Science* 309, 2005, 1360–1362.
- 18 Forme d'exploitation à la suite de laquelle des arbres de toutes dimensions et de tous âges poussent les uns à côté des autres et peuvent être utilisés isolément sans dommages pour la structure de la forêt.

# Agriculture

## Auteurs

Jürg Fuhrer, présidence

Hygiène de l'air/climat, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Pierluigi Calanca

Hygiène de l'air/climat, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Claudio Defila

Biométéorologie et météorologie de l'environnement, MétéoSuisse

Hans-Rudolf Forrer

Organismes nuisibles et utiles, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Bernard Lehmann

Institut für Agrarwirtschaft, IAW, EPF de Zurich

Werner Luder

Economie agricole, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Gabriele Müller-Ferch

Rédaction, ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles

Andreas Münger

Production de lait et de viande, Agroscope Liebefeld-Posieux ALP

Martijn Sonneveld

Institut für Agrarwirtschaft, IAW, EPF de Zurich

Annelies Uebersax

Association suisse pour le développement et l'agriculture et de l'espace rural AGRIDEA, Lindau



## 1. Introduction

### Situation

La surface utile exploitée en Suisse pour l'agriculture (SAU) représente 37% de la superficie totale du pays. Un tiers environ se trouve sur le Plateau. Les pâturages et prairies constituent la plus grande partie de la SAU (prairies permanentes dans la fig. 1); en conséquence, la majorité des 65'866 exploitations se concentrent sur l'élevage, principalement celui du bétail laitier. Parmi les cultures, les céréales occupent la première place en termes de superficie.

Plus de 70% des domaines sont exploités à titre d'activité principale. En 2003, les domaines faisaient en moyenne 16.2 ha. Les produits végétaux font 47% de la valeur marchande de la production agricole, les produits laitiers 27% et les autres produits d'origine animale 26%. L'agriculture suisse réalise son plus haut degré d'autoapprovisionnement pour les protéines (70–80%), le plus bas pour les hydrates de carbone (50–60%).

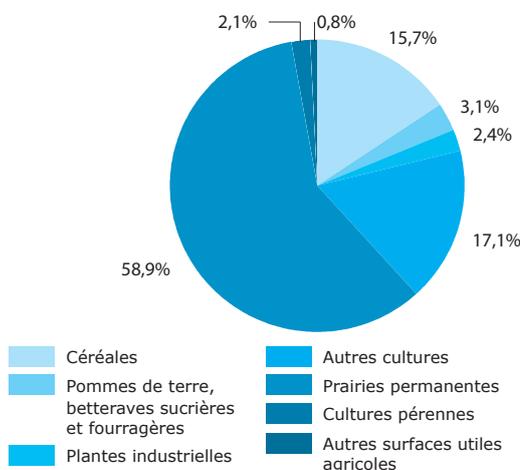


Figure 1: Principales catégories de surface en 2003<sup>1</sup>

Des mesures sur le plan politique obligent l'agriculture suisse à se réorganiser étape par étape. La politique agricole actuelle (PA 2007) vise en premier lieu à améliorer la compétitivité de l'économie agricole et alimentaire indigène. La prochaine étape (PA 2011) continuera dans le sens de cette nouvelle orientation. Ces mesures ont de fortes répercussions sur la valeur de production agricole. La mise en œuvre des engagements prévisibles à l'égard de l'OMC aura pour conséquence une réduction de la valeur de production agricole d'environ 1.5 à 2.5 milliards de francs par rapport aux années de référence 2001/2003.<sup>2</sup> Cette évolu-

tion transformera profondément la structure de l'agriculture indigène. Il n'est pas possible en ce moment d'évaluer exactement les répercussions que cela aura sur l'utilisation du sol, les cultures ou l'exploitation des prairies et des pâturages. En raison de cette incertitude, il est difficile de chiffrer les impacts des changements climatiques – tant les impacts directs sur la production agricole suisse que les impacts indirects découlant des changements dus au climat dans d'autres pays (cf. paragraphe 9). Les réflexions qui suivent ignorent dans une large mesure ces changements possibles imputables à des forces politiques et économiques, quand bien même ils seraient bien plus importants à l'horizon de 2020–2050 que l'influence des changements climatiques.<sup>3</sup>

Le climat est l'un des plus importants facteurs limitatifs en matière d'exploitation et rendement des cultures ainsi que pour l'élevage. Pour des raisons climatiques, les grandes cultures se limitent en Suisse aujourd'hui aux régions de basse altitude; les sites se prêtant à la production fourragère couvrent un spectre climatique nettement plus large et dominant à plus haute altitude. Les changements climatiques entraînent donc aussi ceux d'une condition-cadre importante. Les développements qui suivent se concentrent sur ces changements en rapport avec l'exploitation des cultures et la production à l'unité de surface, l'adéquation des sites et la protection des végétaux, ainsi que les conséquences et adaptations possibles en matière de mesures culturales, élevage et conduite d'exploitation. Nous renonçons ici à un examen plus minutieux par région et méthode culturale (p.ex. culture conventionnelle ou biologique), faute de disposer des données de base nécessaires à cet effet.

### Tour d'horizon

Il n'est pas possible d'associer une valeur seuil du réchauffement climatique aux impacts sur l'agriculture. Mais un réchauffement modéré, inférieur à une augmentation d'env. 2–3 °C de la moyenne annuelle jusqu'en 2050, devrait avoir des effets généralement positifs sur l'agriculture en Suisse. La production annuelle potentielle des prairies augmentera en raison de périodes de végétation plus longues. La récolte potentielle de nombreuses plantes culturales augmentera aussi moyennant une offre suffisante en eau et en substances nutritives. Du fait de cette amélioration des rendements, la production animale bénéficiera de fourrage moins

cher et d'une plus longue période de pâture. Des effets négatifs sont attendus néanmoins en relation avec la raréfaction de l'offre en eau, due à une plus forte évapotranspiration des plantes et des sols et à la diminution simultanée des précipitations en été, avec la prolifération des mauvaises herbes et des insectes nuisibles, enfin avec l'augmentation des événements extrêmes et de la variabilité du climat. En cas de réchauffement climatique plus intense, supérieur à 2-3 °C jusqu'en 2050, les inconvénients prédomineront: il faudra s'attendre alors à un manque d'eau plus aigu, en raison d'une évapotranspiration plus forte et d'une diminution des précipitations pendant la période de végétation, et le développement accéléré des plantes entraînera une baisse du rendement des céréales et des légumineuses à grains.

L'agriculture pourra s'adapter à une hausse modérée de la température moyenne de 2-3 °C jusqu'en 2050 en prenant des mesures ayant trait au choix des plantes culturales, aux procédés culturaux et à la conduite des exploitations. L'augmentation prévisible de la variabilité météorologique et des événements extrêmes est en revanche problématique. La multiplication des périodes de forte chaleur et de sécheresse provoquera davantage de situations critiques en termes d'humidité du sol et de sécheresse et les besoins en irrigation croîtront en maints endroits. Il importera d'utiliser l'eau d'irrigation disponible le plus efficacement possible. A l'inverse, un accroissement des fortes précipitations pourrait amplifier l'érosion du sol. Dans l'ensemble, le risque de dommages aux grandes cultures et cultures spéciales augmentera, de même que celui de diminutions de rendement dans la production fourragère. La sécurité des récoltes sera compromise; des mesures adéquates, telles que la sélection végétale et l'examen des variétés, aideront à atténuer les effets négatifs. Une stratégie possible de réduction des risques consistera à diversifier davantage les exploitations. En outre, les besoins augmenteront en matière de couverture d'assurance pour les pertes de récolte dues à des conditions météorologiques extrêmes.

Les marchés agricoles internationaux joueront un rôle important pour l'approvisionnement alimentaire global et national futur. En Suisse, la libéralisation des marchés et les adaptations de la politique agricole seront des facteurs d'influence plus importants que les changements climatiques.

## Liens avec d'autres thèmes

### Assurances

Besoins en matière de couverture d'assurance pour les pertes de récolte dues à des conditions météorologiques extrêmes.

### Economie des eaux

Niveau des eaux souterraines, besoins en eau d'irrigation; diminution de la production en raison du manque d'eau d'irrigation.

### Ecosystèmes terrestres

Conflits au sujet de l'utilisation de l'eau, procédés culturaux fortement mécanisés et augmentation éventuelle du recours aux engrais et pesticides; Immigration d'espèces étrangères (néophytes).

### Santé

Des néophytes (p.ex. *Ambrosia artemisiifolia*) peuvent provoquer des allergies et de l'asthme.

### Energie

Besoin accru en énergie dû aux installations d'irrigation.

### Tourisme

Baisse de l'attractivité touristique du paysage, en raison du reboisement naturel et de l'embroussaillage.

## 2. Production végétale indigène

**Des changements climatiques modérés de moins de 2–3 °C de la moyenne annuelle ont dans nombre de cas des effets positifs sur l'agriculture en Suisse. La production annuelle potentielle des prairies croîtra en raison de la durée plus longue de la période de végétation. Moyennant un apport suffisant de substances nutritives et d'eau, le rendement potentiel des grandes cultures et des productions fourragères augmentera pour de nombreuses espèces culturales. Toutefois, en cas de changements climatiques plus marqués, les inconvénients prédomineront. Une forte hausse de l'évapotranspiration des plantes et des sols, ainsi que l'évolution en matière de précipitations, pourraient conduire en maints endroits à un manque d'eau.**

Dans le passé, la production végétale indigène était tributaire avant tout de l'adéquation des sites, qui dépend d'une part du climat et d'autre part du relief et des propriétés du sol. Les conditions météorologiques déterminaient dans une large mesure les modalités d'exploitation d'un domaine.

Le réchauffement climatique de ces dernières années exerce déjà un effet démontré sur la production végétale. L'influence de la température sur la date du semis et de la récolte est bien établie pour les grandes cultures. Le moissonnage-battage du blé a lieu aujourd'hui presque un mois plus tôt qu'en 1970, ce qui tient aussi à l'introduction d'espèces précoces; et du fait que la neige disparaît plus tôt des pâturages des Alpes, le pacage de saison a lieu aujourd'hui quinze jours plus tôt qu'il y a trente ans.<sup>4</sup> Le développement des plantes se modifie principalement en fonction de la hausse de température; ceci vaut notamment pour le débournement, la floraison et la maturité des fruits au printemps et en été. Les phases phénologiques d'automne ne sont pas corrélées de façon univoque avec les grandeurs météorologiques. Dans le cas de la dent-de-lion par exemple, des températures plus hautes en hiver et au printemps induisent un départ plus précoce de la végétation. Les analyses des tendances de la végétation durant la période de 1951 à 2000 ont indiqué que la floraison intervient en moyenne 21 jours, le déploiement des feuilles 15 jours et la coloration de ces dernières 9 jours plus tôt, leur chute en revanche 3 jours plus tard.<sup>5</sup>

Cette évolution se poursuivra avec le réchauffement futur. Suivant la région, la période de végétation se prolongera d'env. 7 à 10 jours par décennie,<sup>4</sup> ce qui aura pour conséquence une augmentation de la production annuelle potentielle des prairies.<sup>3</sup> La diminution du nombre de jours de gel va de pair avec celle du risque de dégâts de gel, mais un début plus précoce de la végétation fera subsister le danger de dégâts de gel tardif.

Des changements climatiques modérés, correspondant à une augmentation de la moyenne annuelle

inférieure à 2–3 °C, aura dans nombre de cas des effets positifs sur l'agriculture. Selon la modélisation des tendances potentielles des récoltes (entre autres de céréales), l'Europe centrale se situera jusqu'en 2050 plutôt dans une zone favorisée. Pour autant que le sol contienne toutes les substances en quantités suffisantes, une hausse de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, associée à des températures légèrement plus élevées et à des pluies en suffisance, fera croître le rendement potentiel des récoltes de nombreuses plantes culturales. Cette amélioration du rendement dû au CO<sub>2</sub> sera toutefois faible en comparaison des effets de mise en valeur à long terme des cultures, et l'effet positif sur les rendements d'une concentration de CO<sub>2</sub> en hausse sera amoindri par une augmentation plus marquée des températures.<sup>6</sup> Simultanément, une concentration en CO<sub>2</sub> plus élevée fera baisser la teneur du blé en protéines, ce qui diminuera la qualité boulangère de la farine. Une légère diminution des précipitations au printemps et en été aura en maints endroits des effets positifs sur l'exploitation des cultures. Le nombre de jours de travail aux champs augmentera et la diminution de la teneur du sol en eau favorisera le recours à de grandes machines agricoles. En été, des phases de deux à trois jours consécutifs sans pluie seront favorables pour la production fourragère, car un séchage insuffisant compromet la qualité du foin et du regain.

En revanche, les inconvénients prédomineront dans le cas d'un réchauffement climatique faisant monter la moyenne annuelle de plus de 2–3 °C. Celui-ci accélérera le développement des plantes, ce qui aura pour conséquence des pertes de rendement des variétés courantes aujourd'hui, notamment des céréales et des légumineuses à grains.<sup>6</sup> Des températures en hausse accroîtront l'évapotranspiration potentielle des plantes et de la surface du sol. L'évaporation effective et, partant, la consommation d'eau des plantes culturales augmenteront en fonction de l'humidité de l'air et du sol, du rayonnement incident de courte longueur d'onde

et de l'état de la végétation. Des modélisations indiquent une diminution sensible de l'humidité moyenne du sol pendant la période de végétation.<sup>7</sup> Vu les changements prévisibles de la répartition saisonnière des précipitations (davantage de pluie en hiver et moins en été), le manque d'eau pourrait devenir en maints endroits plus fréquent pendant la saison des cultures (cf. paragraphe 5).

### Incertitudes

On ne sait pas au juste dans quelle mesure les conditions régionales spécifiques (aptitudes climatiques) des différents sites changeront, et avec elles les emplacements favorables et défavorables, ni jusqu'à quel point ces changements procureront à la Suisse des avantages sur le plan intérieur, mais aussi international.

## 3. Événements météorologiques extrêmes

**Les changements climatiques modifieront aussi la probabilité des événements extrêmes. L'augmentation attendue des étés caniculaires et des fortes précipitations fera croître le risque de dommages aux cultures spéciales et aux grandes cultures, de baisses de rendement de la production fourragère et d'une intensification de l'érosion du sol.**

Les événements météorologiques extrêmes, tels que les sécheresses, la grêle ou les fortes précipitations, sont d'une importance particulière pour l'agriculture. Les dégâts de grêle aux cultures fruitières, viticoles et maraîchères étaient autrefois le risque météorologique le plus fréquent. Des étés de sécheresse sont survenus à peu près tous les cinquante ans après 1730.<sup>8</sup> Des difficultés se présentaient avant tout lorsqu'une période de sécheresse succédait à une autre survenue l'hiver ou l'été précédent, comme par exemple en 1947.

Les changements climatiques font croître le risque d'événements extrêmes et des conséquences que ces derniers ont pour l'agriculture.<sup>9</sup> Des étés caniculaires de l'ampleur de celui de 2003 deviendront plus fréquents<sup>10</sup> (cf. le paragraphe sur les événements extrêmes dans le chapitre Fondements) et la

probabilité de dommages dus à la sécheresse augmentera sur le Plateau et dans le Jura. Par ailleurs, les fortes précipitations augmenteront pendant les mois d'hiver et entraîneront des dommages aux cultures d'hiver et une intensification de l'érosion du sol. Aucune prévision n'est encore possible en ce qui concerne la grêle.<sup>8</sup>

L'ampleur des dommages dus aux événements extrêmes dépasse les fluctuations de rendement qui se présentent habituellement d'une année à l'autre. Il existe des assurances pour ces dommages. En revanche, une couverture d'assurance fait défaut pour les pertes de récolte consécutives à des situations météorologiques extrêmes telles que la sécheresse. Comment parer aux pertes des années de sécheresse? 2003 a montré que des mesures étatiques peuvent être une aide (p.ex.

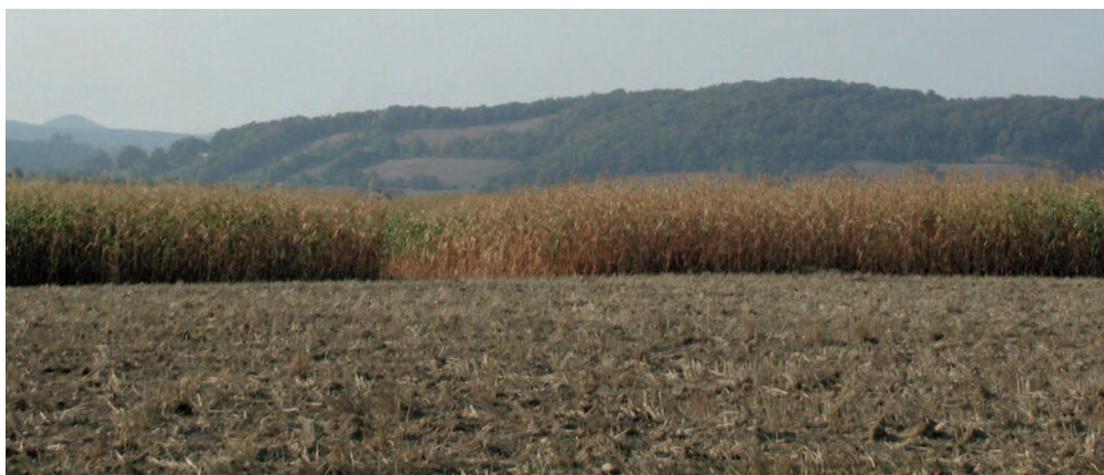


Figure 2: Champ de maïs endommagé par la sécheresse en 2003.  
(Source: Liebegg, U. Voegeli)

réduction de droits de douane). Mais comment iront les choses si les années de sécheresse deviennent plus fréquentes?<sup>11</sup>

### Incertitudes

Vu l'évolution présentée, la question de la couverture d'assurance pour des dommages dans les gran-

des cultures et la production fourragère se pose de façon toujours plus pressante, de même que celle du financement de la réparation des dommages consécutifs aux précipitations extrêmes, à la grêle et à la sécheresse. La question des coûts y relatifs pour l'agriculture elle-même reste ouverte, comme celle du financement par l'Etat ou d'autres sources.

## 4. Sécurité des récoltes

**Les changements climatiques influencent la sécurité des récoltes. Des mesures appropriées, telles que la sélection végétale et l'examen des variétés, pourront contribuer à l'avenir à maintenir la stabilité du rendement des cultures. Dans la production fourragère, le début plus précoce de la période de végétation pourrait signifier une plus grande sécurité du rendement.**

Des rendements variant de façon irrégulière sont caractéristiques de la production agricole végétale. Les fluctuations régionales des rendements sont dues à la propagation épidémique d'agents pathogènes ou de parasites ou au stress consécutif à des conditions météorologiques extrêmes. Quand elles atteignent une trop grande ampleur, elles constituent un problème économique autant pour les exploitations considérées isolément que pour l'ensemble de l'agriculture d'un pays. L'introduction de nouveaux moyens et procédés de production et le changement continu des variétés ont permis, depuis la fin des années 1960, d'abaisser tendanciellement les fluctuations des rendements des grandes cultures et de la production fourragère. En Suisse, cette diminution est sensible en ce qui concerne le rendement des prairies et du blé, elle est un peu moins visible pour les pommes de terre (figure 3).

La sécurité des récoltes sera influencée à l'avenir par les changements climatiques. L'augmentation des conditions météorologiques extrêmes aura des effets négatifs (cf. paragraphe 3). La sélection végétale et l'examen des variétés sont des mesures essentielles pour maintenir la stabilité du rendement des cultures et limiter le recours à des facteurs de production (produits phytosanitaires, eau, engrais etc.). L'offre future devra inclure aussi des variétés à moins haut rendement, mais plus résistantes à la sécheresse ou plus robustes. Pour la production fourragère, le début plus précoce de la période de végétation augmentera la sécurité des récoltes, vu que la première fauche pourra avoir lieu dès le printemps.

### Unsicherheiten

On ne sait pas au juste dans quelle mesure les progrès de la sélection végétale pourront suivre le rythme de l'évolution des situations météorologiques extrêmes.

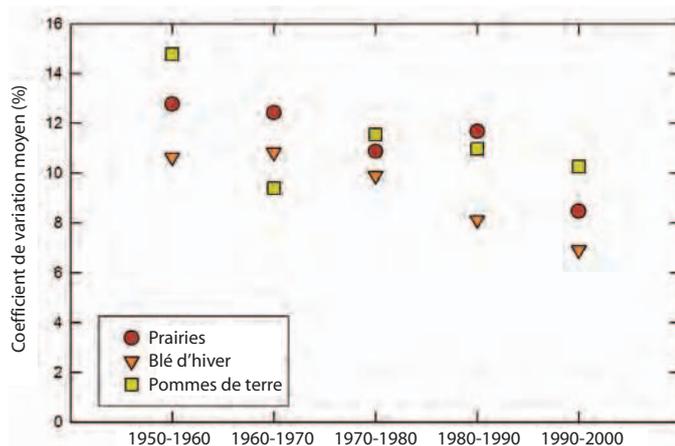


Figure 3: Evolution des fluctuations du rendement des prairies, du blé et des pommes de terre en Suisse (moyenne glissante du coefficient de variation pour des périodes de culture de 10 ans). La tendance à la diminution de ce coefficient de 1950 à 2000 indique une stabilité croissante des rendements des récoltes. (Sources des données: Union suisse des paysans)

## 5. Approvisionnement en eau et selon les sites

**Des états critiques de l'eau du sol et les sécheresses d'été pourraient être plus fréquents à l'avenir aussi en Suisse. L'irrigation serait alors nécessaire en maints endroits. Mais l'ampleur du manque d'eau ne dépendra pas seulement du besoin en eau des cultures, mais aussi des conditions locales.**

De nombreuses cultures (céréales, légumineuses, plantes sarclées, graines oléagineuses) pratiquées aujourd'hui en Suisse ont un besoin en eau relativement élevé de 400 à 700 mm pendant la période de croissance.<sup>12</sup> Des pertes de productivité surviennent lorsque l'eau disponible dans le sol représente pendant une durée prolongée moins de 30 à 50% de la capacité au champ utile.<sup>13</sup> Une croissance optimale ne peut être alors obtenue qu'en irrigant les cultures.

Pour les quantités actuelles de précipitation, le besoin d'irrigation continue ou sur toute la surface est faible. Sur le Plateau, il tombe entre avril et septembre en moyenne env. 600 mm de pluie (avec une variabilité annuelle de 100 mm), ce qui correspond à une teneur moyenne du sol en eau d'à peu près 60% de la capacité au champ utile. Depuis 1900, on a quinze fois mesuré moins de 500 mm et cinq fois moins de 400 mm. Les sommes de précipitations sont plus élevées à l'étage subalpin et alpin; seules les vallées intérieures des Alpes, en particulier en Valais, sont confrontées aujourd'hui au problème du manque d'eau.

Les scénarios pour 2050 indiquent un léger changement des précipitations au printemps et une nette diminution de ces dernières en été (jusqu'à 35%) et en automne (jusqu'à 15%).

Dans des cas extrêmes, il faudra compter, sur le Plateau, avec une moyenne des sommes de précipitations (avril à septembre) inférieure à 500 mm, des états critiques de l'eau du sol se prolongeant durant des semaines (résultats ramenés à l'échelle de 2050<sup>6</sup>) et une augmentation des sécheresses en été.<sup>9,10</sup> L'irrigation sera plus souvent nécessaire en maints endroits, même si le départ plus précoce de la végétation (cf. paragraphe 2) doit rendre la situation moins critique. L'ampleur du manque d'eau local pourrait dépendre non seulement du besoin en eau des cultures, mais aussi des conditions du site<sup>14</sup> (cf. chap. Economie des eaux).

Lors d'années extrêmes, le manque d'eau pourrait devenir un problème aussi pour la production fourragère, quand bien même ces cultures sont situées en partie à plus haute altitude.

### Incertitudes

Des incertitudes subsistent sur la question de savoir dans quelle mesure le développement des installations d'irrigation pour faire face aux périodes sèches est judicieux, faisable et possible du point de vue de la disponibilité en eau pendant les années sèches. Il serait préférable d'éviter les sites menacés et de planter des cultures demandant moins d'eau.

## 6. Organismes nuisibles et leur importance

**Les changements climatiques facilitent la croissance des mauvaises herbes et favorisent les insectes nuisibles, tandis que les populations d'agents pathogènes fongiques et bactériens sont favorisées, inhibées ou non influencées, tout dépend de la plante hôte.**

Le climat, la météo et des facteurs spécifiques aux cultures sont déterminants pour le type, l'ampleur et l'importance des problèmes de mauvaise herbe et de ravageurs. Les changements climatiques ont contribué, à côté de l'intensification du trafic des marchandises et des voyageurs, à la propagation d'espèces végétales qui n'existaient pas chez nous de façon naturelle (on parle de néophytes). Un exemple est *Ambrosia artemisiifolia*, une mauvaise herbe

qui, de Genève et du Tessin, se propage actuellement dans toute la Suisse; elle prolifère rapidement dans les champs et son pollen peut provoquer des allergies et de l'asthme (cf. le chapitre sur la santé).<sup>15</sup> Les températures allant en augmentant, des espèces végétales aimant la chaleur, telles que des graminées d'origine subtropicales sans grande valeur nutritive pour les animaux, pourraient aussi se propager. Des espèces végétales ligneuses ainsi que des mau-

vaises herbes pérennes, telles que le chardon des champs, le rumex et le chiendent, pourraient davantage faire problème.<sup>16</sup> Les hivers doux sont favorables aux espèces qui germent en automne, telles que le vulpin des champs et le gaillet gratteron. La pression des mauvaises herbes pourrait s'accroître en raison de l'adaptation plus rapide des populations de mauvaises herbes et de leur plus forte compétitivité par rapport aux plantes cultivées, ainsi que de la couverture moins dense du sol du fait de la sécheresse et de l'érosion.

Suite au réchauffement, il faut s'attendre à ce que les problèmes dus aux insectes nuisibles aillent en s'aggravant.<sup>17</sup> Des insectes tels que les pyrales du maïs, les chrysomèles des racines du maïs, les criocères des céréales, les pucerons et les doryphores pourraient se développer plus vite et se propager plus loin qu'à présent. La période chaude plus longue permettra aux parasites des cultures (p.ex. à la pyrale du maïs) de former à l'avenir 2-3 générations par saison au lieu de 1-2 jusqu'ici. Des parasites qui causaient jusqu'ici des dommages seulement tous les trois ans (p.ex. le ver blanc du hanneton) apparaîtront à intervalles plus courts et plus irréguliers. Les hivers devenant plus chauds, les pucerons, qui passent l'hiver dans la phase adulte, migreront plus tôt de leurs quartiers d'hiver vers les cultures.<sup>18</sup>

L'apparition de germes pathogènes fongiques et bactériens dépend fortement du climat et de la météo. Les changements climatiques auront, suivant le système hôte-pathogène considéré, des effets positifs, négatifs ou neutres sur leurs populations.<sup>19</sup> Des hivers et printemps doux favoriseront la rouille brune et la rouille jaune, le mildiou et l'helminthosporiose des céréales et du maïs. Des étés chauds et plutôt secs pourraient en revanche conduire à un recul des maladies favorisées par l'humidité, telles que la septoriose et les fusarioses sur épi de blé. Les épidémies de mildiou de la pomme de terre seraient également freinées, mais du fait d'un début plus précoce, pas forcément atténuées dans l'ensemble. Vu l'augmentation des dommages causés par des parasites (pyrales) et les blessures mécaniques dues à des causes météorologiques, le maïs pourrait être davantage la cible des fusariums et de leurs toxines. En outre, suite à des concentrations d'ozone



Figure 4: Epi de maïs atteint de fusariose. L'apparition des fusaria, champignons toxigènes, est due à des blessures du maïs causées par des insectes, la grêle ou des déchirures lors de la croissance. Elle est favorisée par de fortes variations des conditions climatiques.

(Source: H.R. Forrer, Agroscope ART Reckenholz-Tänikon)

(O<sub>3</sub>) en hausse, des parasites facultatifs, qui ne sont pas dépendants de l'hôte pour proliférer et que l'on ne rencontre que par moment, causeront davantage de dommages aux plantes culturales.<sup>6</sup>

### Incertitudes

Vu la complexité des interactions entre les ravageurs, les organismes auxiliaires, les plantes hôtes et les systèmes culturaux et vu les effets divers des facteurs abiotiques que sont la chaleur, le CO<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub>, il est difficile de faire des prévisions sur les développements à long terme. Ce qui est sûr, c'est qu'en raison des changements climatiques, nous serons confrontés à de nouveaux problèmes survenant à un rythme accéléré. Un assolement simplifié et la concentration sur un petit nombre d'espèces culturales favorisent l'aggravation des problèmes de ravageurs.

## 7. Elevage d'animaux pour la production de denrées alimentaires

**Suite aux changements climatiques, la productivité des cultures fourragères augmentera dans les sites disposant d'eau en suffisance et la production animale profitera ainsi de fourrages moins chers, produits en plus grande proportion en Suisse. La prolongation de la saison de pâture et de nouveaux mélanges de plantes fourragères, adaptés aux conditions, peuvent accroître aussi le potentiel de la production animale. Mais il faudra s'attendre également à des effets négatifs. L'augmentation du nombre de jours de grande chaleur suscitera des problèmes pour l'élevage. Par ailleurs, la qualité des fourrages pourrait baisser et la sécurité des récoltes pâtir en raison d'événements extrêmes plus fréquents.**

La Suisse est un pays d'herbages: la quantité et la répartition des précipitations y sont très favorables à la production fourragère. En raison de la topographie, de vastes surfaces ne se prêtent en outre qu'à la culture fourragère. La production non tribulaire du sol a une importance comparativement faible, mais en augmentation.

L'élevage est marqué traditionnellement par le souci de se rendre plus indépendant des variations climatiques (p.ex. contrôle du climat de l'étable, systèmes fermés et fourrage conservé). Ces dernières années, le pacage a regagné en importance. Des raisons à cela sont des considérations économiques (réduction des coûts) et le souci d'améliorer le bien-être des animaux grâce à une production plus naturelle. L'élevage est devenu ainsi plus dépendant du climat. Mais des stratégies pour faire face à des situations climatiques extrêmes ne seront encore nécessaires que dans des cas exceptionnels. Ici ou là, des conflits surviendront pour certains systèmes d'élevage, par exemple l'élevage en plein air pendant les chaleurs de l'été.

L'augmentation attendue à l'avenir du nombre de jours de grande chaleur causera des problèmes à l'élevage: les besoins en eau augmenteront, les animaux devront être protégés davantage contre de hautes températures par une climatisation adéquate des étables ou par des places à l'ombre. Les maladies animales et les parasites n'augmenteront probablement pas de façon générale, mais des modifications dans le spectre des organismes nuisibles ne sont pas à exclure. Il existe aujourd'hui déjà des races d'animaux qui s'accommodent mieux avec de telles conditions de même que de changements précités. Il faudra adapter les objectifs de sélection des races répandues en Suisse.

A l'avenir, dans les sites où la disponibilité en eau n'est pas un facteur limitatif, la productivité des cultures fourragères tendra à augmenter en altitude suite aux changements climatiques. Grâce à une amélioration de l'offre, la production animale profitera de fourrage indigène moins cher. Cet avantage pourra être encore renforcé par la sélection de

variétés de plantes fourragères adaptées (aussi de nouvelles espèces) et par des mélanges adéquats. La période de pâture (cf. paragraphe 2) se prolongera de plusieurs jours, ce qui accroîtra le potentiel de production. En outre, l'augmentation du nombre de jours se prêtant au séchage pourrait entraîner une amélioration de la qualité du fourrage conservé. Mais il faudra s'attendre aussi à des effets négatifs: l'augmentation des extrêmes météorologiques rendra l'offre de fourrage plus irrégulière pendant la période de végétation et l'on deviendra plus dépendant de fourrages conservés (cf. paragraphe 3). Les plantes fourragères adaptées à une croissance dans des conditions plus chaudes ont souvent une moindre valeur fourragère. En outre, les plantes provenant de zones tempérées sont plus souvent hôtes de parasites (en premier lieu fongiques) qui peuvent nuire à la valeur fourragère et présenter des risques pour la santé de l'animal et de l'être humain. – Tous ces facteurs agiront différemment selon l'altitude et la région. Il faudra s'attendre à des déplacements de production; une alternative pourrait être une augmentation de la proportion de la production non tribulaire du sol ou du climat.

### Incertitudes

La question reste ouverte de savoir dans quelle mesure la diminution des besoins en fourrages conservés consécutive à la prolongation de la période de végétation d'une part, et l'augmentation de ces besoins pour faire face à des situations de pénurie dues à la sécheresse d'autre part, se compenseront mutuellement. Le champ de tension entre production contrôlée (intensive) d'une part et proche de la nature d'autre part s'enrichira d'une dimension supplémentaire. Le nombre de jours de pâture potentiels tendra certes à augmenter, mais celui des jours de pâture optimaux pourrait diminuer en raison de hautes températures ou sécheresses plus fréquentes; la situation pourrait plutôt s'améliorer en ce qui concerne les dégâts de piétinement dans des pâturages détremés.

## 8. Mesures relatives aux cultures, aux procédés cultureux et à la conduite d'exploitation

**L'agriculture devrait avoir une faculté d'adaptation suffisante pour s'adapter à un réchauffement moyen de 2-3 °C jusqu'à 2050 en prenant elle-même des mesures adéquates au niveau du choix des cultures et des variétés, des procédés cultureux et de la conduite d'exploitation. Par contre, l'augmentation de la variabilité météorologique et des événements extrêmes sera pour elle un défi.**

L'évolution actuelle vers des étés plus chauds et plus secs, comportant des événements extrêmes plus fréquents, nécessite un réexamen des plantes culturales courantes, des procédés cultureux usuels ainsi que du mode de conduite des exploitations.

### Cultures

Nombre de nos plantes culturales pourraient présenter des rendements moins réguliers que jusqu'ici en cas d'augmentation de la chaleur en été et de la sécheresse. Il faut donc examiner le potentiel des cultures existantes et des cultures de substitution. Des variétés actuelles peuvent être éventuellement remplacées par des variétés ou espèces plus robustes, qui ne doivent pas forcément faire l'objet d'une nouvelle sélection, mais sont déjà disponibles sous des climats comparables. L'adaptation est moins aisée pour des cultures spéciales pluriannuelles (p.ex. dans la production fruitière et la viticulture).

Les compétences nationales en matière d'examen des variétés (maintien du savoir-faire) constituent un facteur important pour l'importation de nouvelles variétés de plantes utiles. L'examen des variétés permet aussi, en privilégiant l'angle des changements climatiques et des modifications du complexe des ravageurs, de sélectionner des variétés très compétitives et résistantes, qui se caractérisent aussi par une plus grande tolérance du point de vue de la météo, du rendement et de la qualité.

Pour mieux répartir le risque de mauvaises récoltes, il faudrait tendre, au moins à l'échelon régional, à un mélange varié de cultures, sans pour autant revenir à l'exploitation de petite surface (cf. Exploitation). Au niveau de l'exploitation, une plus grande stabilité des rendements de la production fourragère, mais aussi céréalière, peut être obtenue par des mélanges de variétés. Des cultures qui ne peuvent pas être adaptées aux changements climatiques (p.ex. l'avoine) devront être remplacées par d'autres (p.ex. soja, riz sec). Les melons, raisins de table ou agrumes pourraient prendre une place plus importante parmi les cultures spéciales, pour obtenir une rentabilité élevée.

### Procédés cultureux

La technique moderne a déjà rendu l'agriculture moins dépendante de la météo et conduit à une amélioration de la qualité du fourrage. Dans la production fourragère, les fauches ont lieu aujourd'hui plus tôt (à quantité moindre de biomasse ou indice de surface des feuilles plus bas), ce qui permet d'obtenir une meilleure qualité. Le processus d'adaptation pourra se poursuivre à l'avenir avant tout dans les prairies intensives entretenues, mais moins dans les prairies extensives.<sup>20</sup> Il sera possible de diminuer aussi les pertes de rendement dans les grandes cultures en adaptant le moment des semences en fonction des températures plus hautes. Il s'ensuivra de nouvelles possibilités d'organiser les assolements.

L'augmentation attendue de la sécheresse en été contraindra les agriculteurs à économiser l'eau. Des mesures possibles consisteront à avancer les semences ou la fumure de couverture, à couvrir le sol de façon aussi complète que possible avec des matériaux végétaux vivants ou morts ou encore à renoncer au labourage en été. Ces mesures diminueront en même temps l'érosion du sol par ruissellement lors de fortes précipitations. La forme la plus judicieuse de culture ménageant la structure du sol est le semis direct. Mais il exige, avant tout par temps humide, des mesures d'accompagnement contre la prolifération des mauvaises herbes, escargots ou champignons et plus généralement contre une concurrence excessive de cultures recouvrant le sol.

Dans les sites disposant d'assez d'eau pour l'irrigation artificielle, l'eau d'irrigation devra être utilisée de façon aussi efficace que possible. Des mesures à cet égard sont l'application judicieuse de l'irrigation goutte à goutte dans les cultures en sillons et l'arrêt de l'irrigation par aspersion quand il y a du soleil. Enfin, il ne faut pas habituer les plantes à une irrigation trop précoce ou trop fréquente, mais les laisser développer des racines efficaces. Le savoir-faire à ce sujet devra être élaboré pour la Suisse et entrer à l'avenir dans les cycles de formation.

### Conduite d'exploitation

Le réchauffement climatique prolongera la période de végétation et augmentera le nombre des jours de travail aux champs. Ces changements auront des implications pour la conduite d'exploitation:

Les procédés culturaux hautement mécanisés, répondant à des exigences particulières en ce qui concerne le passage des machines et le travail du sol, deviendront de plus en plus intéressants. Des machines chères et efficaces permettront une meilleure exploitation de leur capacité et – dans le cas de la récolte d'ensilage – se prêteront mieux à une utilisation différée en montagne (fig. 5). En outre, s'il fait plus souvent beau temps, il sera plus facile de disposer de main-d'œuvre à court terme. Dans l'ensemble, la productivité du travail augmentera, tandis que les coûts de production diminueront. Ces avantages pourraient toutefois être anéantis par une fréquence plus élevée des dommages dus aux intempéries ou une hausse des coûts d'assurance.

En montagne, le réchauffement climatique apportera un raccourcissement bienvenu de la longue période d'affouragement d'hiver. Les besoins en fourrage conservé diminueront du même coup, ce qui non seulement facilitera la fenaison, mais réduira aussi les dépenses en matière de construction d'entrepôts pour le fourrage et les engrais.

Les précipitations étant moins abondantes en été, le risque de sol mouillé et tassé diminuera aussi en montagne. Les sols lourds notamment seront ainsi moins tassés par le passage de machines lourdes. En même temps, le danger s'atténuera de voir les

sols perdre toujours plus de leur capacité d'accumulation et rétention de l'eau et être toujours davantage exposés à l'érosion.

La clairvoyance et l'évaluation des risques deviendront de plus en plus nécessaires en matière de planification. Des mesures prophylactiques devront être prises pour éviter les risques, il serait avisé par exemple de se référer à des cartes de dangers naturels au moment de planifier l'utilisation d'un terrain ou de mettre en œuvre la stratégie de la PLANAT en matière de dangers naturels.<sup>21</sup> Une diversification plus poussée des exploitations comme stratégie de réduction des risques pourrait gagner de nouveau en actualité. Elle permet de compenser les pertes dans une culture par de bons résultats dans d'autres, ceci valant aussi bien pour les grandes cultures que pour la production fourragère. Pour des raisons de rationalisation du travail, il sera judicieux de réaliser un mélange varié de cultures dans le cadre de grandes communautés de producteurs. Pour mieux planifier, l'agriculture aura un grand besoin de prévisions météorologiques mensuelles et saisonnières plus fiables, telles qu'elles sont développées en ce moment par MétéoSuisse.<sup>22</sup>

### Incertitudes

Des prévisions saisonnières seraient très utiles dans la pratique lors de la planification annuelle. Elles seraient un précieux auxiliaire dans la conduite des exploitations, qui devraient disposer d'une large palette de mesures pour le cas où le climat serait plus fortement marqué par des extrêmes.



Figure 5: Le réchauffement climatique offre des possibilités supplémentaires de récolte d'ensilage en balles rondes au printemps et à la fin de l'été. Ceci permet de mieux utiliser la capacité de machines coûteuses.

(Source: Agroscope ART Reckenholz-Tänikon)

## 9. Approvisionnement alimentaire national et global

**Dans l'évaluation du futur approvisionnement national et global en denrées alimentaires, les marchés agricoles internationaux joueront un rôle important. Jusqu'en 2050, la libéralisation des marchés et les adaptations de la politique agricole, de même qu'une demande accrue des pays émergents sur le marché mondial, auront une plus forte influence sur l'approvisionnement en denrées alimentaires que les changements climatiques globaux.**

Les impacts des changements climatiques sur l'approvisionnement alimentaire de la Suisse doivent être considérés dans le contexte de l'ouverture prévisible du marché de l'agriculture pendant les prochaines décennies. Du fait de l'interconnexion croissante des marchés agricoles internationaux, les marchés locaux seront moins marqués par des circonstances locales, car les conséquences se répartiront dans un plus grand système. Ils pourront ressentir en revanche des événements survenant ailleurs dans ce système. L'ouverture complète des marchés agricoles fera reculer des productions comparativement trop chères. Certains produits cultureux pourraient être plus fortement touchés à cet égard que l'élevage.<sup>23</sup>

À l'échelon global, la production agricole se déplacera vraisemblablement vers des régions devenues relativement plus favorables à l'agriculture. Par exemple, l'Europe centrale et septentrionale acquerra des avantages en matière de climat, tandis que les zones semi-arides seront désavantagées à cet égard. Cela pourrait conduire par endroit à une insécurité de l'approvisionnement.

La production céréalière mondiale reculera de façon générale et se déplacera géographiquement. Du fait de ce déplacement, renforcé encore par la libéralisation du commerce, les marchés agricoles et le commerce international prendront davantage d'importance. Les produits se faisant plus rares, les prix monteront sur le marché mondial. Mais les impacts sur les marchés agricoles dépendront fortement de la situation économique et géopolitique générale et varieront selon la région. Le problème de la répartition globale s'accroîtra. Il faudra comp-

ter en outre avec des fluctuations des prix plus importantes du fait de l'amplification attendue des événements météorologiques extrêmes. Les pays d'Afrique souffriront particulièrement des conséquences des changements climatiques. La solidarité entre les pays du Nord et ceux du Sud en matière d'approvisionnement alimentaire prendra encore plus d'importance.

La part de l'agriculture au PIB est marginale en Suisse. Les conséquences des changements climatiques – positives ou négatives – sur l'agriculture seront donc sans grande importance dans l'économie prise dans son ensemble. La demande en denrées alimentaires pourra être couverte en Suisse par des importations et l'on ne s'attend pas à rencontrer des problèmes d'approvisionnement.

Du fait que la Suisse se trouve dans une zone climatique tendanciellement favorable, les avantages comparatifs de cette région augmenteront. De façon générale, il faudra s'attendre à des risques plus élevés, situation qui sera encore renforcée par la mutation structurelle qui conduira à des exploitations plus grandes, disposant de plus de capital, et ayant un plus haut degré de spécialisation. Mais la mutation structurelle conduira aussi à un renforcement de la vitalité, professionnalité et faculté d'adaptation des exploitations.

### Incertitudes

On ne sait pas au juste quel rôle jouera jusqu'en 2050 l'effet direct des changements climatiques sur l'agriculture indigène dans le contexte des autres modifications résultant principalement de l'évolution du marché international.

## Bibliographie et notes

- 1 Bundesamt für Statistik (BFS). Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft. Neuchâtel, 2004.
- 2 Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). Agrarbericht 2005. Bern, 2005.
- 3 S. Flückier, P. Rieder. Klimaänderung und Landwirtschaft – Ökonomische Implikationen innerhalb der Landwirtschaft und ihres Umfeldes aus globaler, nationaler und regionaler Sicht. Vdf Verlag der ETH Zürich, 1997.
- 4 W. Luder, C. Moriz. Raufutterernte: Klimaerwärmung besser nutzen. FAT-Berichte 634, 2005.
- 5 C. Defila. 2004. Regionale Trends bei pflanzenphänologischen Zeitreihen in der Schweiz. Meteorologen-Tagung in Karlsruhe, Langfassung auf CD, 6 Seiten, 2004.
- 6 J. Fuhrer. Elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change: agroecosystem responses. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 2003, 1–20.
- 7 K. Jasper, P. L. Calanca, D. Gyalistras, and J. Fuhrer. Differential impacts of climate change on hydrology of two alpine river basins. In: *Clim Res* 26, 2004, 113–129.
- 8 OcCC (Hg.). *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, 2003.
- 9 J. Fuhrer, M. Beniston, A. Fischlin, Ch. Frei, S. Goyette, K. Jasper, and C. Pfister. Climate risks and their impact on agricultural land and forests in Switzerland. In: *Climate Change* 79, 2006, 79–102.
- 10 C. Schär, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M. Liniger, and C. Appenzeller. The role of increasing temperature variability in European summer heat waves. *Nature* 427, 2003, 332–336.
- 11 P. Calanca (2006). Climate change and drought occurrence in the Alpine region: how severe are becoming the extremes? Accepted for publication in *Global and Planetary Change*.
- 12 J. Doorenbos, A. H. Kassam. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 1979.
- 13 R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 1998.
- 14 K. Jasper, P. Calanca, J. Fuhrer. Changes in summertime soil water patterns in complex terrain due to climatic change. In: *J. Hydrol.* 327, 2006, 550–563.
- 15 B. Clot, R. Gehrig, A. G. Peeters, D. Schneiter, P. Tercier et M. Thibaudon. Pollen d'ambroisie en Suisse: production locale ou transport? In: *Europ. Ann. Allergy and Clinical Immunol.* 34, 2002, 126–128.
- 16 OcCC (Hg.). *Das Klima ändert – auch in der Schweiz*. Bern, 2002.
- 17 R. J. C. Cannon. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. In: *Global Change Biol.* 4, 1998, 785–796.
- 18 R. Harrington, J. S. Bale, and G. M. Tatchell. Aphids in a changing climate. In: R. Harrington and N. E. Stork (Hg.). *Insects in a changing environment*. Academic Press, London, 1995.
- 19 S. M. Coakley, H. Scherm, and S. Chakraborty. Climate change and plant disease management. In: *Ann. Rev. Phytopathol.* 37, 1999, 399–426.
- 20 A. Lüscher, J. Fuhrer, and P. C. D. Newton. Global atmospheric change and its effect on managed grassland systems. In: D. C. McGilloway (Hg.). *Grassland – a global resource*. Wageningen Academic Publishers, 2005, 251–264.
- 21 PLANAT. Strategie Naturgefahren Schweiz. Biel, 2005. ([http://www.planat.ch/ressources/planat\\_product\\_de\\_543.pdf](http://www.planat.ch/ressources/planat_product_de_543.pdf))
- 22 W. Müller. Analysis and prediction of the European winter climate. Veröffentlichung der MeteoSchweiz, Nr. 69, 2004.
- 23 Cf. [www.blw.admin.ch](http://www.blw.admin.ch) (études de la FAT ou de l'Institut für Agrarwirtschaft de l'EPF de Zurich)



# Economie des eaux

## Auteurs

Bruno Schädler, présidence	Hydrologie, Office fédéral de l'environnement OFEV
Bodo Ahrens	Atmospheric and Climate Science, EPF Zurich
Rudolf Feierabend	Schweiz. Vereinigung für Schifffahrt & Hafenwirtschaft
Christoph Frei	Services climatologie, MétéoSuisse, Zurich
Roland Hohmann	Rédaction, OcCC, Berne
Thomas Jankowski	Ressources en eaux et eau potable, EAWAG
Ronald Koziel	Hydrogéologie, Office fédéral de l'environnement OFEV
David M. Livingstone	Ressources en eaux et eau potable, EAWAG
Armin Peter	Ecologie aquatique appliquée, EAWAG
Armin W. Petrascheck	Ennetbaden
Martin Pfaundler	Section Gestion des Eaux, Office fédéral de l'environnement OFEV
Andreas Schild	Améliorations structurelles, Office fédéral de l'agriculture OFAG



## 1. Introduction

### Situation

L'économie des eaux inclut toutes les activités humaines ayant trait à l'utilisation et à la protection de l'eau ainsi qu'à la protection contre les dangers de l'eau. Les changements climatiques influent sur ces fonctions de l'économie des eaux du fait qu'ils modifient le cycle hydrologique (cf. chapitre Fondements).

Dans le présent chapitre, les effets des changements climatiques sur l'économie des eaux sont traités en détail pour les domaines suivants:

- Changements dans les eaux naturelles (lacs, biodiversité, poissons)
- Dangers naturels de l'eau (crues, sécheresse)
- Offre et besoin en eau (reconstitution des eaux souterraines, besoins en eau potable et en eau industrielle)
- Utilisations de l'eau (énergie, navigation sur le Rhin)
- Gestion des ressources en eau

Les changements climatiques ont une influence aussi sur d'autres domaines de l'économie des eaux, comme par exemple la navigation intérieure, la valeur récréative de l'eau et l'utilisation de l'eau dans la production de biens. Quoique ces thèmes, et d'autres encore, soient importants, ils ne sont pas abordés ici.

L'économie des eaux n'est pas influencée seulement par les changements climatiques, mais aussi par les activités humaines. Dans le passé, la pression démographique, les changements d'affectation des sols, la consommation et pollution des eaux étaient les facteurs déterminants qui modifiaient constamment ce secteur. Comme conséquences des changements climatiques, il faut considérer non seulement les changements ayant trait à l'utilisation, mais aussi ceux relatifs à l'offre d'eau. On ne sait pas au juste si les modifications en matière d'offre et de consommation d'eau deviendront plus importantes à l'avenir. Dans le cas le moins favorable, elles évolueront en sens contraire (diminution de l'offre et augmentation de la demande).

### Tour d'horizon

#### Basses eaux

Comparée à d'autres régions du monde, la Suisse, qui dispose de quelque 5560 m<sup>3</sup> d'eau par année et habitant, se trouve dans une situation favorable

(Israël 115, Pays-Bas 690, Allemagne 1305, Espagne 2785 m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup> hab<sup>-1</sup>). Les précipitations abondantes ainsi que l'effet équilibrant de la fonte des neiges et – dans une mesure qui va diminuant – des glaciers concourent, à l'avenir aussi, à une offre d'eau comparativement élevée.

Suite aux changements climatiques, l'offre d'eau diminuera en été et en automne (cf. chapitre Fondements). Pendant les étés caniculaires, qui seront plus fréquents, même les cours d'eau grands et moyens du Plateau pourront présenter des niveaux aussi bas qu'en hiver. Ceci entraînera aussi la baisse du niveau des eaux souterraines dans les alluvions de vallée pendant l'arrière saison d'été et l'automne.

En même temps, les besoins de l'agriculture en eau d'irrigation augmenteront. Les besoins en eau des écosystèmes de rivières entreront en concurrence avec ceux de différents utilisateurs et régions, en particulier en ce qui concerne l'utilisation de l'eau souterraine et de celle de petits et moyens cours d'eau. Cette situation de concurrence a des impacts multiples:

- Dans l'agriculture, le manque d'eau peut conduire à des baisses de production.
- La production d'électricité sera affectée par l'offre réduite en eau et les températures de l'eau plus élevées (force hydraulique, prélèvement d'eau de refroidissement).
- Il faut s'attendre à l'avenir à des limitations de la navigation sur le Rhin pendant l'été et l'automne.

#### Crues

Le potentiel de dommages des crues a augmenté de façon marquée pendant les cinquante dernières années. La raison en est la croissance de la population et de l'économie: il se trouve toujours davantage de biens d'infrastructures dans des zones exposées. Cette évolution se poursuivra à l'avenir.

Les scénarios climatiques actuels indiquent une augmentation des précipitations moyennes et de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations pendant le semestre d'hiver. En outre, les précipitations tomberont plus fréquemment sous forme de pluie que de neige. Ces changements font attendre un accroissement de la fréquence des crues avant tout en hiver; ils conduiront aussi à des niveaux des crues plus hauts, avant

tout sur le Plateau et dans le Jura ainsi que dans les Préalpes au-dessous d'environ 1500 mètres. Il n'est pas encore possible de donner des indications précises pour l'été.

Tant l'augmentation attendue du potentiel de dommages que la possibilité de crues plus fréquentes exigent de renforcer la protection contre les hautes eaux. Une réponse possible à ces incertitudes sont les mesures dites de non-regret, qu'incarne par exemple la protection durable contre les crues: si l'intensité des crues reste inchangée, la renaturation et l'élargissement des cours d'eau sont un gain pour l'écosystème; si elle augmente en conséquence des changements climatiques, le risque accru est compensé au moins en partie et minimisé du fait de la prise en compte des surcharges.

### **Ecologie**

La hausse des températures de l'eau aura aussi sur les écosystèmes aquatiques des effets inattendus, qui ne peuvent toutefois pas être estimés.

Dans les lacs, le réchauffement conduira à une stratification en densité plus stable et à une diminution de la teneur en oxygène de l'eau profonde. Il s'ensuivra une augmentation du risque de manque d'oxygène dans les lacs mésotrophes et peut-être aussi oligotrophes.

### **Mesures**

La gestion régionale/suprarégionale des ressources se présente comme mesure contre les basses eaux. Elle nécessite une nouvelle approche dans le sens d'une gestion intégrale, incluant les eaux de tout un bassin versant.

La gestion des lacs permet de réduire et déplacer les variations. A l'avenir, les actuels schémas de régulation devront être adaptés en fonction des nouvelles conditions (nouvelles fonctions des objectifs et optimisation des buts). La pression incitant à gérer des lacs aujourd'hui non régulés augmentera à l'avenir. On connaît mal les problèmes écologiques y relatifs. Il faut s'attendre à des impacts sur la végétation des rives, par exemple sur les effectifs de roseaux et sur d'autres communautés de plantes qui sont dépendants des variations naturelles du niveau des eaux.

La stratégie souple de la Suisse en matière de crues implique des mesures d'aménagement du territoire visant à limiter le potentiel de domma-

ges, la diminution de la vulnérabilité des objets, des mesures de protection en matière de génie civil ainsi que des mesures d'urgence en cas de surcharge. Cette stratégie a fait ses preuves lors des crues d'août 2005. Partout où elle a été mise en œuvre, les dommages ont pu être sensiblement réduits en comparaison d'autres crues semblables. Un réexamen permanent de la situation du point de vue des risques est une condition pour assurer l'efficacité à long terme de cette stratégie, car tant le potentiel de dommages que le danger se modifient continuellement.

A l'avenir, les bassins d'accumulation alpins pourraient servir davantage aussi à retenir les pointes de crues. Leur utilisation comme installations polyvalentes prendra plus d'importance.

### **Lien avec d'autres thèmes**

#### **Agriculture**

Besoins de l'agriculture en eau d'irrigation. Baisse de production à cause du manque d'eau d'irrigation..

#### **Tourisme**

Effets sur le tourisme des dangers naturels relatifs à l'eau. Effets sur le tourisme des changements de l'offre en eau (niveaux des lacs et des cours d'eau plus bas en été: baignade / navigation voyageurs). Approvisionnement en eau des installations d'enneigement.

#### **Energie**

Production hydroélectrique en cas d'offre réduite en été et automne. Influence d'événements extrêmes sur la force hydraulique. Influence de la hausse de température de l'eau sur l'utilisation d'eau de refroidissement par les centrales thermiques et nucléaires dotées d'un refroidissement en circuit ouvert (Beznau et Mühleberg). Changements dans la demande en énergie en été et hiver.

#### **Secteur financier**

Besoins en investissements. Assurances contre les dommages.

#### **Infrastructures**

Protection contre les crues, installations d'irrigation, canalisation, mise en réseau des systèmes dans le sens d'une gestion intégrale des eaux.

## 2. Changements affectant les cours d'eau naturels

### Température de l'eau

**Les changements climatiques ont une influence immédiate sur les températures de l'eau. En Suisse, les températures de l'eau des rivières et de la couche superficielle des lacs du Plateau augmenteront d'ici 2050 d'environ 2 °C par rapport à 1990.<sup>1</sup> Le risque de manque d'oxygène s'accroîtra dans les eaux profondes des lacs du Plateau.<sup>2</sup>**

Au cours des décennies passées, les températures de l'eau des rivières ont augmenté parallèlement aux températures de l'air (figure 1).<sup>3</sup> Dans les lacs, le réchauffement fut plus important dans la couche superficielle soumise à l'action du brassage qu'en profondeur. La stabilité de la stratification en densité a ainsi augmenté et la période de stratification stable dure plus longtemps en été. Dans le lac de Zurich,<sup>4</sup> un réchauffement de 0.24 °C par décennie a été observé depuis les années 1950 dans la couche de surface et de 0.13 °C par décennie en eau profonde. La stratification stable dure en gros deux à trois semaines de plus.

Dans les lacs du Plateau qui ne sont pas périodiquement gelés, la fréquence des brassages tend à diminuer en hiver. De ce fait, moins d'oxygène parvient dans les eaux profondes. Ce n'est pas le cas des lacs situés en altitude, qui sont régulièrement gelés; mais le brassage y a lieu plus tôt au printemps et plus tard en automne.

Selon le scénario, les cours d'eau se réchaufferont d'environ 2° C d'ici 2050 par rapport à 1990. Dans les lacs du Plateau, la couche de surface continuera de se réchauffer davantage que l'eau profonde et la stabilité et la durée de la stratification en densité augmenteront. La durée de la période pendant laquelle un brassage complet peut avoir lieu se raccourcira encore, la fréquence des brassages et l'apport d'oxygène dans l'eau profonde continueront de diminuer. Dans les lacs qui présentent aujourd'hui une teneur suffisante en oxygène, le risque de manque d'oxygène s'accroîtra en profondeur.

Avec les changements climatiques, il faut s'attendre à ce que les lacs du Plateau situés à basse altitude gèlent plus rarement et que la couverture de glace de ceux situés plus haut persiste moins longtemps. Dans les lacs de montagne, la diminution de la couverture annuelle de glace entraînera une augmentation de la production biologique et un besoin accru en oxygène.

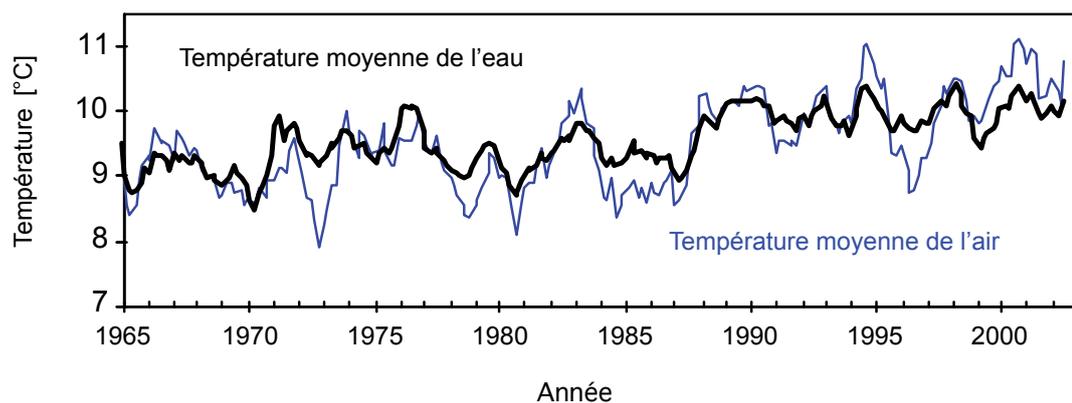


Figure 1: L'augmentation de la température moyenne de l'eau dans les lacs suisses (courbe noire) depuis 1965 évolue parallèlement à l'accroissement de la température moyenne de l'air (courbe bleue).<sup>3</sup>

## Organismes microscopiques et de petite taille

**Les températures de l'eau de surface des lacs ont augmenté en hiver au cours des dernières décennies, ce qui a accru la stabilité thermique et modifié les conditions de circulation. Il s'en est ensuivi des décalages temporels dans la chaîne alimentaire et – dans les lacs bénéficiant d'une teneur suffisante en oxygène – une diminution de la diversité du plancton. Dans les lacs qui présentent aujourd'hui une teneur suffisante en oxygène, le réchauffement futur peut conduire à une dégradation des conditions de vie.<sup>2</sup>**

Des prévisions approfondies sur les changements qui affecteront la biodiversité aquatique jusqu'en 2050 ne sont pas possibles dans l'état actuel des connaissances. La faculté et la vitesse d'adaptation sont spécifiques aux espèces et ne peuvent pas être prévues. Par contre, certains changements peuvent faire l'objet de prévisions qualitatives. Dans les lacs, la chaîne alimentaire subit un décalage temporel sous l'effet du réchauffement. Au printemps, la pression de prédation du zooplancton met fin à la floraison des algues. Suit alors ce qu'on appelle la phase des eaux claires. Vu que le zooplancton présente des taux de croissance et de prédation plus élevés lorsque la température de l'eau est plus haute, la période des eaux claires a lieu plus tôt après des hivers chauds qu'après des hivers froids. Il ressort des observations que la phase des eaux claires a pris une avance d'en-

viron deux semaines au cours des vingt dernières années en raison du réchauffement. Selon le scénario climatique, la phase des eaux claires continuera de prendre de l'avance à l'avenir; ceci n'est toutefois pas possible à l'infini.

Depuis les années 1970, des mesures coûteuses (épuration des eaux usées, collecteurs périphériques) ont fait diminuer les concentrations hivernales en phosphate. Simultanément, on observe une augmentation de la diversité du phytoplancton. Les températures hivernales chaudes pendant les dernières décennies ont eu un effet négatif sur la diversité du phytoplancton dans les lacs présentant une teneur en oxygène suffisante. Cette évolution se poursuivra probablement avec le réchauffement futur. L'influence de ce dernier n'est pas claire pour les lacs dont la teneur en oxygène est insuffisante.

## Poissons

**Le réchauffement des eaux a une influence sur les poissons d'eau froide; l'habitat propice à ces animaux se rétrécit et la composition en espèces se modifie. Tant les poissons d'eau froide que d'eau chaude profitent des hivers plus chauds.**

Dans le passé, les interventions humaines dans l'hydrologie et la morphologie des cours d'eau étaient des facteurs d'influence importants pour les poissons. Cela restera vrai à l'avenir. Suite au réchauffement des cours d'eau suisses de 0.4-1.6 °C au cours des vingt-cinq dernières années (figure 1), la zone à truites s'est retirée 100-200 m plus haut.<sup>3</sup> Une évolution similaire a été observée en Amérique du Nord: dans les Montagnes Rocheuses, la surface propice à l'habitat des truites a diminué de 17% pour un réchauffement de l'eau de 1 °C en juillet.<sup>5</sup>

Des estimations montrent que pour un réchauffement de 2 °C jusqu'en 2050, les espaces de vie des salmonidés diminueront en Suisse de  $\frac{1}{5}$  à  $\frac{1}{4}$  par rapport à aujourd'hui. Tant les poissons d'eau froide que d'eau chaude profitent de températures hivernales plus chaudes; leurs phases de croissance durent plus longtemps et les poissons grandissent plus vite. Une conséquence sera que les eaux deviendront plus propices aux carpes (cyprinidés) et à des espèces de poissons exotiques. Des maladies telles que la MPR (maladie proliférative des reins) se propageront avec l'augmentation de la température des eaux.<sup>6</sup>

### 3. Dangers naturels de l'eau

**Suite aux changements climatiques, il faut s'attendre à des crues plus nombreuses et en partie plus importantes en hiver et au printemps à des altitudes inférieures à env. 1500 m. Les périodes sèches augmenteront de façon marquante en été.**

#### Crues

La formation de crues dépend fortement du régime des précipitations. Dans le passé, il y avait des périodes pendant lesquelles les crues étaient nombreuses et d'autres où ces événements étaient moins fréquents. Il semble que depuis environ vingt ans, les grosses crues (été 1987, septembre 1993, mai 1999, octobre 2000, août 2005) se produisent plus souvent qu'au cours des décennies antérieures du 20<sup>e</sup> siècle.

Une analyse des tendances des écoulements mesurés<sup>7</sup> dans les petits et moyens bassins versants de Suisse (période 1930–2000) a permis de constater une augmentation des écoulements annuels dans nombre des cours d'eau examinés. Elle est causée principalement par un accroissement des écoulements en hiver et au printemps. L'augmentation observée des précipitations hivernales intenses<sup>8</sup> peut expliquer, au moins en partie, cette tendance des écoulements.

Selon l'état actuel des connaissances, différents changements dans le régime des précipitations sont possibles à l'avenir, qui peuvent influencer sur la fréquence des crues (cf. chapitre Fondements). On compte avec une augmentation des précipitations moyennes en hiver. Celles-ci tomberont plus souvent et jusqu'à de plus grandes altitudes

sous forme de pluie au lieu de neige. Ces deux facteurs devraient conduire à un accroissement des écoulements moyens en hiver et jusqu'au cours du printemps.<sup>9,10</sup> En outre, nombre d'analyses au moyen de modèles climatiques globaux et régionaux concluent que l'intensité moyenne des précipitations et la fréquence des précipitations fortes et extrêmes devraient augmenter en hiver en Europe centrale et septentrionale.<sup>11,12,13,14</sup> Le dépouillement de résultats récents de modélisations indique aussi une augmentation des fortes précipitations en Europe centrale au printemps et en automne. Les résultats pour l'été divergent fortement. Il n'est guère possible non plus de fournir des données qualitatives pour cette saison, mais dans de nombreux modèles, la diminution des précipitations moyennes va de pair avec une plus forte intensité des précipitations.<sup>11,15</sup>

A part l'intensité et la durée des précipitations, l'état du bassin versant joue aussi un rôle décisif dans la formation des crues. La capacité d'écoulement est plutôt réduite en été par l'augmentation moyenne de la température et la diminution des précipitations.

En raison des changements attendus dans le régime des précipitations, il faut compter – avant tout en hiver et pendant les saisons de transi-

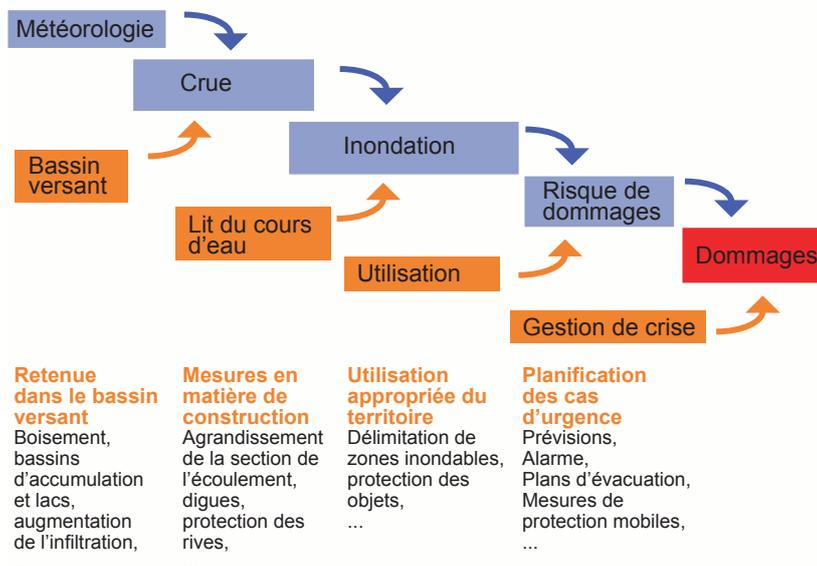


Figure 2:  
Les crues ne causent des dommages que lorsque toute une série de conditions sont réunies. Il s'ensuit qu'il existe aussi de nombreuses possibilités de faire face à ces événements.  
(Source: OFEG – OFEV).

### Détournement en cas de surcharge

Afin de limiter les dégâts à un niveau supportable en cas de crue d'ampleur exceptionnelle, les masses d'eau excédentaires sont déviées vers des aires moins sensibles en termes de dommages. Cette mesure d'urgence a été appliquée lors de la crue d'août 2005. Entre 25 et 50% du débit de crue a été dévié vers des places de sport, des aires agricoles, des parkings et d'autres zones peu sensibles situées en marge de l'agglomération. Ce type de mesure doit être préparé au niveau des constructions et de l'aménagement du territoire.



Figure 3: En août 2005, la crue de l'Engelberger Aa a été déviée de manière à éviter la zone construite, sensible en termes de dommages. (Source: Forces aériennes suisses)

tion et surtout dans les moyens et grands bassins versants du Jura, du Plateau, des Préalpes et du Tessin – avec des crues plus fréquentes et en partie plus grandes que dans les conditions climatiques actuelles. A ceci s'ajoute que l'augmentation de la température entraîne une alternance plus fréquente entre chute et fonte de neige; il s'ensuit qu'en bordure des Alpes, l'écoulement est souvent la somme de plusieurs précipitations journalières. Vu que l'évaporation est faible en hiver, il ne faut pas s'attendre à des effets de compensation significatifs. Dans les petits bassins versants du Plateau et dans les Alpes, les plus grandes crues surviennent le plus souvent en été après des averses orageuses courtes mais intenses. On ne sait pas au juste si et dans quel sens leur fréquence changera.

En haute montagne, on ne s'attend pas à ce que les crues subissent une influence significative, car même si les précipitations augmentent en hiver, elles ne formeront toujours pas de crues, vu qu'elles tombent en partie sous forme de neige. On s'attend à une intensification de la fonte des neiges au printemps. Il pourrait s'ensuivre une augmentation du danger de crues en cas de superposition de la fonte des neiges et d'épisodes de pluie. En été, il faudra compter généralement avec moins d'eau de fonte et des sols plus secs. Les dommages dus aux crues sont la conséquence du conflit entre l'extension naturelle des crues et l'utilisation humaine des bassins versants (figure 2). Au cours des cinquante années passées, le potentiel de dommages des crues a fortement

augmenté; c'est une conséquence du développement économique. Toujours plus d'infrastructures sont construites dans des zones exposées. Indépendamment des changements climatiques, ce potentiel de dommages plus élevé exige un renforcement de la protection contre les crues.

En matière de protection contre les crues, la Suisse suit une stratégie souple qui vise en premier lieu à éviter des dommages, et non forcément à empêcher les inondations. Cette stratégie implique une série de mesures qui, vu les incertitudes, doivent être appliquées en combinaison. Les principes suivants sont importants à cet égard:

- Des mesures d'aménagement du territoire doivent être prises pour empêcher le potentiel de dommages de s'accroître encore plus; il faut éviter de bâtir dans des zones menacées.
- En ce qui concerne les bâtiments existants, et dans les zones moins menacées, la vulnérabilité des objets doit être atténuée par une protection adéquate. Cela permet de freiner l'augmentation future du potentiel de dommages et de rendre moins souvent nécessaires des mesures de génie civil.
- Des mesures de génie civil sont prises lorsque l'aménagement du territoire et la protection des objets ne suffisent pas. Leur ampleur est à déterminer selon des critères économiques, ce qui implique de considérer les objectifs de protection de façon nuancée – plus les valeurs à protéger sont grandes, plus le niveau de protection doit être élevé. Pour les sites construits existants, les évaluations se basent d'ordinaire sur une crue centennale ou tricentennale.
- Que les probabilités calculées pour la crue de projet soient valables ou non, une crue de plus grande ampleur peut survenir. Une planification d'urgence doit être préparée pour ce cas de surcharge. Son but est de limiter les dommages à un niveau supportable au cas où l'ampleur du sinistre dépasserait nettement la crue de projet. Les concepts envisageables peuvent prévoir des évacuations, des digues mobiles ou des mesures d'aide d'urgence (cf. encadré).

L'avantage essentiel de cette stratégie est que les ouvrages de protection sont dimensionnés sur la base de probabilités connues. Leur rentabilité est ainsi assurée pour les conditions actuelles et le sera dans une mesure encore plus grande si le danger de crues s'accroît dans un climat futur. La prise en compte d'une crue beaucoup plus importante dans la planification limite jusqu'à un certain degré les dommages aussi en cas d'augmentation du danger de crue. Elle procure un sursis jusqu'à ce que des bases plus fiables soient à disposition quant à l'évolution de la situation du risque. Le suivi permanent de cette dernière est la condition d'une efficacité à long terme, vu que tant le potentiel de dommages que la situation du danger se modifient sans cesse.

### Sécheresse

En Suisse, les dernières grandes sécheresses remontent à 1947 et 2003. La canicule de l'été 2003 a causé pour environ 500 millions de CHF de dommages dans l'agriculture. Elle n'a toutefois pas provoqué un manque d'eau mettant la vie en danger. Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, on n'a pas relevé de tendance systématique de la fréquence de longues périodes sans précipitations.<sup>8</sup>

Selon le scénario, les précipitations diminueront en été et la probabilité de périodes sèches augmentera. Les modélisations prévoient aussi une augmentation des périodes extrêmement sèches.

Comparée à d'autres régions du monde, la Suisse se trouve aujourd'hui dans une situation favorable. Les précipitations abondantes ainsi que l'effet équilibrant de la fonte des neiges et – dans une mesure qui va diminuant – des glaciers concourent, à l'avenir aussi, à une offre en eau comparativement élevée. Pour prévenir des pénuries dans l'approvisionnement en eau, les infrastructures y relatives doivent être développées à temps avec mesure, en prenant en considération les prévisions des besoins et la durée des travaux.

Dans le régime d'écoulement des hautes Alpes, qui dépend de la couverture neigeuse hivernale et de la fonte des neiges, l'augmentation des températures et des précipitations hivernales devrait conduire à de plus hauts niveaux des eaux durant la période d'étiage d'hiver.

## 4. Offre et besoin en eau

### Reconstitution des eaux souterraines

**Suite aux changements climatiques, la reconstitution des eaux souterraines tendra à augmenter en hiver et à diminuer en été et en automne. Dans l'ensemble, les niveaux des eaux souterraines baisseront légèrement.**

83% des besoins de la Suisse en eau potable et industrielle sont couverts par les eaux souterraines, soit 44% provenant de sources dans les aquifères en milieu karstique et fissuré et 39% de puits filtrants en roche meuble (figure 4). Les aquifères dans la roche meuble présentent un écoulement lent de l'eau souterraine et sont en général importants. En milieu karstique, l'eau souterraine s'écoule rapidement, raison pour laquelle ces sources ont d'importants débits à la suite de précipitations. Les sources en milieu fissuré ont un écoulement plus régulier, mais sont en général peu productives. C'est pourquoi les divers types d'aquifères réagissent aux changements climatiques dans une mesure et des délais différents.

Suite aux changements climatiques pronostiqués, la reconstitution des eaux souterraines va plutôt augmenter en hiver du fait que les précipitations tomberont davantage sous forme de pluie. En été et en automne, la reconstitution des eaux souterraines diminuera en raison de températures plus hautes, de l'augmentation des périodes sèches ainsi que de la concentration sous forme de fortes précipitations

sur le Plateau et dans les Préalpes. L'infiltration des eaux de surface alpines diminuera un peu.

Ces changements dans la reconstitution des eaux souterraines ont pour effet que le débit des sources proches de la surface et alimentées par un bassin versant de faible étendue, de même que celui des aquifères karstiques, subiront des variations saisonnières plus fortes et pourront en partie tarir en été et en automne. Dans les gisements d'eau souterraine situés dans des alluvions de vallée sous le régime d'écoulement du Plateau, il faut s'attendre à une baisse du niveau des eaux souterraines en été et en automne. Les niveaux des nappes pluvéatiques dans les alluvions de vallée sous régime d'écoulement alpin, qui présentent leur maximum saisonnier en été, n'enregistreront qu'une faible baisse. Néanmoins, il faut compter, dans ce cas aussi, avec des niveaux plus bas pendant les étés caniculaires, qui seront plus fréquents, et pendant l'arrière-saison d'été et l'automne, en raison du ralentissement de la fonte des glaces. On s'attend également à une légère baisse des niveaux des aquifères profonds.



Figure 4: Répartition de différents aquifères en Suisse.<sup>16</sup>

### Besoin en eau potable et en eau industrielle

**En conséquence des changements climatiques, les situations de concurrence entre différents utilisateurs et utilisations de l'eau seront plus fréquentes. Les conditions d'approvisionnement en eau potable ne seront affectées que localement et pendant des durées limitées. Les besoins en eau d'irrigation augmenteront dans l'agriculture.**

Les changements climatiques influent sur les conditions d'approvisionnement en eau potable. Les effets diffèrent fortement selon la région et la période. Les mesures destinées à

éviter les difficultés d'approvisionnement en eau potable et à augmenter la sécurité à cet égard incluent l'utilisation d'eaux de surface (lacs), le développement des réseaux d'eau pota-

ble et l'exploitation de nouvelles ressources en eau souterraine.

La baisse des précipitations en été fait diminuer les réserves d'eau dans le sol. Des températures plus élevées entraînent une évaporation plus intense et accroissent le besoin des plantes en eau (transpiration). Des périodes sèches plus longues et plus fréquentes conduisent ainsi à un assèchement du sol. Par la suite, l'encroûtement du sol réduit par endroit la capacité de ce dernier à absorber l'eau et les fentes de sécheresse diminuent son aptitude à la stocker; la capacité de formation d'humus s'amointrit.

La diminution de l'offre en eau et l'augmentation des besoins d'irrigation de l'agriculture conduiront à une situation de concurrence entre différents utilisateurs et utilisations, impliquant par exemple les riverains concernés. L'eau deviendra un bien disponible en quantités toujours plus mesurées en été – encore que les situations de pénurie resteront limitées dans le temps et dans l'espace. Il deviendra toujours plus nécessaire de l'exploiter judicieusement, ce qui aura des conséquences sur les priorités, les droits et les prix d'utilisation. L'introduction de mesures de compensation et d'irrigation nécessitera d'une part des règles et d'autre part de nouvelles infrastructures.

## 5. Utilisation de l'eau

**La production d'énergie est une forme d'utilisation très importante de l'eau en Suisse. Suite aux changements climatiques, la quantité d'électricité générée dans des centrales à accumulation et au fil de l'eau diminuera. La navigation sur le Rhin sera perturbée plus souvent à l'avenir par de longues périodes de très bas niveau des eaux.**

### Energie

La Suisse couvre en gros 60% de sa demande en électricité, soit  $\frac{1}{8}$  de ses besoins totaux en énergie, par la force hydraulique.

Les changements climatiques conduiront, en particulier dans l'espace alpin, à une correction saisonnière des régimes d'écoulement. Les débits augmenteront en hiver et au printemps et diminueront en été et en automne. Les exploitants de centrales électriques disposeront ainsi d'une plus grande marge de flexibilité. A l'avenir, la gestion des capacités d'accumulation prendra en compte, à part la compensation des variations saisonnières, également les fluctuations du marché de l'électricité. Dans l'ensemble, il faut s'attendre à une baisse de la production hydroélectrique par les centrales à accumulation, du fait que moins d'eau sera à disposition: les précipitations annuelles diminueront et l'évaporation augmentera.

Les basses eaux pendant l'arrière-saison d'été et l'automne limiteront la production de courant des centrales au fil de l'eau sur le Plateau. Celles-ci pourront d'autre part tirer parti des débits plus importants en hiver et au printemps, étant donné qu'aujourd'hui, la capacité des turbines n'est guère utilisée pleinement pendant cette période de l'année.<sup>17</sup> Il faudra compter dans l'ensemble avec une légère dimi-

nution de la production d'électricité des centrales au fil de l'eau.<sup>18</sup>

Les crues et l'instabilité des pentes augmenteront avec les changements climatiques; de grands mouvements de terrain notamment pourront menacer des installations annexes des centrales, comme p.ex. des conduites d'eau sur des pentes raides. De même, le transport de sédiments, le charriage de fond et les débris flottants pourraient augmenter et donc amplifier et accélérer le comblement des lacs d'accumulation.<sup>19,20</sup>

La production d'électricité des centrales nucléaires et d'autres centrales thermiques sera aussi affectée par les changements climatiques. En raison de la hausse des températures de l'eau et de la diminution des débits, les cours d'eau fourniront moins de capacité de refroidissement à ces installations, ceci notamment durant des canicules comme celle de l'été 2003.

De par la politique climatique, la force hydraulique acquerra des avantages économiques en tant qu'énergie renouvelable et neutre du point de vue du CO<sub>2</sub>.

### Navigation sur le Rhin

15% de la quantité de marchandises relevant du marché extérieur passent par les ports du Rhin, et même 35% de celle des produits pétro-

liers. Chaque année, 9 millions de tonnes de marchandises sont acheminées en Suisse par le Rhin.

Les basses et hautes eaux peuvent amener à limiter la navigation sur le Rhin. En 2003, la quantité transportée a marqué un recul de 5.8% et la performance du transport diminué de 9.9% par rapport à l'année précédente. Cette baisse est à attribuer en premier lieu au faible débit pendant la seconde moitié de l'année. En raison du bas niveau des eaux, les bateaux ne pouvaient pas supporter la même charge qu'en situation normale. En cas de hautes eaux, la navigation sur le Rhin est interrompue lorsque le niveau des eaux à Rheinfelden est supérieur à 4.30 m. En mai 1994, la navigation entre Bâle et Rheinfelden a été suspendue durant treize jours. En 1999, elle a été interrompue durant cinq jours en février et durant trente-huit jours du 12 mai au 16 juin.

Les changements climatiques auront une influence sur l'écoulement. Actuellement, le Rhin a un débit stable, grâce à l'alimentation par l'eau de fonte et aux précipitations dans les Alpes au printemps et en été, et grâce aux précipitations dans les régions de plus basse altitude en automne et hiver. Aujourd'hui, l'eau provenant de la fonte de la couverture neigeuse hivernale et des glaciers est une source importante assurant un écoulement régulier en périodes de faibles précipitations. Cette influence compensatrice diminuera en permanence avec la fonte des glaciers. La probabilité de longues périodes de très bas niveau des eaux augmentera jusqu'en 2050. Bien que cela ne compromette pas le maintien de la navigation sur le Rhin, la fiabilité de cette dernière tout au long de l'année pourrait être affectée. Les progrès des prévisions saisonnières de l'évolution du temps et donc aussi du niveau des eaux simplifieront à l'avenir la planification logistique et rendront celle-ci plus sûre.

## 6. Gestion renforcée des ressources en eau

**La Suisse dispose aujourd'hui d'une offre en eau assez bien équilibrée dans l'espace et le temps. En raison des changements climatiques, l'offre naturelle en eau ne couvrira plus tout le temps ni partout les besoins futurs.**

Comme conséquence des changements climatiques, le régime d'écoulement deviendra un peu plus égal dans les Alpes et présentera davantage de périodes de basses eaux et de sécheresse sur le Plateau. Selon le scénario climatique, les périodes de grande chaleur et de sécheresse augmenteront. Ceci aura pour effet que l'eau – limitée par période et par endroit – sera disponible en été en quantité toujours plus mesurée.

Les changements climatiques auront aussi une influence sur les prétentions relatives à l'utilisation de l'eau. En période de basses eaux, les usagers des lacs et les riverains situés en aval revendiqueront une augmentation de débit pour la navigation, la protection des eaux, le prélèvement d'eau potable et l'irrigation de même que pour les loisirs et la détente.

Les réductions saisonnières et régionales de l'offre en eau et l'évolution des prétentions ayant trait à son utilisation rendront nécessaire une gestion quantitative de l'eau, à défaut de laquelle les exigences ne pourront plus être toutes satisfaites dans la même mesure.

Dans le cas des lacs régulés, les actuels schémas de régulation devront être adaptés aux futures exigences. Les autres lacs (p.ex. le lac de Constance) feront l'objet d'appels toujours pressants demandant qu'ils soient aussi régulés.

La gestion intrarégionale implique le renforcement des instruments au service de l'économie des eaux (réseaux interconnectés et gestion des réservoirs et des lacs), afin de pouvoir assurer l'équilibre requis entre l'offre (naturelle) et les besoins.

Au niveau de l'organisation, la gestion intégrale par bassin versant exige des adaptations administratives institutionnelles (nouvelle réglementation des compétences; coordination et adaptations juridiques), vu que les compétences, attribuées jusqu'ici à très petite échelle, ne fournissent pas une structure efficace à cette fin.

A part les approches ayant trait à la gestion, des mesures sont à prendre aussi au niveau de la demande, notamment dans l'agriculture (de l'utilisation efficace de techniques d'irrigation au choix des cultures) et au chapitre des besoins en eau potable et industrielle.

## Bibliographie et notes

- 1 F. Peeters, D. M. Livingstone, G.-H. Goudsmit, R. Kipfer, and R. Forster. Modeling 50 years of historical temperature profiles in a large central European lake. In: *Limnol. Oceanogr.*, 47(1), 2002, 186–197.
- 2 D. M. Livingstone and D. M. Imboden. The prediction of hypolimnetic oxygen profiles: a plea for a deductive approach. In: *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53(4), 1996, 924–932.
- 3 R. E. Hari, D. M. Livingstone, R. Siber, P. Burkhardt-Holm and H. Güttinger. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. In: *Global Change Biol.*, 12, 2006, 10–26.
- 4 D. M. Livingstone. Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central European lake. In: *Clim. Change* 57, 2003, 205–225.
- 5 C. J. Keleher and F. J. Rahel. Thermal limits to salmoid distributions in the Rocky Mountain Region and potential habitat loss due to global warming: a geographic information system (GIS) approach. In: *Transaction of the American Fisheries Society* 125, 1996, 1–13.
- 6 P. Burkhardt-Holm, W. Giger, H. Güttinger, U. Ochsenbein, A. Peter, K. Scheurer, H. Segner, E. Staub, and M. J.-F. Suter. Where have all the fish gone? In: *Env. Science & Technology* 39 (21), 2005, 441A–447A.
- 7 M. V. Birsan, P. Molnar, M. Pfaundler und P. Burlando. Trends in schweizerischen Abflussmessreihen. In: *Wasser Energie Luft*, Heft 1/2, 2004, 29–38.
- 8 J. Schmidli and C. Frei. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. In: *Int. J. Climatol.*, 25, 2005, 753–771.
- 9 F. Bultot, D. Gellens, B. Schädler and M. Spreafico. Effects of climate change on snow accumulation and melting in the Broye catchment (Switzerland). In: *Clim. Change*, 28, 1994, 339–363.
- 10 J. Kleinn. Climate change and runoff statistics in the Rhine basin: A process study with a coupled climate-runoff model. Diss. ETH Nr. 14663., 2002.
- 11 J. Räisänen, U. Hannson, A. Ullerstig, R. Döscher, L. P. Graham, C. Jones, H. E. M. Meier, P. Samuelsson, and U. Willén. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two global models and two forcing scenarios. In: *Climate Dyn.*, 22, 2004, 13–31.
- 12 M. Ekström, H. J. Fowler, C. G. Kilsby, and P. D. Jones. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. In: *J. Hydrol.*, 300, 2005, 234–251.
- 13 C. Frei, R. Schöll, S. Fukutome, J. Schmidli and P. L. Vidale. Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. In: *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 111, 2006, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- 14 OcCC (Hg.). *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, 2003.
- 15 J. H. Christensen and O. B. Christensen. Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421, 2003, 805–806.
- 16 BUWAL. *Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt*. Bundesamt für Umweltschutz, Wald und Landschaft, Bern, 2004.
- 17 D. Vischer und S. Bader. Einfluss der Klimaänderung auf die Wasserkraft. In: *Wasser Energie Luft*, Heft 7/8, 1999.
- 18 M. Piot. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz. In: *Wasser Energie Luft*, Heft 11/12, 2005.
- 19 IG Wasserkraft, VSE, ProClim, OcCC, NCCR Climate. *Wasserkraft und Klimawandel in der Schweiz – Vision 2030*, 2003.
- 20 A. Schleiss und C. Oehy. Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit. In: *Wasser, Energie, Luft*, 94 (7/8), 2002, 227–234.

# Santé

## Auteurs

Charlotte Braun, présidence	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Université de Bâle
Miges Baumann	Office fédéral de la santé publique, Berne
Andreas Biedermann	Médecins en faveur de l'environnement, Herzogenbuchsee
Ariane Cagienard	Office vétérinaire fédéral, Berne
Joachim Frey	Institut de bactériologie vétérinaire, Université de Berne
Regula Gehrig	MétéoSuisse, Zurich
Bruno Gottstein	Institut de parasitologie, Université de Berne
Anke Huss	Institut de médecine sociale et préventive, Université de Berne
Urs Neu	Rédaction, ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles
Lukas Perler	Office vétérinaire fédéral, Berne
Christoph Schierz	Zentrum für Organisations- und Arbeitswesen, EPF Zurich
Oliver Thommen Dombois	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Université de Bâle
Ursula Ulrich-Vöggtlin	Office fédéral de la santé publique, Berne
Jakob Zinsstag	Institut tropical suisse, Bâle



# 1. Introduction

## Situation

**Les changements climatiques influent sur la santé des êtres humains non pas de façon isolée, mais en combinaison avec d'autres modifications socio-économiques et écologiques.**

Un changement du climat influe de diverses manières sur la santé des êtres humains. Une augmentation de la fréquence d'événements extrêmes tels que vagues de chaleur, tempêtes et inondations peut avoir des conséquences mortelles, la propagation de maladies comme par exemple la méningite transmise par des tiques ou les salmonelloses peut être modifiée et le danger d'intoxications alimentaires augmente avec la température.

Cependant, la plupart de ces développements ne sont pas influencés seulement par les changements climatiques, mais aussi par d'autres facteurs. Ce sont par exemple avant tout le milieu naturel ambiant (p.ex. les marais) et les conditions d'hygiène qui sont déterminants pour la diffusion de la malaria en Suisse, le climat est de moindre importance à cet égard.

De possibles changements tenant au climat et en mesure d'influer sur la santé au cours des cinquante prochaines années et significatifs en termes de politique sociale et sanitaire, sont discutés dans la suite de ce chapitre. Les thèmes suivants ont été traités en détail: vagues de chaleur, événements extrêmes, intoxications alimentaires, affections des voies respiratoires, maladies transmises par des vecteurs et pollution des eaux par les inondations.

Les domaines pour lesquels les spécialistes estiment que les changements climatiques ont peu

d'influence ne sont pas pris en considération. Cela concerne principalement la problématique de l'importation de maladies par la migration. Cette dernière accroît le danger de propagation de maladies infectieuses et d'importation de germes pathogènes inconnus de la population indigène. Des maladies „éradiquées“, telles que la poliomyélite et la tuberculose, peuvent aussi être réintroduites. Cependant, le climat ne joue qu'un rôle accessoire dans cette migration, celle-ci tient en premier lieu à d'autres raisons. Les réfugiés environnementaux se rendent plutôt dans des pays voisins que dans des pays industrialisés lointains.

A côté des domaines cités, aux conséquences négatives, on peut s'attendre aussi à des développements positifs, avant tout en rapport avec les périodes de froid et de gel. Avec la hausse de la température, leur fréquence diminue, de même que la mortalité qui leur est associée. Mais les périodes froides présentant une mortalité significativement plus élevée que d'ordinaire sont aujourd'hui déjà très rares, aussi ne faut-il pas s'attendre à de grands changements. Un effet négatif possible pourrait être, par contre, que la société soit moins bien préparée à de graves vagues de froid, du fait que celles-ci surviennent plus rarement, et que la protection contre le froid soit négligée; les impacts sur le plan sanitaire pourraient être alors plus importants.

## Bénéfices secondaires dans le secteur de la santé

**Les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre entraînent aussi une diminution des concentrations de polluants atmosphériques et abaissent ainsi la fréquence des affections des voies respiratoires et des maladies cardiovasculaires (bénéfices secondaires).**

Les effets des mesures de protection du climat ne sont pas discutés dans ce chapitre. Les mesures de réduction des émissions n'auront guère d'influence sur l'élévation attendue de la température jusqu'en 2050, leur effet à cet égard ne deviendra significatif que pen-

dant la seconde moitié du siècle. Toutefois, la diminution des concentrations de substances nuisibles à la santé aura des retombées sanitaires immédiates. Elle permettra par exemple d'obtenir une diminution des affections respiratoires.

### Tour d'horizon

En Suisse, des événements extrêmes tels que la canicule de l'été 2003 ou la lente augmentation observée des maladies transmises par les tiques a fait passer au premier plan la question de la relation entre changements climatiques et santé.

### Vagues de chaleur

En Suisse, l'augmentation probable des vagues de chaleur constitue le changement climatique le plus important pour ce qui touche à la santé. La canicule de l'été 2003, qui a causé quelque mille décès supplémentaires, a mis en évidence la fragilité de la population. En 2050, il faudra s'attendre à des conditions similaires toutes les quelques années.

L'être humain peut jusqu'à un certain point s'adapter à des températures moyennes plus élevées, comme le montre l'expérience des pays du sud. Mais il lui est plus difficile de s'adapter à des vagues de chaleur survenant à court terme. Des mesures appropriées permettent néanmoins de combattre la mortalité causée par la chaleur lors d'épisodes caniculaires. De savoir à quelle vitesse l'organisme humain peut s'adapter à des conditions plus chaudes cela reste ouvert.

Les vagues de chaleur entravent aussi les prestations des personnes professionnellement actives et ont ainsi des conséquences économiques. A des températures supérieures à 30 °C, une diminution des performances intellectuelles et physiques peut être démontrée.

### Autres événements extrêmes

L'augmentation probable d'événements extrêmes tels que les inondations, les laves torrentielles et des tempêtes supposées devenir plus violentes a aussi des effets directs sur la santé. De tels événements causent des morts et des blessés, mais ont aussi de graves contrecoups psychiques. Des mesures préventives (ouvrages de protection, zones d'interdiction de construire, zones inondables etc.) ne permettent de faire face que partiellement à ces conséquences.

### Maladies transmises par les aliments et par l'eau

Des températures plus élevées, en particulier les vagues de chaleur, accroissent le danger d'intoxications alimentaires par des aliments avariés et de maladies transmises par la nourriture

(p.ex. salmonelloses). Ceci concerne avant tout la consommation privée, où le savoir ayant trait à la sûreté alimentaire diminue en raison de changements sociaux.

Dans le cas des maladies transmises par l'eau, une augmentation du danger est improbable. Certes, les inondations peuvent faire parvenir des eaux usées ou des substances toxiques dans les eaux ouvertes, toutefois le danger de pollution de l'eau potable et de transmission de maladies est relativement faible, vu la séparation entre réseaux d'eau potable et d'eaux usées et la bonne qualité du contrôle des ressources en eau potable en Suisse.

### Substances nocives

Un réchauffement peut aussi entraîner une augmentation de la fréquence des affections des voies respiratoires en raison de concentrations d'ozone plus élevées et éventuellement aussi de plus fortes concentrations de particules biogènes dans l'air, telles que pollens et spores de champignons.

### Maladies transmises par des vecteurs

Des changements importants pourraient survenir pour différentes maladies transmises par des vecteurs (supports de maladies infectieuses). L'estimation de cette évolution est cependant encore peu sûre. En Suisse, la propagation de maladies exotiques n'affectant que l'être humain, telles que la malaria ou la dengue, est assez peu probable. Par contre, des maladies transmises à l'être humain par des animaux sont en progression, p.ex. la fièvre du Nil occidental. Une hausse des températures pourrait aussi engendrer de nouveaux vecteurs ou entraîner un changement d'hôte – celui-ci pouvant devenir aussi l'être humain.

Le changement dans la fréquence de maladies transmises par les tiques est également peu clair. Pour se propager, les tiques ont besoin d'une certaine température et d'un certain degré d'humidité. Ces deux facteurs déterminent les limites de leur aire de répartition en Europe au nord (actuellement en Suède septentrionale) et au sud (aujourd'hui en Italie). Une augmentation de la température influe sur la période d'activité des tiques, éventuellement leur taux d'infection ainsi que le comportement de loisirs des être humains. Actuellement, on observe en Suisse un accroissement des cas annoncés d'encéphalite à tique.

## Lien avec d'autres thèmes

### Agriculture

Les concentrations de pollens varient en fonction de l'évolution de l'agriculture. Par exemple, le fait de cultiver des plantes qui ne l'étaient pas jusqu'alors ou de modifier les quantités des espèces cultivées modifie aussi les concentrations des pollens correspondants.

### Infrastructures

L'altération des performances de travail due à la chaleur varie en corrélation étroite avec les infrastructures. La prise en compte des futures conditions de température dans l'architecture et lors de la planification d'édifices industriels et administratifs est importante non seulement

en considération des conditions de travail, mais aussi au vu d'autres aspects de technique du bâtiment.

### Economie des eaux

La fréquence des inondations dépend du niveau de protection contre les crues. Les inondations et l'approvisionnement en eau potable ont aussi une grande importance pour l'économie des eaux.

Les différents domaines où l'on s'attend à des effets des changements climatiques sur la santé sont présentés dans ce qui suit. Ils sont traités par ordre d'importance sanitaire décroissante des changements attendus.

## 2. Vagues de chaleur

**En Suisse, l'augmentation probable des vagues de chaleur jusqu'en 2050 sera le changement climatique ayant le plus grand impact sur la santé. Cause de quelque mille décès supplémentaires, l'été caniculaire 2003 a mis en évidence la fragilité de la population. Au milieu du siècle, des conditions semblables pourraient se présenter au fil des années. L'information de la population et les systèmes d'alerte précoce se présentent comme des mesures applicables à court terme. A long terme, un moyen de promouvoir le bien-être consiste à adapter le mode de construction et la planification urbaine. On ne sait pas au juste à quelle vitesse la population peut s'adapter aux nouvelles conditions climatiques.**

### Chaleur et mortalité

L'augmentation des vagues de chaleur est une conséquence incontestée d'une hausse des températures moyennes. Si la température augmente en moyenne, la probabilité d'événements encore rares aujourd'hui s'accroît aussi. Mais on ne sait pas encore au juste si la distribution des températures ne fait que se décaler selon la hausse des températures moyennes, ou si la dispersion des années individuelles augmente également, comme quelques travaux le suggèrent.<sup>1,2</sup>

Il y a un lien de dépendance clair entre la mortalité et la température. Lorsqu'un seuil de température spécifique à une région est dépassé, la mortalité augmente nettement. La figure 1 montre la relation entre la mortalité et la température ressentie sur le versant nord et le versant sud des Alpes de 1990 à 2003. La différence régionale apparaît clairement: la température „optimale“, présentant la plus faible mortalité, est de 3.5 °C plus élevée sur le versant sud des Alpes que sur le versant nord.

Cela signifie que les êtres humains s'adaptent tant physiquement que par des changements de comportement et des mesures techniques à des températures ambiantes communément plus hautes. Considérant les conséquences de changements climatiques, la question se pose donc de savoir à quelle vitesse une telle adaptation a lieu. En 2005, des adaptations de comportements fondées sur les expériences faites en 2003 étaient déjà perceptibles (protection contre le soleil, rafraîchissement etc.).

L'été caniculaire de 2003 a montré clairement que de fortes vagues de chaleur entraînent des problèmes sanitaires considérables et des décès supplémentaires. Des effets immédiats sont par exemple des problèmes cardiovasculaires dus à la chaleur, des coups de chaleur, la déshydratation (assèchement du corps) et l'hyperthermie (surchauffe). Les plus fréquemment concernées sont les personnes âgées et exigeant des soins.

En 2003, les vagues de chaleur ont provoqué une nette augmentation de la mortalité dans

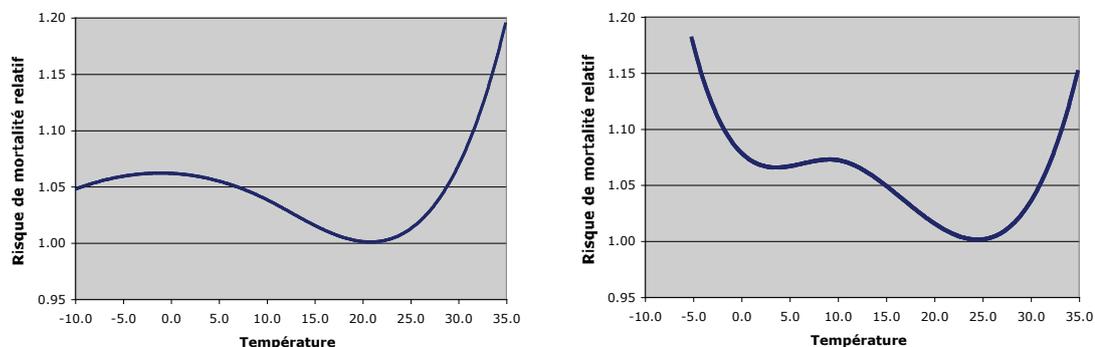


Figure 1: Relation entre mortalité et température sur le versant nord (à gauche) et le versant sud (à droite) des Alpes de 1990 à 2003. Le domaine de température présentant la plus faible mortalité se situe aux environs de 21 °C sur le versant nord des Alpes, soit en gros 3.5 °C au-dessous de celui sur le versant sud des Alpes, qui se situe autour de 24.5 °C. (Source: ISPM Bâle)

les régions touchées d'Europe centrale (France, Allemagne du Sud, Suisse, Italie du Nord et Espagne),<sup>3</sup> notamment en raison d'un manque d'information et de soins des groupes à risque. Le nombre de décès supplémentaires survenus dans l'ensemble de l'Europe est estimé à environ 35'000.

En été 2003, les températures moyennes ont été de 4 à 5.5 °C supérieures à la moyenne à long terme. Cela les situe dans la zone limite supérieure de la hausse des températures attendue d'ici 2050. Dans ce cas et dans l'hypothèse que la variabilité des températures estivales annuelles ne se modifie pas avec les changements climatiques, les conditions de 2003 correspondraient déjà à la moyenne de 2050. Même dans le scénario moyen, tablant sur une augmentation moyenne de la température d'environ 2.5 °C, les niveaux de 2003 se présenteraient déjà au fil des années.

En Suisse, les vagues de chaleur de l'été 2003 ont entraîné en gros mille décès supplémentaires, dont un tiers environ sont attribués aux hauts niveaux d'ozone. Il est probable qu'une partie des décès dus à la chaleur ont touché des personnes qui se trouvaient dans un état de santé critique et seraient mortes à brève échéance aussi sans la canicule. Cependant, l'augmentation massive du taux de mortalité ne s'explique pas seulement par ces cas, vu qu'aucun effet de compensation n'a été observé dans les mois qui ont suivi.

### Chaleur et travail

L'être humain doit maintenir constante la température de son organisme. L'effort physique la fait augmenter, ce qui diminue la tolérance à la chaleur. Les vagues de chaleur sont une entrave aux performances des travailleurs. A des tempéra-

tures de plus de 30 °C, une baisse des performances intellectuelles et physiques est constatable aux latitudes moyennes (Europe centrale, USA, Australie).<sup>4,5</sup> Une humidité élevée est un handicap supplémentaire qui nuit également aux performances déjà amoindries par la chaleur.

L'être humain peut s'adapter à une hausse des températures moyennes. La comparaison avec des pays du Sud montre que travail et performances sont possibles aussi à des températures plus hautes. A l'avenir donc, la montée de la température moyenne n'influera que faiblement sur les prestations de travail. Par contre, l'adaptation à court terme à des vagues de chaleur est difficile. Si ces dernières augmentent, comme on s'y attend, cela pourrait donc avoir des effets négatifs sur les prestations de travail, en l'absence d'adaptations et de mesures appropriées.

Dans le passé, des innovations ont plusieurs fois entraîné des mutations subites et profondes du monde du travail. La diffusion des ordinateurs et d'Internet par exemple n'était pas prévisible il y a quarante ans. Parallèlement à cette évolution, la majorité des emplois sont passés ces dernières décennies, en Suisse aussi, de travaux physiques en plein air à des activités assises, en bureaux et à l'intérieur. L'importance future du climat pour le monde du travail est difficile à évaluer en comparaison d'autres changements.

### Mesures et incertitudes

Diverses mesures permettent d'atténuer les conséquences de vagues de chaleur, par exemple les systèmes d'alerte précoce, l'organisation de la prise en charge des groupes à risque et l'information de la population. Après l'été caniculaire 2003, les premières mesures ont été introduites

en Suisse. L'Office fédéral de la santé publique renseigne et publie des fiches d'information<sup>6</sup> et MétéoSuisse a mis en place un système d'alerte précoce „canicule“.

Le recours accru à la climatisation est jugé être une mesure problématique du point de vue de la technique énergétique et de la politique climatique: il fait monter la consommation d'énergie et – suivant la source d'énergie – les rejets de gaz à effet de serre (cf. chapitre Energie). Mais le bien-être peut être accru en améliorant et adaptant le mode de construction, par exemple par une meilleure isolation des bâtiments et la réduction des surfaces de fenêtres ou par des corridors d'aération et des ceintures de verdure dans les villes. A cet égard, la planification urbaine doit susciter une attention particulière, vu que les problèmes de santé surviennent surtout dans les villes. Mais il ne faut pas oublier le danger que, les périodes de froid devenant toujours plus rare, la protection

contre le froid est négligée et que des vagues de froid extrême peuvent ainsi avoir des conséquences sanitaires plus importantes.

Au travail, les horaires peuvent être adaptés pendant les périodes de chaleur ou des pauses plus longues (siestes) être introduites. En cas de températures extrêmes, des congés de chaleur permettent d'atténuer les risques pour la santé.

La question ouverte la plus importante concerne la durée d'adaptation de l'organisme humain et de toute la population aux nouvelles conditions. Une comparaison de la relation entre température et mortalité de 1960 à 1975 avec les données actuelles pourrait fournir une indication sur la capacité d'adaptation de la population en l'espace de quelques décennies. On ne sait pas au juste non plus dans quelle mesure les conditions météorologiques de l'hiver influent sur les effets sur la santé d'une vague de chaleur survenant l'été suivant.

### 3. Autres événements extrêmes: inondations, glissements de terrain, tempêtes

**Le risque des dangers naturels pour les êtres humains croît aussi avec l'augmentation des événements extrêmes. Les inondations, les laves torrentielles et les tempêtes devenues plus violentes font des morts et des blessés et ont aussi de graves répercussions psychiques. Ces conséquences ne peuvent être abordées que partiellement par des mesures préventives (ouvrages de protection etc.).**

Les changements climatiques ont aussi pour conséquence de modifier la fréquence et l'intensité des événements extrêmes.<sup>7</sup> Les crues et glissements de terrain augmenteront probablement en raison de la plus grande fréquence de fortes précipitations (fig. 2). Les écroulements et chutes de pierres devraient aussi se multiplier. L'atmosphère contenant davantage d'énergie, il faut, selon les connaissances actuelles, s'attendre à l'avenir à des tempêtes non pas plus fréquentes, mais plus intenses.

Les événements extrêmes ont parfois des conséquences dévastatrices. Ils coûtent des vies humaines et causent des dommages matériels. Ces derniers peuvent avoir de graves conséquences en terme de santé, s'ils portent sur des installations importantes pour l'approvisionnement et la santé publique (hôpitaux, voies de transport etc.) ou dans lesquelles des substances toxiques sont stockées ou utilisées.

Les impacts psychiques ne doivent pas non plus être sous-estimés. Les personnes touchées par de tels événements sont souvent traumatisées par la suite.

En comparaison avec l'été caniculaire 2003, les inondations, glissements de terrain et tempêtes font moins de victimes (vingt décès en l'an 2000 causés par des glissements et inondations). Mais la perte en années de vie peut être du même ordre de grandeur dans les deux cas. Lors de vagues de chaleur, ce sont en effet surtout les couches les plus âgées de la population qui sont touchées, tandis que les inondations, glissements de terrain et tempêtes font aussi souvent des victimes parmi les jeunes.

#### Pollution des eaux lors d'inondations

Lors d'inondations, les stations d'épuration et les égouts peuvent déborder et des eaux usées ou des substances toxiques mettre en danger la



Figure 2: Lave torrentielle à Gondo, VS, en automne 2000, après de violentes précipitations.  
(Source: Association des établissements cantonaux d'assurance incendie, Commission Eléments naturels. AEAI, Berne)

santé de la population. Le danger de contamination de l'eau potable est à vrai dire faible en Suisse. L'eau potable provient en majeure partie de nappes phréatiques et de sources (cf. chapitre Economie des eaux). Il arrive certes qu'elle soit polluée localement lors d'inondations, comme l'a montré la crue de l'automne 2005. Mais le contrôle de l'eau potable fonctionne si bien que la population peut être informée à temps et l'approvisionnement en eau potable être assuré par d'autres sources jusqu'au rétablissement de l'approvisionnement normal. Jusqu'ici, il n'y a eu que très peu de cas de problèmes sanitaires provoqués par de l'eau potable polluée. Les changements climatiques jusqu'en 2050 ne devraient rien changer à cela.

### **Incertitudes et mesures**

Les événements extrêmes allant en augmentant, le risque croît aussi pour l'être humain.

Mais l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes, due aux changements climatiques, est d'une ampleur difficile à estimer et aujourd'hui encore largement inconnue.

Par des mesures appropriées, l'être humain peut se protéger jusqu'à un certain point des effets des événements extrêmes. Des exemples de mesures de protection couronnées de succès sont les paravalanches dans les vallées des Alpes et les mesures de protection contre les hautes eaux le long des cours d'eau. Mais même l'infrastructure la plus moderne n'offre pas une protection absolue. En maints endroits, notre société doit donc se borner à délimiter les zones d'habitation menacées (cartes des dangers), atténuer les effets négatifs par des alertes précoces et des mesures prises à temps et porter aide rapidement aux victimes<sup>7</sup>. Le comportement individuel correct de la population en cas d'alerte est très important.

## 4. Intoxications alimentaires

**Le climat se réchauffant, le danger d'intoxications alimentaires par des denrées avariées augmente, de même que celui de maladies transmises par les aliments (p.ex. salmonelles). Ce risque est important surtout durant les vagues de chaleur. Est concerné avant tout le domaine privé, où le savoir sur un usage compétent des denrées alimentaires altérables est limité.**

Aux températures élevées, les denrées alimentaires s'altèrent plus vite. En outre, les vecteurs de maladies prolifèrent plus rapidement dans les aliments qu'aux basses températures. Ils survivent aussi plus longtemps dans un milieu plus chaud. Le climat se réchauffant, le danger d'intoxications alimentaires augmente donc, de même que celui de maladies transmises par la nourriture (p.ex. salmonelles ou colibacilles).

Le danger que présentent les denrées avariées et les vecteurs de maladies dans les denrées alimentaires est important avant tout dans le domaine privé, où le savoir-faire relatif à un usage compétent des denrées alimentaires lors de périodes de chaleur de longue durée fait souvent défaut. Un lien a été constaté par

exemple entre la température et la fréquence des salmonelloses.

### Mesures

Le contrôle des denrées et de l'industrie alimentaires est suffisant pour maîtriser les effets du réchauffement jusqu'en 2050. Cependant, les exigences posées à l'industrie alimentaire au sujet du respect des prescriptions d'hygiène et l'effort à consentir à cet effet augmenteront. L'information de la population au sujet des risques de maladies provoquées par des denrées alimentaires pendant la saison chaude est une mesure importante dans le domaine privé, de même que les recommandations sur la manière de stocker correctement ces denrées.

## 5. Maladies des voies respiratoires et allergies

**Le climat se réchauffant, la charge d'ozone pourrait augmenter en été et la saison des pollens durer plus longtemps, avec pour conséquence une augmentation des maladies des voies respiratoires.**

### L'ozone

Si les conditions de départ restent les mêmes, des températures plus élevées conduisent à de plus hautes concentrations d'ozone. Les effets de l'été caniculaire 2003 sur les niveaux d'ozone apparaissent clairement dans la figure 3. L'ozone s'accumule en partie pendant les longues périodes chaudes et sèches. Il peut provoquer, au moins passagèrement, des troubles respiratoires et une limitation de la fonction pulmonaire, de même qu'augmenter la mortalité aiguë.

Le climat se réchauffant et les vagues de chaleur survenant plus fréquemment, les conditions sont favorables aussi pour de hautes concentrations d'ozone. Toutefois, les polluants primaires, tels que le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), les composés organiques volatils (COV) ou la poussière fine, sont plus importants pour la formation de l'ozone et les effets à long terme en matière de maladies respiratoires.

### Mesures

Les concentrations d'ozone, avant tout les concentrations de pointe, peuvent être abaissées par la diminution des émissions de polluants primaires (oxydes d'azote, COV). En cas de concentrations élevées, la population devrait être informée rapidement. Des systèmes d'information sur l'ozone ont été mis en place dans de nombreuses régions déjà au cours des dix dernières années.

### Pollen

La température et les précipitations sont des facteurs importants pour la composition de la végétation et la longueur de la période de végétation. Cependant, les périodes de végétation et de floraison sont aussi fortement influencées par le mode d'utilisation du sol et la teneur de l'air en CO<sub>2</sub> (cf. chapitre Ecosystèmes terrestres et agriculture).

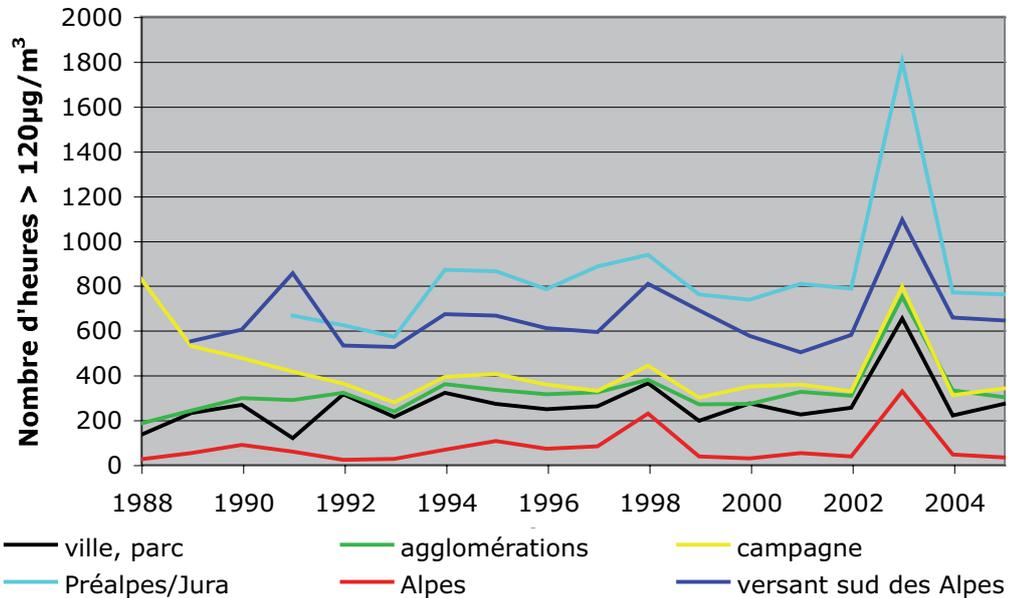


Figure 3: Nombre d'heures par an où les concentrations d'ozone ont dépassé 120µg/m<sup>3</sup> dans les stations de mesure NABEL situées en ville/dans des parcs (noir), dans les agglomérations (vert), les régions rurales (jaune), les Préalpes/le Jura (bleu), les Alpes (rouge) et sur le versant sud des Alpes (violet). (Source: NABEL, OFEV)

Le réchauffement modifiera la production de pollens. Au cours des dernières décennies, la saison des pollens s'est déjà déplacée dans le sens d'un début plus précoce. Il y a aussi des indices selon lesquels la saison des pollens de graminées s'est un peu allongée. Par contre, un changement significatif des quantités de pollens n'a pas encore été constaté. A l'avenir, la saison des pollens, et donc aussi la période de nuisance pour les personnes allergiques, devraient s'allonger en conséquence des changements climatiques. On ne sait pas au juste si la future hausse des températures entraînera des concentrations de pollens plus élevées. La production de pollens pourrait aussi augmenter en raison des concentrations de CO<sub>2</sub> plus élevées.

L'augmentation, observée actuellement, du pollen d'ambrosie est attribuable principalement à la forte propagation de cette espèce végétale. L'ambrosie présente un grand potentiel allergène. La propagation de cette espèce, de même que d'autres plantes méditerranéennes présentant un grand potentiel allergène (Parietaria, Cupressaceae, Olea, Platanus, Chenopodiaceae), favorisée par le réchauffement climatique, pourrait entraîner un accroissement des maladies allergiques. On ne sait toutefois pas au juste quels

seront les effets de ces changements sur les affections des voies respiratoires, p.ex. si davantage d'êtres humains souffriront d'allergies.

### Incertitudes et mesures

Jusqu'à présent, il n'existe pratiquement que des études rétrospectives sur la propagation d'allergies aux pollens et leurs liens possibles avec des paramètres climatiques. Des modèles de l'évolution future font en revanche défaut. De nombreux aspects sont peu clairs, notamment les causes du déclenchement des allergies. La question de savoir si le réchauffement peut avoir une influence sur la teneur des plantes en allergènes n'a pas non plus encore trouvé de réponse.

La propagation des pollens ne peut pas être empêchée. Mais il est possible de prendre des mesures contre la diffusion de nouvelles plantes allergènes, comme l'ambrosie, ou de renoncer à cultiver des plantes ayant un grand potentiel allergène, comme par exemple les oliviers. L'information de la population sur la concentration pollinique actuelle est une mesure importante, aujourd'hui déjà bien organisée et assurée. Les personnes allergiques peuvent obtenir les informations dont elles ont besoin par le biais de différents médias.

## 6. Maladies transmises par des vecteurs

### Maladies exotiques

**Les changements climatiques ont une influence sur la propagation de maladies transmises par des vecteurs. En Suisse, la propagation de maladies exotiques qui ne se déclarent que chez l'être humain, comme la malaria et la dengue, est assez peu probable. Par contre, certaines maladies transmises à l'homme par des animaux sont en progression (p.ex. la fièvre du Nil occidental).**

La propagation de maladies exotiques ne dépend pas seulement de la température, mais est influencée de façon déterminante par la végétation et les conditions d'hygiène. C'est par exemple avant tout l'assèchement des marais et l'amélioration de l'hygiène qui ont permis d'éradiquer la malaria en Europe centrale. La propagation de ces maladies comporte cependant de nombreux processus complexes, tels que des transformations du patrimoine génétique de vecteurs et d'agents pathogènes ou des seuils de température, qui rendent difficile l'évaluation future.

Les changements climatiques peuvent influencer sur la propagation de maladies à vecteurs (affections dont les agents pathogènes sont transmis par ce qu'on appelle des vecteurs, c'est-à-dire d'autres organismes vivants comme p.ex. des insectes), et ceci selon différents mécanismes: des moustiques peuvent se transformer de manière à devenir de nouveaux vecteurs; la reproduction de vecteurs peut être favorisée; des tempêtes peuvent faciliter le transport ou améliorer l'espace vital de vecteurs. Lors de changements des conditions climatiques, on ne peut pas non plus exclure que des agents pathogènes contaminent des espèces qui n'avaient pas été atteintes jusqu'alors, éventuellement aussi l'être humain. Dans certains cas, des températures plus hautes peuvent aussi ralentir la propagation de vecteurs de maladies (p.ex. schistosomiase).

La diffusion régionale et l'apparition saisonnière de maladies transmises par des vecteurs peuvent se modifier en conséquence des changements

climatiques.<sup>8</sup> On a déjà observé que la dengue s'est propagée vers le nord de l'Afrique et que la fièvre du Nil occidental a fait son apparition en Camargue. En Suisse, la propagation de maladies tropicales (malaria, dengue) est toutefois peu probable. Cependant, les contaminations rares jusqu'ici (p.ex. la „malaria des aéroports“) pourraient légèrement augmenter, étant donné qu'à des températures plus chaudes, les vecteurs peuvent survivre plus longtemps sous nos latitudes. La diffusion globale plus vaste des vecteurs et la mobilité croissante consécutive à la globalisation conduiront aussi à davantage d'„importations“.

Quelques agents de maladies animales – comme p.ex. vers du cœur, piroplasmose et leishmaniose – sont déjà transmissibles à l'être humain (zoonoses) ou pourraient le devenir. Dans le règne animal, une tendance à l'apparition plus fréquente de maladies transmises par des vecteurs exotiques est constatée tant dans les pays voisins qu'en Suisse. Des exemples en sont l'anaplasmose en Suisse en 2002 ou la maladie de la langue bleue en Italie et en France.

### Mesures

Il est nécessaire d'observer et surveiller la propagation des maladies animales. La détection avancée de changements d'hôtes peut être d'une très grande importance dans le choix des mesures préventives et dans l'information de la population. L'Office vétérinaire fédéral (OVF) s'est fixé comme objectif d'être vigilant à l'égard de maladies nouvellement venues.

## Maladies transmises par des tiques

**Le changement de fréquence des maladies transmises par des tiques est mal connu. La diffusion des tiques présente un seuil inférieur de température; dans les régions chaudes, elle est limitée par la sécheresse. Une hausse de température a une incidence sur la période d'activité des tiques, éventuellement aussi le taux d'infection et le comportement de loisirs des êtres humains. A l'heure actuelle, on observe une augmentation des cas d'encéphalites à tiques.**

L'effet sur la diffusion de maladies qui ont déjà atteint le stade endémique, telles que la borréliose (une maladie bactérienne) et l'encéphalite (inflammation des méninges) à tiques, pourrait être en fait plus important que celui sur les maladies exotiques. En Suisse, les cas d'encéphalites à tiques ont augmenté ces dernières décennies (fig. 4). Un lien direct entre les variations annuelles du nombre de cas et la température n'est toutefois pas manifeste. En Autriche, les cas d'encéphalites ont diminué ces dernières années grâce à un programme de vaccination bien pensé.

La propagation des maladies à tiques dépend aussi bien de la diffusion des tiques que de celle de la bactérie de la borréliose et du virus de l'encéphalite à tiques. L'une et l'autre sont influencées par des facteurs climatiques. En Suisse, la diffusion des tiques dépend entre autres du seuil inférieur de température. Des hivers doux favorisent la survie des tiques et des animaux qui leur servent d'hôtes; ils permettent aussi aux tiques de progresser vers des latitudes plus hautes. Des températures en hausse ont une influence sur la propagation des agents pathogènes. C'est ainsi que l'on s'attend en Suisse à un recul de l'encéphalite à tiques comme conséquence de la hausse des températures en été et de la diminution de l'humidité. Ceci tiendrait

non pas à la disparition des tiques de la région, mais au fait que le virus ne pourrait plus subsister dans la population de tiques, ce qui supprimerait la possibilité de sa transmission à l'être humain. En cas de réchauffement de 2-3 °C jusqu'en 2050, la Suisse pourrait être libérée de l'encéphalite à tiques en basse altitude. Cette prévision est cependant en contradiction avec ce qui est observé à l'heure actuelle.

A part la propagation des tiques et celle du virus de l'encéphalite respectivement des bactéries de la borréliose, d'autres facteurs importants pour la diffusion des maladies à tiques sont aussi influencés par les changements climatiques. Par exemple, le comportement de loisirs des êtres humains et les vêtements qu'ils portent à cet effet dépendent fortement de la température ambiante.

### Mesures

Les mesures contre les maladies à tiques comprennent l'observation et la surveillance de leur propagation. Les données sur la propagation et la transmission de l'encéphalite à tiques sont lacunaires, ce qui rend l'observation difficile. L'observation de l'évolution en cours pourrait être améliorée si l'on rendait obligatoire l'annonce des cas de borrélioses.

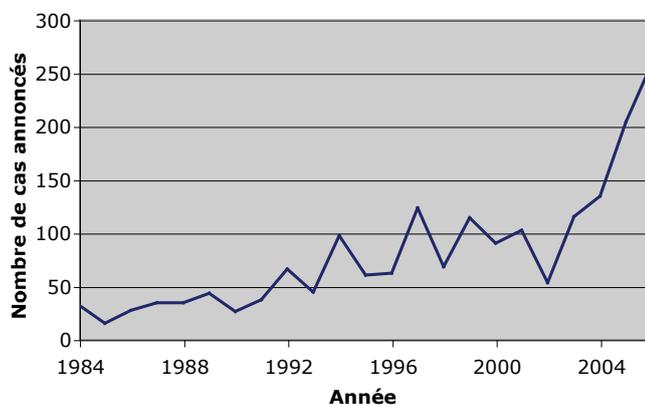


Figure 4: Nombre de cas annoncés de l'encéphalite (inflammation du cerveau) transmise par des tiques en Suisse de 1984 à 2006. (Source: Office fédéral de la santé publique OFSP)

## Bibliographie et notes

- 1 Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Haeberli C., Liniger M.A. and Appenzeller C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332–336.
- 2 Scherrer S.C., Appenzeller C., Liniger M.A., Schär C., 2005: European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios. *Geophys. Res. Lett.*, 32 (L19705)
- 3 Grize L. et al.: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly* No.13–14, 2005.
- 4 Ramsey J. D., 1995: Task performance in heat: a review. *Ergonomics* 38(1), 154–165.
- 5 Wenzel H. G., 1985: *Klima und Arbeit*. Bayrisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München, 112–118.
- 6 Bundesamt für Gesundheit (Hrsg.), 2005: *Schutz bei Hitzewelle*. Heisse Tage – kühle Köpfe. Bern, BAG. (siehe auch [www.Hitzewelle.ch](http://www.Hitzewelle.ch))
- 7 OcCC, 2003: *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, OcCC.
- 8 Thommen O., Ch. Braun-Fahrländer: *Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz*. Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel, November 2004.

# Tourisme

## Auteurs

Hansruedi Müller, présidence  
Fabian Weber  
Esther Thalmann

Institut de recherche sur les loisirs et le tourisme, Université de Berne  
Institut de recherche sur les loisirs et le tourisme, Université de Berne  
Rédaction, ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles

## Contributions de

Bruno Abegg  
Rolf Bürki  
Riet Campell  
Hans Elsasser  
Patrick Hilber  
Felix Keller  
Sämi Salm  
Roger Seifritz  
Jürg Stettler  
Mila Trombitas  
Peter Vollmer

Geographisches Institut, Université de Zurich  
Pädagogische Hochschule, St-Gall  
Directeur de Swiss Snowsports  
Geographisches Institut, Université de Zurich  
Président de l'Association des guides de montagne de la Suisse (SBV)  
Academia Engiadina, Samedan  
Directeur du tourisme de Grindelwald  
Directeur du tourisme de Gstaad-Saanenland  
Institut für Tourismuswirtschaft, Lucerne  
Fédération suisse du tourisme  
Directeur des Remontées mécaniques suisses



## 1. Introduction

### Situation

Les aspects climatiques jouent un rôle central pour le tourisme. Les changements climatiques peuvent influencer le comportement de la demande touristique, comme ils peuvent aussi affecter profondément les conditions d'une destination de vacances. On discerne en maints endroits déjà des conséquences de la hausse des températures, une élévation de la limite des chutes de neige ou des extrêmes météorologiques plus fréquents. Toutefois, ce que le tourisme sera en Suisse en 2050 dépend aussi de nombreux facteurs qui sont sans rapport avec les changements climatiques. La globalisation par exemple, de nouvelles technologies, des actes de guerre, des dangers sanitaires ou d'autres changements environnementaux influencent très fortement le comportement en matière de voyages. De plus, l'économie touristique s'adapte continuellement aux nouveaux défis qui se présentent. Tout ceci rend la prévision difficile. Nous voulons essayer néanmoins de mettre en évidence et en discussion les impacts possibles des changements climatiques sur le tourisme.

### Tour d'horizon

#### Impacts sur les différentes zones touristiques

##### 1) *Tourisme urbain*

Des situations météorologiques extrêmes plus fréquentes peuvent promouvoir des phénomènes nuisibles à la santé tels que de hauts niveaux d'ozone ou de fortes concentrations de poussière fine et nuire ainsi à l'attractivité des villes. Mais des étés chauds peuvent aussi favoriser la vie et l'animation dans l'espace public, du fait que davantage de gens passent les vacances d'été à la maison et que nombre d'activités sont déplacées à l'extérieur.

##### 2) *Ländlicher Tourismus*

En hiver, l'élévation de la limite des chutes de neige fera que des domaines skiables des Préalpes ne pourront plus être exploités de façon rentable. En été, si la température monte, des régions de lacs profiteront du tourisme d'excursion de la population citadine.

##### 3) *Tourisme alpin*

Les changements climatiques accroissent les dangers qui menacent les voies de communication dans l'arc alpin, ce qui rend les lieux

touristiques plus difficilement accessibles. La détérioration des conditions d'enneigement ou les modifications du paysage, auxquelles il faut s'attendre notamment en raison du recul des glaciers, auront une grande influence sur l'attractivité des régions touristiques des Alpes. Mais les périodes de forte chaleur en été créent de nouvelles opportunités pour le tourisme de montagne.

#### Impacts sur les prestataires touristiques

##### 1) *Remontées mécaniques*

L'altitude limite de la sécurité d'enneigement continuera de monter avec les changements climatiques. De ce fait, la part des domaines skiables où la sécurité d'enneigement n'est pas garantie augmentera substantiellement. Le dégel du pergélisol représente aussi un risque coûteux pour de nombreuses remontées mécaniques, étant donné que les fondations des mâts et des stations sont souvent ancrées dans de la roche meuble gelée. Même si les étés chauds comprenant de longues périodes de beau temps stimulent la demande touristique, la plupart des remontées mécaniques sont largement tributaires de l'hiver pour leurs affaires et leur survie financière. Les remontées situées à haute altitude profiteront peut-être de la situation.

##### 2) *Hébergement*

L'hébergement subira des répercussions des changements climatiques avant tout au travers de l'évolution des sports d'hiver. Ce secteur connaîtra une forte baisse dans les régions où l'enneigement devient moins sûr. Il s'activera en revanche dans celles où l'enneigement est sûr et qui sont d'accès facile; la pression y montera en particulier sur le marché des résidences secondaires. L'hôtellerie n'est pas confrontée seulement aux changements climatiques, mais aussi à de nombreux problèmes sans rapport avec le climat (pression des coûts, aspects de rentabilité, besoins en investissement etc.).

##### 3) *Organisateurs d'activités en plein air*

Le recul des glaciers modifie le paysage alpin et le rend éventuellement moins attractif, tandis que le dégel du pergélisol accroît le danger de chutes de pierres et d'éboulements. La multiplication des événements extrêmes fait évoluer aussi les tendances en matière de dangers.

## Mesures

Les stratégies d'atténuation et d'adaptation doivent se compléter mutuellement. Des mesures d'adaptation sont certes indispensables, mais ne sont crédibles que si le secteur du tourisme aide à combattre les causes des changements climatiques dont il est lui-même aussi en partie responsable.

- Pour maintenir l'attractivité des destinations touristiques, les responsables du tourisme doivent adapter leur offre aux nouvelles conditions. Une destination peut rester attractive grâce à de nouveaux concepts ou à une mutation des priorités.
- Les prestataires touristiques sont appelés à travailler ensemble pour optimiser leur offre, élaborer des stratégies de développement et d'adaptation.
- En vue d'assurer la survie future d'une destination, les prestataires et responsables touristiques doivent observer les changements du climat et du paysage et tenir compte de ces modifications dans leur planification.
- Il faut une réponse appropriée à la menace grandissante pesant sur les infrastructures et les zones d'activités. L'aménagement du territoire, les stratégies de développement et les concepts de communication doivent tenir compte de l'évolution des risques.

## Lien avec d'autres thèmes

Le tourisme en tant que phénomène transversal a de nombreux liens avec d'autres thèmes relatifs au climat. Les plus brûlants sont mentionnés ci-dessous, mais d'autres (p.ex. l'agriculture) ne devraient pas être négligés:

### Ecosystèmes terrestres

Les changements du paysage représentent aussi des changements dans l'offre touristique. Le tourisme dans l'arc alpin est particulièrement concerné par la détérioration des fonctions de protection.

### Economie des eaux

Un manque d'eau a des impacts sur la navigation voyageurs et les activités touristiques liées à l'eau. L'enneigement artificiel en hiver pourrait souffrir de pénuries de l'approvisionnement en eau.

### Santé

De nouvelles menaces sur la santé peuvent accroître la demande en matière de wellness. Des régions rurales ou alpines pourraient devenir plus attractives comme espaces de détente.

### Assurances

L'augmentation des risques auxquels les exploitations touristiques sont exposées du fait de l'accumulation des dangers naturels font augmenter les primes d'assurances.

### Constructions/infrastructures

Le comportement relatif à la mobilité et aux voyages est un important facteur d'influence en matière de constructions et d'infrastructures. L'évolution du développement touristique agit sur les activités de construction (résidences secondaires, installations etc.). Les mesures en matière de génie civil pour assurer et entretenir les voies de communication sont d'une grande importance pour le tourisme.

## 2. Changements de l'offre et de la demande sous l'aspect du climat

Suite aux changements climatiques, les conditions climatiques et naturelles ambiantes ne se modifient pas seulement en Suisse, mais aussi dans les pays d'origine des hôtes. Il s'ensuit des changements de l'offre et de la demande, qui peuvent avoir pour effet – aussi à l'intérieur de la Suisse – de déplacer les flux touristiques.

### Pays et régions d'origine des hôtes

Il faut s'attendre à ce que les changements climatiques fassent évoluer les flux touristiques internationaux. Tandis que certaines régions perdront en attractivité climatique, d'autres pourraient bénéficier de nouvelles opportunités. Les conditions régnant dans les pays d'origine jouent un rôle important pour les flux de touristes étrangers en Suisse. Une forte hausse des températures dans l'espace méditerranéen stimulerait la demande de vacances en montagne. En été, le tourisme de vacances dans les Alpes pourrait profiter de hautes températures en Europe.

Les flux pourraient se déplacer aussi à l'intérieur du pays. Par exemple, il n'est pas indifférent pour les stations de sports d'hiver qu'il y ait de la neige sur le Plateau, car cela renforce l'envie de partir en montagne. En été, la chaleur en plaine pourrait motiver les habitants à rechercher la fraîcheur.

On peut admettre que dans l'ensemble, les besoins, exigences et attentes des touristes se modifieront avec les changements climatiques. Les préférences en matière de voyages peuvent se transformer aussi bien dans le temps que dans l'espace.

### Pays et lieux de destination

Les changements climatiques ne modifient pas seulement les températures, qui se réchauffent, et le régime des précipitations, mais aussi la nature ambiante. Des changements affectant la nature et le paysage auront des répercussions directes sur le tourisme, ceci même si leurs impacts sont difficiles à évaluer.

Les changements climatiques influencent l'offre d'une destination aussi de façon indirecte. Ils affectent la possibilité d'y pratiquer certaines activités. Les prestataires touristiques doivent adapter leurs stratégies d'assurances et d'investissements aux nouvelles circonstances, ce qui à son tour a des impacts sur le marché du travail et la mise en valeur.

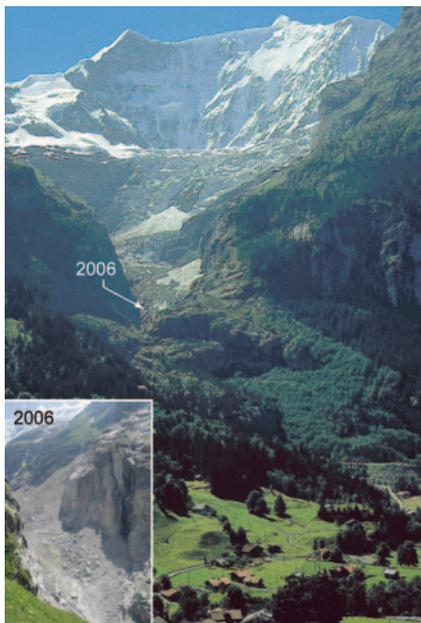


Figure 1: Le recul des glaciers, qui a commencé dès le 19e siècle, avait d'abord avant tout des causes naturelles. Le réchauffement accéléré par les activités humaines domine depuis le milieu du 20e siècle comme cause de l'ameusement des glaciers des Alpes.

a) Le glacier de Grindelwald inférieur en 1858 (photographié par Frédéric Martens, 1809–1875, Alpine Club Library, Londres; photographie: Heinz J. Zumbühl).

b) Ce même glacier en 1974 (photo: Heinz J. Zumbühl). La flèche ainsi que l'image en médaillon montrent la position et l'état du front du glacier en 2006 (photo: Samuel U. Nussbaumer).

### 3. Impacts des changements climatiques sur l'offre de tourisme nature

Les changements climatiques sont lourds de conséquence pour le tourisme en raison de la diminution de la sécurité d'enneigement, de la transformation du paysage et des menaces croissantes sur les infrastructures (voies de communication, installations de transport).

#### Diminution de la sécurité d'enneigement

D'ici 2050, la limite des neiges remontera probablement de 350 m. Avec la hausse des températures, la durée de la couverture neigeuse de même que le nombre de jours de chute de neige diminueront à faible altitude. Pour nombre de domaines skiables, il s'agit là du défi majeur et le plus direct. Les stations à faible altitude n'auront guère assez de neige en 2050 pour maintenir une activité de ski (cf. paragraphe 4). En raison de l'augmentation attendue des précipitations d'hiver (cf. chapitre Données fondamentales), les quantités de neige augmenteront au-dessus de 2000 m, ce qui pourrait entraîner plus souvent des situations dangereuses en matière d'avalanches.

#### Fonte des glaciers

L'important recul des glaciers (fig. 1) modifie notablement le paysage alpin, ce qui pourrait aussi affecter son attrait touristique. D'ici 2050, la surface de glaciers dans les Alpes aura probablement diminué d'environ les trois quarts par rapport à la période de référence 1971–1990 (cf. chapitre Fondements, paragraphe 3). Quelques lieux touristiques ont déjà des problèmes, en particulier là où les glaciers sont utilisés pour des activités telles que le ski, les randonnées ou l'ice-tubing. L'entretien des grottes de glace devient plus difficile et plus coûteux. Des mesures contre la fonte des glaciers, telles que leur revêtement partiel par des membranes protectrices, n'arrêteront pas leur recul.

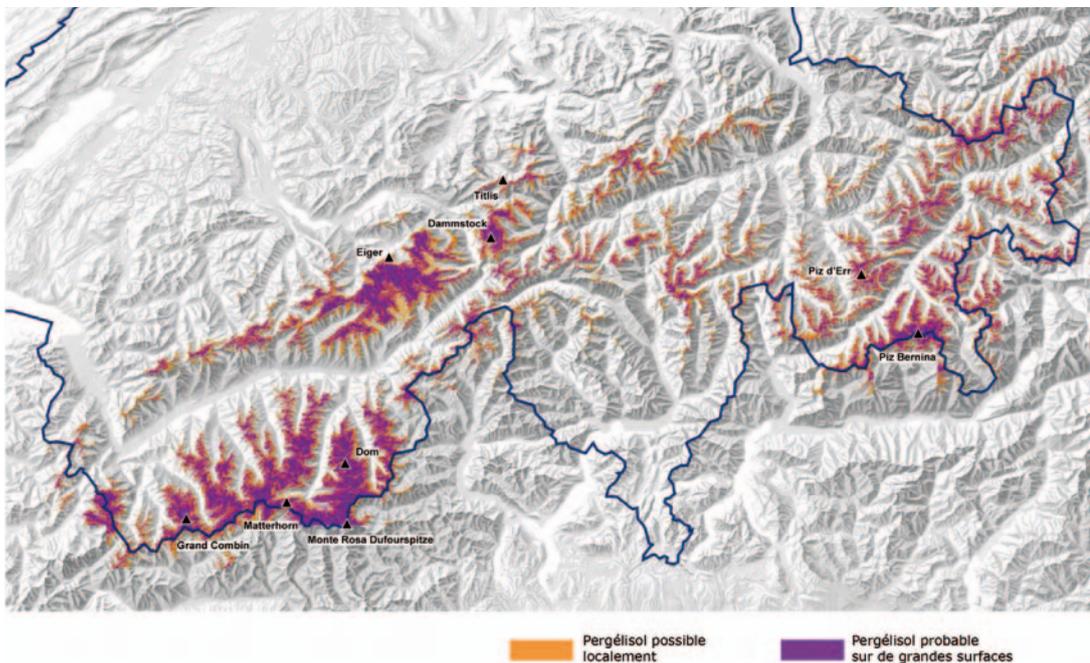


Figure 2: Répartition potentielle du pergélisol selon les modélisations au moyen de DMH25. En gros 15% de l'espace alpin suisse ou 4–6% de la superficie du pays se trouvent dans des zones à pergélisol. (Source: Office fédéral de l'environnement OFEV 7/06)

#### Dégel du pergélisol

Le dégel du pergélisol déstabilise le sol. L'Engadine, le Valais, les Alpes bernoises et la région du Tödi sont particulièrement concernés. On s'attend à des problèmes avant tout là où des infrastructures, telles que des paravalanches ou des mâts de remontées méca-

niques, sont ancrés dans le pergélisol.<sup>1</sup> Son dégel accroît le danger de chutes de pierre et de glissements de terrain. L'alpinisme (randonnées, tours en montagne et varappe) est particulièrement concerné par la menace des chutes de pierres. Ces processus ne mettent guère en danger les agglomérations.

### Événements extrêmes

Il y a de nombreux indices selon lesquels les événements météorologiques extrêmes augmenteront. Étant donné que le tourisme dépend fortement de la météo, les impacts sont importants:

#### Périodes de forte chaleur

Les périodes de forte chaleur perturbent le cycle hydrologique et ont aussi des effets sur le paysage et la végétation. Des périodes de chaleur plus fréquentes offrent toutefois aussi des opportunités au tourisme alpin: en été, l'air un peu plus frais en montagne pourrait rendre les Alpes plus intéressantes comme destination de vacances, notamment si des sites concurrents, tels que la Méditerranée, perdaient de leur attrait en raison de températures en hausse. La canicule de l'été 2003 par exemple a fortement stimulé le tourisme journalier dans les Alpes.

#### Périodes de sécheresse

La combinaison de précipitations moins abondantes en été et de températures plus hautes conduit à des périodes de sécheresse plus fréquentes. Du point de vue du tourisme, des activités telles que les baignades dans les lacs et les rivières, la pêche,

le kayak ou le river-rafting peuvent en être touchées, de même que la navigation voyageurs. Si les réservoirs ne se remplissent pas suffisamment jusqu'en hiver, le manque d'eau peut entraîner des problèmes d'approvisionnement pour les installations d'enneigement.

#### Extrêmes de précipitations

L'augmentation attendue en matière d'extrêmes de précipitations se répercutera sur la fréquence et l'ampleur des crues, glissements de terrain, laves torrentielles et chutes de pierres. De nombreuses voies de communication sont exposées à cette menace. Si davantage de routes devaient être fermées à l'avenir, cela serait particulièrement contrariant, vu que l'accessibilité d'un lieu est essentielle du point de vue du tourisme. Les prestataires touristiques seraient contraints à des efforts supplémentaires pour assurer la sécurité.

#### Modifications du paysage

Les températures plus chaudes laisseront des traces notamment dans les paysages des Hautes-Alpes. Nombre d'aspects du paysage, tels que les glaciers, la végétation ou le sol, subiront de grands changements à l'avenir. La flore et la faune s'adapteront



Figure 3: Deux laves torrentielles se sont produites à Brienz pendant les intempéries de l'été 2005 (la photo montre la lave torrentielle du Glyssibach). Mis à part les dommages financiers, deux personnes ont perdu la vie. (Source: Forces aériennes suisses)

aux nouvelles conditions, mais il faut relever que certains processus naturels, tels que la croissance des forêts, ne se déroulent que très lentement et que pour cette raison, ils se manifesteront avec un

important retard (cf. chapitre écosystèmes terrestres, paragraphe 2). Pour le tourisme, ces changements peuvent signifier aussi bien une chance qu'un risque.

### Changements de l'attractivité du paysage dans le val Morteratsch et le val Roseg près de Pontresina de 2005 à 2100

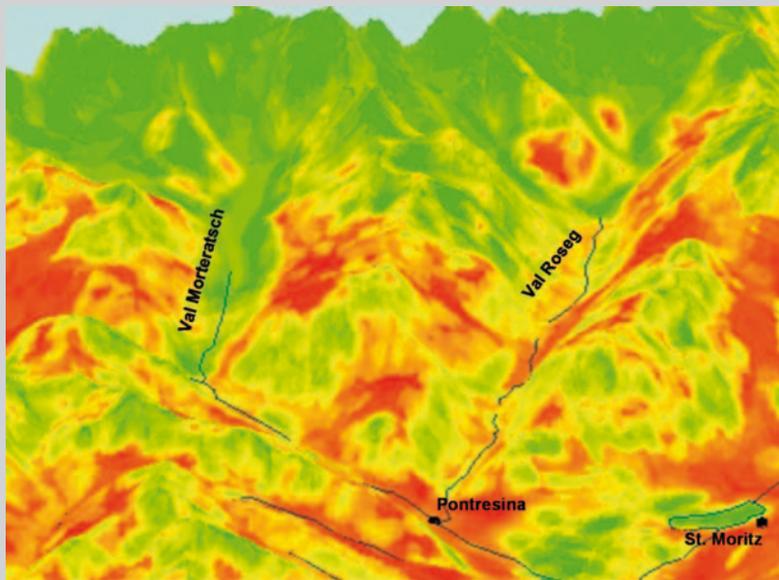
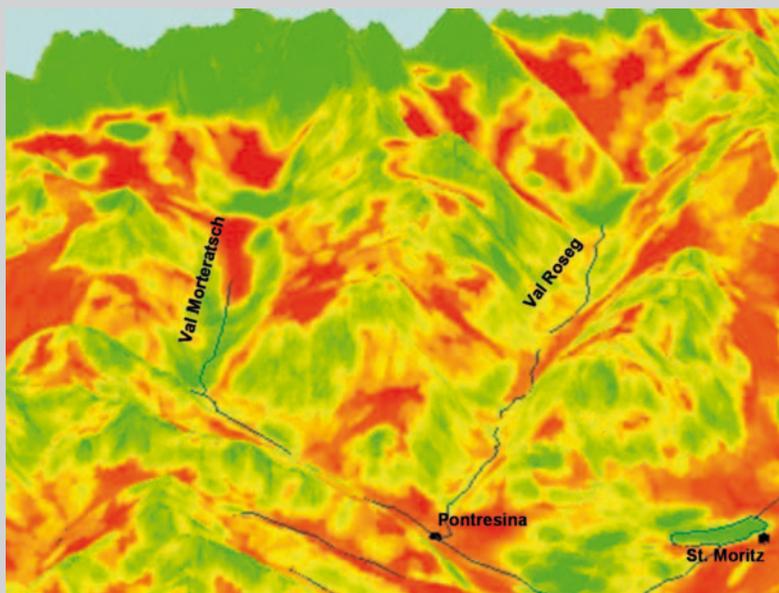


Figure 4: Attractivité du paysage en 2005 (en haut) et en 2100 après un réchauffement climatique de +3 °C (en bas), calculée et indexée au moyen de GISALP.

a) Les glaciers, lacs et zones variées sont des paysages qui, s'ils sont bien visibles, obtiennent dans ce calcul un haut degré d'attractivité (en vert). Selon le modèle, les zones construites ou peu variées et peu visibles sont moins attractives (en rouge).



b) Les éboulis dominent dans les surfaces libérées par le retrait du glacier dans le val Roseg et le val Morteratsch. Deux nouveaux lacs dans la marge proglaciaire du glacier de Morteratsch confèrent un nouvel attrait au paysage. L'attractivité du paysage augmente donc dans certaines zones, mais considéré dans son ensemble, il diminue très substantiellement en haute montagne.

(Graphique: Ch. Rothenbühler, Academia Engiadina)

En règle générale, l'attractivité du paysage diminue en haute montagne, en raison surtout des éboulis résultant de la fonte des glaciers. Des zones peuvent certes se former dans lesquelles le paysage devient plus attractif, mais elles sont numériquement fortement sous-représentées.

## 4. Impacts des changements climatiques sur le tourisme en Suisse

**Avec une part au PIB de 3.4%, le tourisme revêt une grande importance en Suisse. Les impacts prévisibles des changements climatiques et la vulnérabilité économique de certains lieux de destination font attendre des mutations particulièrement importantes dans le tourisme alpin.**

### Le tourisme en Suisse

C'est un fait incontesté: le tourisme est une branche économique importante en Suisse. La valeur ajoutée brute directe produite par le tourisme (aux prix courants de 1998) se monte à CHF 12.9 milliards, soit 3.4% du PIB. Le tourisme génère directement 165'000 emplois en équivalents plein temps (EPT), soit une part directe de 5.2% de la totalité de l'emploi en équivalents plein temps de la Suisse. Le fait que cette part soit nettement plus importante que celle de la valeur ajoutée tient au faible niveau de la productivité. La valeur ajoutée produite par le tourisme se répartit comme suit entre les principales branches économiques concernées: hébergement (31%), restauration (14%), transport de voyageurs (20%) et agences de voyage/opérateurs touristiques (9%).<sup>2</sup>

En 2005, les hôtels et établissements de cure de Suisse ont enregistré 13.8 millions d'arrivées et 32.9 millions de nuitées. En 2003, l'hôtellerie et la parahôtellerie ont enregistré au total 65 millions de nuitées, dont 56% pour des hôtes suisses. La plus grande partie des hôtes étrangers viennent d'Allemagne (18%), de Grande-Bretagne (4%), des Pays-Bas (4%), de France (3%) et des USA (3%). 46% des nuitées tombent en hiver et 54% en été, mais le chiffre d'affaires produit en hiver est nettement plus élevé grâce aux sports d'hiver.<sup>3</sup>

### Impacts des changements climatiques sur les zones touristiques

On distingue pour l'essentiel trois types de zones touristiques en Suisse: le tourisme urbain, le tourisme rural et le tourisme alpin. Les statistiques touristiques mentionnent spécialement les stations de montagne (au-dessus de 1000 m d'altitude), les lieux riverains des lacs et les grandes villes (Bâle, Berne, Genève, Lausanne et Zurich). Les stations de montagne totalisent 39.1% des nuitées, les lieux riverains des lacs 19.9% et les grands villes 17.6% (2003). Les 23.4% restants se répartissent dans les autres zones, plutôt rurales. 60.9% des nuitées sont générées dans les Alpes, 34.6% sur le Plateau et 4.8% dans le Jura.<sup>3</sup> Le tourisme alpin vient au premier plan dans la description des impacts possibles des changements climatiques sur les zones touristiques de Suisse.

### Tourisme urbain

Les cinq plus grandes villes ont généré en 2003 presque un cinquième des nuitées en Suisse.<sup>3</sup> La part des hôtes étrangers se monte à 76.4%. A part le tourisme d'affaires, les séjours de courte durée et le tourisme culturel jouent un rôle important dans les villes. En raison de leur environnement anthropique, les villes sont moins sensibles aux modifications visibles des changements climatiques. Des impacts sur le tourisme se feront néanmoins sentir aussi dans les villes.

Ces dernières ne sont en effet pas immunisées contre les dangers naturels, notamment contre les inondations. Toutefois, il est rare qu'une ville soit touchée dans sa totalité. En règle générale, de tels événements sont perçus dans les villes comme étant moins menaçants qu'à la campagne. Des phénomènes nuisibles à la santé, tels que des concentrations élevées en ozone ou en poussière fine, pourraient se présenter plus souvent si les situations météorologiques extrêmes deviennent plus fréquentes. Une hausse des températures et des vagues de chaleur plus nombreuses pourraient inciter les citoyens à entreprendre davantage d'excursions à la campagne ou en montagne. D'autre part, les étés très chauds peuvent aussi conduire les citoyens à déplacer davantage leurs activités en plein air. Cela rend l'espace public plus animé et le caractère urbain plus attractif (dans le sens des cités méditerranéennes). Peut-être que davantage de gens passeront leurs vacances d'été à la maison ou déplaceront leur principale période de vacances dans les entre-saisons ou en hiver. En ce qui concerne le comportement des touristes étrangers, une hausse des températures dans les villes suisses aura des effets plutôt positifs.

### Tourisme rural

34.6% des nuitées enregistrées en Suisse le sont sur le Plateau, en grande partie dans les villes.<sup>3</sup> Le tourisme rural sur le Plateau se répartit entre les régions des lacs et les Préalpes. Le paysage du Plateau est en premier lieu de caractère rural, si bien que l'on ne doit pas s'y attendre à des changements aussi marqués qu'en haute montagne. Des températures plus chaudes pourraient faire profiter les régions des lacs d'une augmentation

du tourisme d'excursion en raison de la proximité des grandes agglomérations.

L'élévation de la limite des chutes de neige représentera un grand défi pour les domaines skiables des Préalpes. Ces domaines pauvres en neige déjà aujourd'hui ne pourront pas être exploités rentablement. Ils devront réorienter leur offre. En été par contre, ils pourraient bénéficier de davantage d'excursions journalières et de courte durée de la population citadine.

### Tourisme alpin

En maints endroits des Alpes suisses, le tourisme est le plus important générateur d'emplois. Dans certains lieux touristiques, la valeur ajoutée produite par le tourisme représente 80% du PIB régional. Cette énorme importance économique va de pair avec une grande vulnérabilité de cette branche dans les Alpes. Certains effets du réchauffement climatique sont aujourd'hui déjà nettement perceptibles et placeront à l'avenir le tourisme devant de grands défis dans les Alpes. Les changements des conditions relatives à l'offre originelle (facteurs naturels, infrastructures générales) et à l'offre dérivée (infrastructures touristiques et attractions) auront des impacts pour tous les prestataires touristiques d'un lieu de destination.<sup>4</sup>

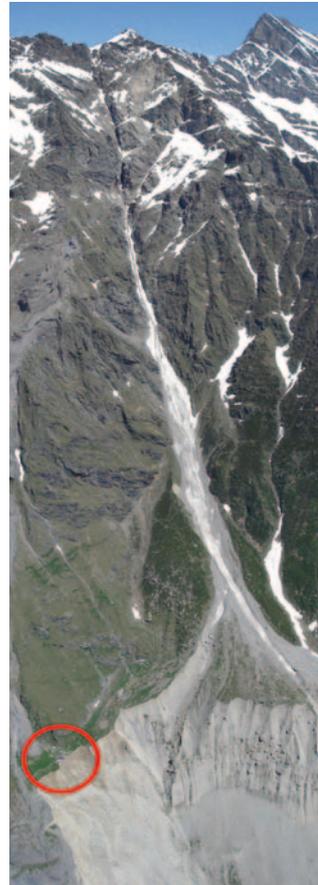


Figure 5:  
Pente en mouvement au Mettenberg près de Grindelwald. La cabane de Stieregg (en rouge) fut aussi victime de ce glissement de terrain. (Source: H.R. Keusen, Geotest AG)

Figure 6:  
Exploitation touristique d'un site précaire: la cabane de Stieregg au Mettenberg (voir aussi figure 5) n'existe plus aujourd'hui. Photo: été 2005. (Source: H.R. Keusen, Geotest AG)





Figure 7:  
Engelberg Zentralbahn,  
intempéries de 2005  
(Source: Forces aériennes  
suisses)

Au niveau des infrastructures générales des stations de vacances dans les Alpes, il faudra compter avec de plus fréquentes interruptions ou fermetures de voies de communication. L'accessibilité, qui est déterminante pour le tourisme, pourrait ainsi être fortement perturbée. Les voies de communication sensibles pourraient être exposées davantage au danger et le risque d'accidents pourrait augmenter. La protection des voies de communication et d'autres infrastructures contre les dangers naturels demande un effort considérable et coûteux. En comparaison d'événements se produisant dans des lieux de destination lointains (p.ex. cyclones), les dangers naturels sont plus faciles à évaluer en Suisse, où ils sont le plus souvent bien localisés (avalanches, laves torrentielles). En outre, la région des Alpes dispose de moyens plus importants pour se protéger contre ces dangers et faire face à la menace, si bien qu'elle n'est pas foncièrement défavorisée en matière de sécurité. Les modifications du paysage, auxquelles il faut s'attendre en raison des changements climatiques, influencent fortement l'attractivité d'un lieu de destination. L'offre touristique aussi se transformera. Tous les prestataires d'un lieu de destination interagissent étroitement entre eux et sont donc concernés par les changements des conditions en matière de tourisme. Dans les Alpes, il est probable que les remontées mécaniques et les entreprises de transport seront les plus fortement touchées par les changements climatiques. Mais le secteur de l'hébergement (hôtellerie et parahôtellerie) et l'offre touristique élargie

(activités de plein air) seront aussi directement ou indirectement concernés.

### Impacts des changements climatiques sur les prestataires touristiques

#### Remontées mécaniques

Le miracle économique de l'après-guerre et le développement de téléphériques et télécabines efficaces ont permis au ski de devenir un sport populaire. Il existe aujourd'hui en Suisse environ 1790 installations de remontée mécanique: 12 chemins de fer à crémaillère, 58 funiculaires, 216 téléphériques, 120 télécabines et 314 télésièges ainsi que 1070 remontepentes. Les remontées mécaniques occupent une place centrale dans la chaîne de valeur ajoutée. Les installations à câbles sont souvent le moteur du tourisme et induisent indirectement de la valeur ajoutée dans d'autres secteurs de prestation (p.ex. hôtellerie, gastronomie, commerce de détail). Les remontées mécaniques offrent plus de 4700 emplois à plein temps, répartis sur plus de 11'000 emplois (à plein temps et à temps partiel).

Les hivers pauvres en neige depuis les années 80 ont provoqué, dans certaines régions, d'importants ralentissements de l'exploitation des remontées mécaniques.<sup>5</sup> L'élévation de la limite des neiges représentera à l'avenir aussi un grand défi pour les exploitants de ces installations. Les conditions d'enneigement tendront à se détériorer surtout dans les domaines skiables situés à faible altitude. Un déplacement de la limite d'altitude accroît sensiblement la proportion de domaines skiables n'assurant pas de bonnes conditions d'enneigement. Selon une

### Possibilités d'enneigement artificiel

Du fait que la limite des neiges s'élève et que les amateurs de sports d'hiver sont toujours plus exigeants en matière de sécurité d'enneigement, de nombreuses régions de sports d'hiver investissent toujours davantage dans l'enneigement artificiel. La neige artificielle présuppose certaines conditions météorologiques. Les canons à neige ne fonctionnent de façon efficace qu'à une température ambiante égale ou inférieure à -2 °C,<sup>6</sup> une humidité inférieure à 80% et une température de l'eau de 2 °C au maximum. Mais il est souvent fait appel à des additifs qui permettent l'enneigement artificiel à des températures plus élevées. La consommation d'énergie et d'eau des installations d'enneigement est relativement élevée; elle dépend toutefois de la technique choisie, du site, du mode d'approvisionnement de l'eau et des conditions climatiques. A ceci s'ajoutent des coûts élevés pour les infrastructures et l'exploitation des installations.<sup>8</sup>

Les mesures techniques ne permettront de remplacer la neige manquante que sous certaines

conditions et le recours à l'enneigement artificiel sera plus rarement possible si les températures augmentent. Alors que l'évolution du marché de l'énergie est difficile à estimer, il est à prévoir en revanche que l'eau deviendra une ressource plus précieuse à l'avenir.

La rareté de l'eau peut devenir problématique pour les stations de sports d'hiver qui sont fortement dépendantes des installations d'enneigement. La situation en matière d'enneigement exigera d'investir encore plus dans des installations, mais aussi dans la construction de bassins d'accumulation ou dans l'entretien de systèmes de drainage. Pour les remontées mécaniques, le manque de neige et l'augmentation du potentiel de danger signifient donc des coûts en forte hausse. En ce qui concerne la neige artificielle, ces coûts ne peuvent guère être entièrement reportés sur le prix, car la sécurité d'enneigement équivaut à une prestation d'assurance qui ne fait que supprimer des désavantages comparatifs sans représenter une attraction supplémentaire.

étude de l'OCDE, 97% des domaines skiables de Suisse sont considérés comme fiables du point de vue de l'enneigement;<sup>6</sup> par fiable, il faut entendre présentant assez de neige (au minimum 30 cm) pour pratiquer les sports de neige pendant au moins cent jours entre le 1er décembre et le 15 avril, et ceci au moins sept hivers sur dix. Cette étude prend en compte des stations de ski comportant au moins trois offres de transport et 5 km de pistes. Les domaines skiables de basse altitude dans le Jura ne sont pas inclus. Selon ces critères, cette étude englobe, comparée à des investigations antérieures, un plus petit nombre de domaines skiables, situés

de surcroît à plus haute altitude et de ce fait moins sensibles aux changements affectant la sécurité d'enneigement.<sup>5,7</sup>

Si, comme il faut s'y attendre d'ici 2050, la limite en altitude de la sécurité d'enneigement s'élève de 300 m, 79% des domaines skiables jouiront encore d'un enneigement sûr. Le tourisme de ski est particulièrement menacé dans les Alpes vaudoises et fribourgeoises, au Tessin ainsi qu'en Suisse centrale et orientale: d'ici au milieu du 21e siècle, seulement 50-60% des domaines skiables y offriront encore de bonnes conditions d'enneigement. Les domaines skiables du Valais et des Grisons (voir table 1)

Table 1: Sécurité d'enneigement des domaines skiables suisses dans les conditions climatiques actuelles et futures. (Source: Abegg et al. 2007)<sup>6</sup>

Région	Nombre de domaines skiables	Sécurité d'enneigement			
		Aujourd'hui	+1 °C <sup>a)</sup>	+2 °C <sup>a)</sup>	+4 °C <sup>a)</sup>
Alpes VD+FR	17	100%	65%	53%	6%
Oberland bernois	26	96%	85%	62%	12%
Suisse centrale	20	90%	75%	55%	20%
Suisse orientale	12	83%	58%	58%	8%
Grisons	36	100%	97%	97%	83%
Valais	49	100%	100%	100%	80%
Tessin	4	100%	75%	50%	0%
Suisse	164	97%	87%	79%	49%

a) Horizon temporel: +1 °C: années 2020 env.; +2 °C: années 2050 env.; +4 °C: vers la fin du siècle.

sont moins touchés. En comparaison de la Suisse, les impacts des changements climatiques sur les domaines skiables seront encore plus drastiques dans les Alpes françaises, italiennes, autrichiennes et allemandes.<sup>6</sup>

Les changements climatiques auront des impacts non seulement sur la sécurité d'enneigement, mais aussi sur la demande en matière de sports d'hiver. A moyen terme, l'intérêt de la jeune génération pour le ski pourrait diminuer, étant donné que les enfants n'auraient guère l'occasion d'apprendre à skier dès leur jeune âge à proximité de chez eux. Aujourd'hui déjà, le nombre de skieurs stagne en Suisse, ce qui n'a affaire toutefois que marginalement avec les changements climatiques.

Pour nombre de régions de sports d'hiver, la fonte des glaciers ne signifie pas seulement la perte d'une attraction importante, mais aussi – surtout en été – une réduction de l'offre d'activités sur les glaciers. Le dégel du pergélisol représente une menace supplémentaire pour certaines remontées mécaniques. Les variations de température peuvent déstabiliser les infrastructures ancrées dans le pergélisol. Etant donné que les fondations des mâts et des stations des chemins de fer de montagne, de même que celles des paravalanches, sont en partie ancrées dans de la roche meuble gelée, il devient de plus en plus nécessaire de les renouveler à grands frais. Le dégel du pergélisol accroît aussi le risque de chutes de pierres, de glissements de terrain et de laves torrentielles, ce qui entraîne également une augmentation des investissements dans la sûreté et pourrait en outre conduire à des interruptions d'exploitation plus fréquentes. Pendant les étés chauds comprenant de longues périodes de beau temps, les remontées mécaniques peuvent au contraire profiter de l'accroissement du tourisme journalier et des séjours de courte durée, qui impliquent un usage intense des moyens de transport. Moyennant une promotion adéquate, certains sports intéressants pour les remontées mécaniques, tels que le vélo de montagne, pourraient gagner en importance ou de nouvelles activités être créées. Toutefois, peu de ces installations parviennent à rentabiliser la saison d'été. Sans un „bon“ hiver, elles ne sont pas viables financièrement.

### Hébergement

Le nombre d'hôtels a diminué ces dernières années de 6300 (1992) à 5'600 (2003). Pendant la même période, le nombre de lits n'a que légèrement baissé de 261'900 à 258'700. Même si des processus de concentration sont en cours, les petits hôtels conti-

nent de dominer en Suisse. La situation économique de l'hôtellerie suisse ne présente pas un bilan réjouissant. La rentabilité est souvent insuffisante, les fonds étrangers élevés et le besoin en investissement important. Le nombre des nuitées aussi a reculé, de 36 à 31 millions entre 1992 et 2003, soit d'environ 14%. Alors que le nombre d'arrivées d'hôtes a légèrement augmenté pendant cette période, la durée moyenne des séjours s'est fortement raccourcie. Le tourisme de résidences secondaires est en plein essor et est devenu le concurrent majeur de l'hôtellerie dans les Alpes. Les multiples problèmes de l'hôtellerie suisse n'ont que rarement un lien direct avec les changements climatiques.

Alors que l'hôtellerie offre quelque 260'000 lits, les appartements de vacances et résidences secondaires en mettent en gros 1.2 millions à disposition. A ceci s'ajoutent environ 430'000 lits et places en dortoirs, dans les auberges de jeunesse et sur les places de camping. La région des Alpes est appréciée pour les résidences secondaires et appartements de vacances. Le nombre de résidences secondaires a énormément augmenté ces dernières années, ce qui n'est pas sans poser des problèmes (infrastructures dimensionnées pour les charges de pointe, dispersion des constructions, taux d'occupation insuffisant, hausse des prix pour la population indigène etc.). Environ deux tiers des quelque 300'000 résidences secondaires et appartements de vacances recensés en Suisse ne sont occupés que quelques semaines par année, mais néanmoins chauffés tout l'hiver. Ils contribuent donc substantiellement au rejet de CO<sub>2</sub> nuisible pour le climat. Malgré la diminution prévisible des degrés-jours de chauffage de 98 (2004) à 85 (2050), la consommation d'énergie continuera d'augmenter. A ceci s'ajoutera un besoin croissant de climatisation en été (cf. chapitre énergie, paragraphe 2).

Dans le secteur de l'hébergement, les changements climatiques auront des impacts principalement en raison des modifications affectant les sports d'hiver. Là où la fonction de catalyseur de ces derniers disparaît, le secteur de l'hébergement subira un recul important. Par contre, l'urbanisation sera plus soutenue dans les sites favorisés, aussi la mobilité continuera-t-elle d'augmenter. La Lex Friedrich (autorisations pour l'acquisition de terrains par des étrangers) étant supprimée, certaines régions essaient de limiter la construction de nouveaux appartements par de nouvelles mesures. La dynamique du marché des résidences secondaires est caractérisée par de nombreux facteurs d'influence, parmi lesquels le climat a joué jusqu'ici un rôle plutôt secondaire.

Les changements de l'offre touristique et du paysage influenceront sur l'attractivité d'une destination et partant sur les prix de l'immobilier. La menace des dangers naturels allant en augmentant dans les Alpes, le potentiel de conflits s'accroîtra lors de nouvelles viabilisations. La pression sur les régions bien enneigées et facilement accessibles s'accroîtra. Les primes d'assurances et les crédits bancaires tendront à renchérir en raison de l'augmentation des risques<sup>9</sup> (cf. chapitre assurances, paragraphe 4). Dans l'ensemble, la mise en valeur diminuera dans certains lieux en dépit d'une augmentation du nombre de lits. Le secteur de l'hébergement subit aussi les conséquences de transferts saisonniers et géographiques des flux touristiques, mais probablement pas dans la même mesure que les exploitations dépendant du tourisme journalier. Là où la situation d'enneigement fera périlcliter les affaires pendant l'hiver, saison attractive et rentable, de nombreux hôtels devront fermer.

#### Organisateurs d'activités de plein air

Les randonnées et l'alpinisme sont très appréciés comme loisirs depuis de nombreuses années et sont

actuellement en plein essor. D'autre part, la liste des sports de plein air ne cesse de s'allonger, que l'on songe au ski parabolique, au surf des neiges, aux raquettes, au VTT, à la marche nordique, au parapente etc.

Le paysage alpin est fortement déterminé par le climat. Les changements climatiques ne lui font pas seulement perdre de son attrait, mais accroissent aussi le danger de chutes de pierres et d'éboulements comme conséquence du dégel du pergélisol. Une multiplication des événements extrêmes influence en outre les tendances en matière de dangers sur les cours d'eau, ce qui peut avoir des conséquences pour des sports tels que le kayak ou le canyoning. L'accumulation d'extrêmes météorologiques accroît les risques pour tous les sports de plein air. D'autre part, des étés plus chauds et moins pluvieux sont favorables aux randonnées et aux baignades et autres sports d'eau tels que le kite-surfing (surf à cerf-volant).

Les organisateurs d'activités en plein air devront adapter leur offre aux nouvelles conditions naturelles ambiantes. Il sera de plus en plus important de prendre en considération les tendances des dangers et d'investir en conséquence dans la sécurité.

## 5. Stratégies et mesures

**Le tourisme doit s'adapter aux impacts provoqués par les changements climatiques. L'adaptation et la diversification de l'offre, des mesures logistiques peuvent atténuer les conséquences négatives et offrir de nouvelles opportunités. Le tourisme, qui est aussi en partie responsable des changements climatiques, est néanmoins aussi interpellé: ce secteur doit réduire ses émissions de gaz à effet de serre.**

Le tourisme n'est pas seulement victime, mais pour une part importante aussi responsable des changements climatiques. Les transports individuels notamment contribuent substantiellement aux émissions de gaz agissant sur le climat. Après la seconde guerre mondiale, le trafic dans les Alpes a fortement augmenté, du fait de l'amélioration des accès routiers, de la motorisation croissante et d'une propension toujours plus grande à la mobilité. Le tourisme de courte durée et de résidences secondaires, qui impliquent un usage intense des moyens de transport, croît également. A part les émissions du trafic routier, le chauffage et à toujours plus large mesure la climatisation des infrastructures d'hébergement

contribuent aux rejets de gaz à effet de serre provenant du tourisme. A cet égard, les résidences secondaires pèsent particulièrement lourd dans le bilan.

C'est pourquoi les mesures de réduction des émissions ont la priorité: la promotion des transports publics, l'application conséquente du principe de causalité (encourageant p.ex. les véhicules peu polluants), l'amélioration de la gestion des transports, la réduction des émissions des installations de chauffage des infrastructures d'hébergement, la compensation des émissions agissant sur le climat etc. En même temps, le tourisme doit s'adapter aux nouvelles conditions découlant des changements climatiques.

### **Encouragement de l'innovation et de la diversification**

Les responsables touristiques sont appelés à adapter leur offre aux nouvelles conditions et à élaborer des concepts globaux coordonnés, vu que chaque prestataire contribue à l'attractivité de sa station. Cela signifie:

- diversifier l'offre, l'axer sur de nouvelles activités touristiques et déplacer les priorités
- prolonger la saison au moyen d'offres adéquates (expansion temporelle)
- promouvoir les zones de haute altitude déjà équipées, afin d'accroître la sécurité d'enneigement (expansion spatiale)
- développer le concept de wellness en tablant sur le bon air, l'altitude, la lumière, l'alimentation et la culture (wellness alpin)
- se distancer de façon ordonnée du tourisme (de ski), par exemple en accordant des dédommagements pour la fermeture d'installations (managed retreat); se diversifier dans d'autres secteurs économiques

### **Renforcement de la prévention des menaces et des mesures techniques**

Les infrastructures et les espaces d'activités doivent être protégés contre de nouvelles menaces qui vont en partie en augmentant; cela signifie:

- soutenir les mesures biologiques telles que les reforestations
- piloter les modifications du paysage, aménager des zones de protection et des espaces libres de constructions
- renouveler les fondations d'installations et les protéger contre les dangers naturels
- protéger les infrastructures contre les avalanches, les chutes de pierres, les glissements de terrain et les laves torrentielles
- accroître l'efficacité des canons à neige
- enneiger les pistes de façon contrôlée, construire des lacs d'accumulation, le cas échéant recouvrir des glaciers etc.

### **Réduction des risques par des mesures d'organisation**

En vue des nouveaux défis à relever, les coopérations et fusions entre prestataires devront être intensifiées et des stratégies d'adaptation développées en commun; cela signifie:

- procéder à la fusion de sociétés de remontées mécaniques et à des fermetures avec compensation pour optimiser les domaines skiables, regrouper de tels domaines
- élaborer en commun des stratégies de développement des stations
- élaborer des plans de zones à risque ou les adapter (mesures d'aménagement du territoire)
- élaborer des concepts d'évacuation et de communication
- informer ouvertement la population et les touristes et les sensibiliser aux questions climatiques

### **Intensification de la recherche et comblement de lacunes du savoir**

De nombreux impacts possibles et notamment les interactions entre différents facteurs significatifs en matière de tourisme sont encore mal connus. Il faut suivre l'évolution des choses et prendre en considération les nouvelles données fournies par la recherche:

- observer les développements sur place et identifier à temps les besoins
- suivre les changements de comportement en matière de voyages et adapter les offres en conséquence
- informer la population sur les risques météorologiques et les dangers naturels;
- mener et soutenir des projets de recherches spécifiques.

## 6. Le tourisme en 2050

**Les changements climatiques représentent à la fois un risque et une chance. Par une orientation adéquate de l'offre touristique, il est possible de développer des compétences de base et de toucher d'autres groupes d'hôtes. Des modèles de développement prometteurs sont la concentration des sports d'hiver dans des lieux de destination favorisés, la création d'oasis de wellness alpin et la promotion du tourisme d'été.**

### Renouveau de la fraîcheur d'été

Des températures plus chaudes et des étés torrides et secs plus fréquents redonnent de l'attrait à l'„air frais des montagnes“ en été. La montée du mercure en Europe du sud et dans les villes a pour effet que les Alpes sont de nouveau recherchées pour leur fraîcheur et profitent de la situation au détriment de destinations méridionales. La saison touristique d'été peut être prolongée; le tourisme journalier et les séjours de courte durée des Suisses le weekend, forme qui dépend fortement de la météo, assurent en été de bonnes affaires aux stations qui ont adapté leur offre au nouveau comportement en matière de vacances.

L'été caniculaire de 2003 a montré que le tourisme d'été peut gagner en importance en altitude. Des lieux proposant des possibilités attrayantes de randonnées et de baignades profitent de vagues de chaleur et périodes de beau temps fréquentes. La proximité des grandes agglomérations et une orientation de l'offre en conséquence sont aussi des aspects déterminants. De nouveaux groupes d'hôtes sont touchés si les destinations du sud de l'Europe perdent de leur attractivité en raison de la chaleur et que les Alpes deviennent en été de nouveau un refuge de fraîcheur.

### Essor du „nouveau wellness alpin“

Le tourisme de cure dans les Alpes a joué un grand rôle au début du 20<sup>e</sup> siècle: les vertus curatives du climatisme étaient reconnues dans le traitement de maladies des voies respiratoires et les stations balnéaires jouissaient d'une grande popularité. Ces dernières années, le wellness a pris dans une large mesure la relève du tourisme de cure. Alors que quelques hôtels de cure classiques ont dû fermer ces dernières années, des installations de wellness font de plus en plus partie des équipements standards que l'on attend d'hôtels 4 et 5 étoiles. Les bains médicaux classiques sont toujours plus souvent transformés en oasis de wellness et centres de loisirs aquatiques.

Le tourisme santé a évolué de la médecine curative vers une approche globale du corps, de l'esprit et de l'âme, faisant une place importante à la prévention et à l'auto-responsabilité. Le fitness et le bien-être forment une nouvelle symbiose. L'évolution démographique accroît encore l'importance de la santé dans notre société. Le wellness alpin, qui inclut comme composantes l'eau, l'air, l'altitude, la lumière, l'alimentation, le mouvement et la culture, gagne en importance. Il est possible que de nouveaux dangers sanitaires (cf. chapitre santé) et la fuite estivale loin de la chaleur soutiennent cette tendance et ravivent ainsi l'estime portée aux régions d'altitude comme zones de détente.

### Concentration sur des destinations favorites

Les conditions devenant plus difficiles en raison des changements climatiques, les activités se concentrent sur les stations de sports viables. Les problèmes structurels et les difficultés de financement des remontées mécaniques s'aggravent en maints endroits du fait des conditions naturelles défavorables et accélèrent le changement structurel dans le secteur des remontées. Le manque de neige et la pénurie d'eau constituent un handicap avant tout pour les stations des Préalpes, qui ont du mal, étant donné la hausse des températures, à compenser la neige naturelle par l'enneigement artificiel. Le ski perd globalement de son importance et l'éventail des activités exercées pendant les vacances d'hiver s'élargit. Les dépenses pour l'enneigement artificiel augmentent. Des mesures coûteuses sont aussi nécessaires pour assurer la sécurité à l'égard de dangers naturels. De grandes entreprises, en mesure d'exploiter efficacement des synergies, détiennent les meilleures cartes dans la compétition. Des stations plus petites misent davantage sur des offres de substitution et se spécialisent dans des créneaux leur permettant d'exploiter de nouveaux marchés et d'acquérir des parts de clientèle.

## Bibliographie et notes

- 1 H.R. Müller. Tourismus und Ökologie – Wechselwirkungen und Handlungsfelder, Oldenbourg, 2003.
- 2 Bundesamt für Statistik (BFS). Satellitenkonto Tourismus der Schweiz. Neuchâtel, 2003.
- 3 Bundesamt für Statistik/Schweizer Tourismus-Verband (BFS/STV). Schweizer Tourismus in Zahlen. Neuchâtel/Bern, 2005.
- 4 H.R. Müller. Freizeit und Tourismus. Eine Einführung in Theorie und Politik. Berner Studien zu Freizeit und Tourismus Nr. 41. Bern, 2005
- 5 R. Bürki. Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus. St.Gallen, 2000.
- 6 B. Abegg et al. Climate Change Impacts and Adaptation in Winter Tourism. In: Agrawala Shardul (Hg.): Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management, OECD-Report, S. 25-60 plus Anhang. Paris, 2007.
- 7 B. Abegg. Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Zürich, 1996.
- 8 F. Hahn. Künstliche Beschneigung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht. CIPRA. 2004. ([www.alpmedia.net/pdf/Dossier\\_Kunstschnee\\_D.pdf](http://www.alpmedia.net/pdf/Dossier_Kunstschnee_D.pdf))
- 9 A. Güthler. CIPRA Deutschland. Aufrüstung im alpinen Wintersport. Ein Hintergrundbericht. CIPRA. 2003. (<http://seilbahn.net/thema/aufrestung.pdf>)

# Energie

## Auteurs

Alexander Wokaun, présidence General Energy Research Department, Institut Paul Scherrer

Bernhard Aebischer

Centre for Energy Policy and Economics, EPF de Zurich

Christof Appenzeller

Climatologie, MétéoSuisse

Jean-François Dupont

Les Electriciens Romands

Timur Gül

Energy Economics Group, Institut Paul Scherrer

Lukas Gutzwiller

Office fédéral de l'énergie, OFEN

Pamela Heck

Natural Catastrophes, Swiss Re

Roland Hohmann

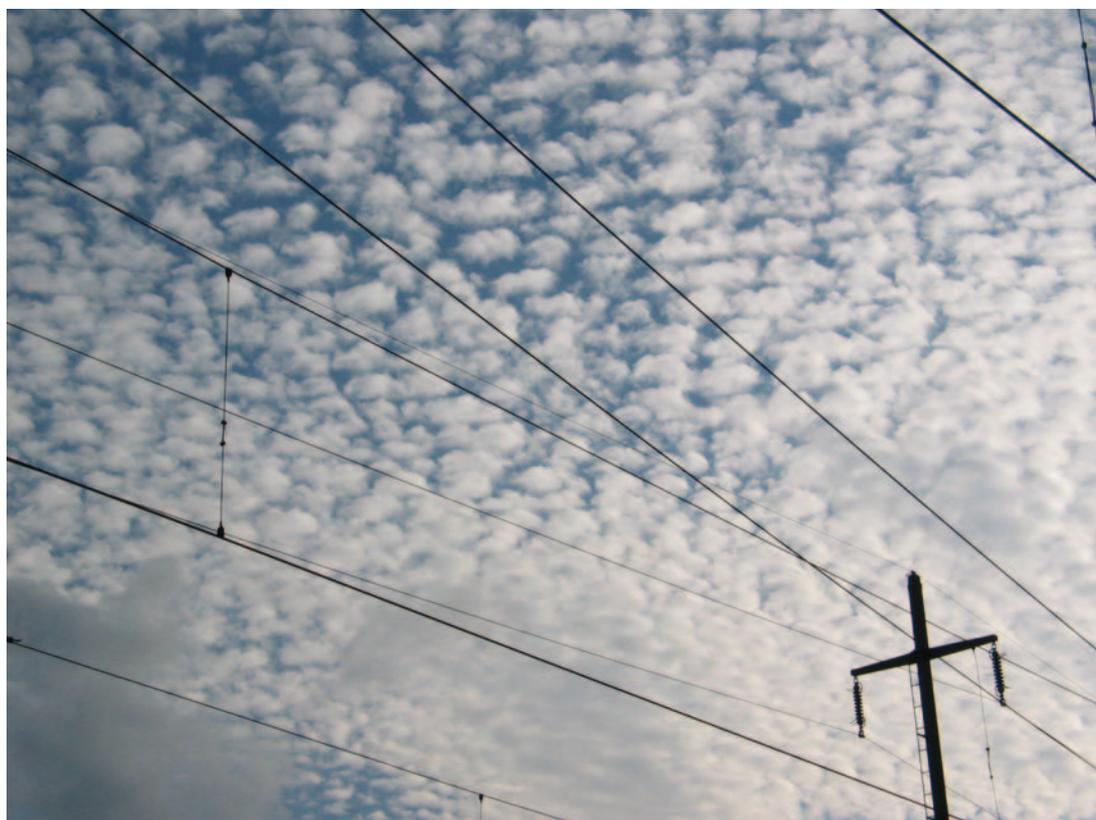
Rédaction, OcCC, Berne

Christoph Rutschmann

Energie-bois Suisse

Niklaus Zepf

Axpo Holding SA



## 1. Introduction

### Situation

La consommation d'énergie a énormément augmenté au 20<sup>e</sup> siècle en Suisse (fig. 1). Elle a à peu près octuplé depuis 1945. Cette hausse massive tient à l'accroissement de la consommation de combustibles pétroliers, de carburants et de gaz. Mais la demande d'électricité aussi n'a cessé d'augmenter, alors que la part du charbon a fortement diminué. En 2004, la consommation d'énergie se composait comme suit: carburants pétroliers 31.3%; combustibles pétroliers 25.7%; électricité 23.1%; gaz 12.1%; autres 7.8%. La suite de ce chapitre est à comprendre avec cette évolution en arrière-plan.

Dans le contexte des changements climatiques, on parle le plus souvent du secteur énergétique comme étant responsable de ces derniers. Source principale des gaz à effet de serre produits par les activités humaines, il aurait un rôle central à jouer dans les mesures de réduction des émissions. Dans le présent rapport, nous adoptons une autre perspective et considérons le secteur énergétique comme subissant les changements climatiques. Quels seront les impacts du réchauffement et des modifications en matière de précipitations sur la production et la demande d'énergie?

A dessein, nous n'aborderons pas la consommation d'énergie des transports. Nous partons de l'idée que ces derniers sont moins concernés par les effets directs des changements climatiques

que par les effets indirects (politique climatique). Les impacts des changements climatiques sur le secteur énergétique ont été traités en détail pour les aspects suivants:

- Evolution de la demande en énergie (été, hiver)
- Production établie d'énergie électrique (force hydraulique, énergie nucléaire)
- Nouvelles énergies renouvelables (vent, bois)
- Aspects économiques (prix de l'énergie, assurances)

Ce choix n'est pas exhaustif, mais représente une sélection d'aspects intéressants et significatifs. Les changements climatiques influent sur d'autres domaines importants du secteur énergétique, tels que la sécurité d'approvisionnement, la sécurité du réseau de distribution ainsi que les perspectives d'autres formes d'énergie (géothermie, énergie solaire etc.). Ces aspects n'ont pas été traités par le groupe de travail, celui-ci ayant limité son choix.

D'autres conditions cadres exercent une plus forte influence sur le secteur énergétique que les changements climatiques. Par exemple, des facteurs d'influence tels que la croissance économique, le développement technologique, la croissance démographique et l'ouverture du marché de l'électricité ont joué dans le passé et continueront de jouer à l'avenir un rôle déterminant dans le secteur énergétique.

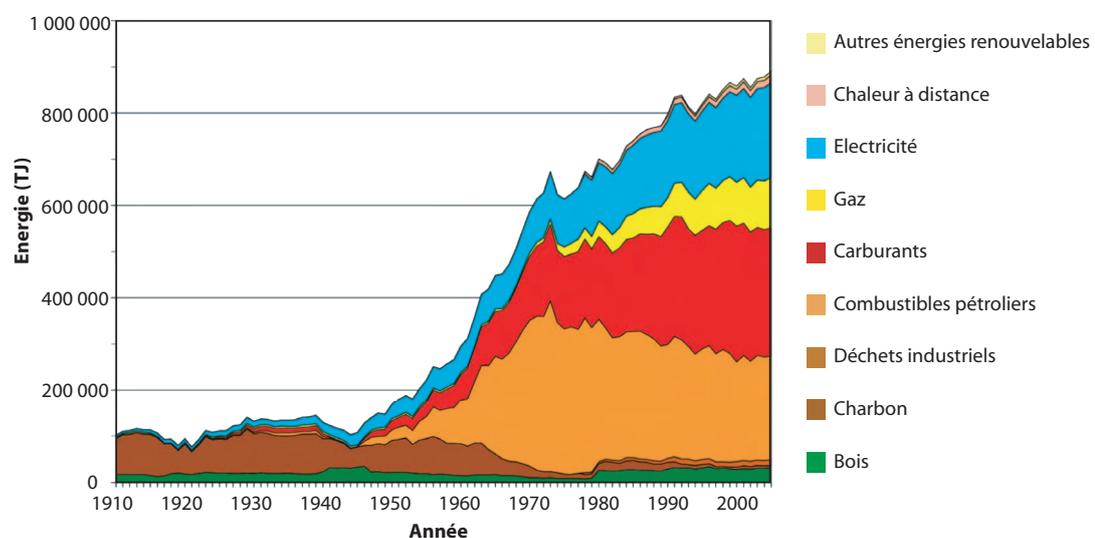


Figure 1: Consommation d'énergie en Suisse, ventilée par agents énergétiques (1 TJ  $\approx$  0.3 GWh). (Source: OFEN Statistique globale de l'énergie 2005)

## Tour d'horizon

Du fait des changements climatiques, on consommera à l'avenir moins d'énergie en hiver pour le chauffage et davantage en été pour la climatisation. Il s'ensuivra un déplacement de la demande des combustibles vers l'électricité. Le recours à la climatisation augmentera surtout dans le secteur des services.

Au chapitre de la production d'électricité, les changements climatiques auront des effets négatifs sur la force hydraulique et l'énergie nucléaire. La diminution des débits entraînera une baisse de la production hydroélectrique de 5-10% d'ici 2050. Et la température des cours d'eau étant en hausse, la capacité en eau de refroidissement utilisable par le secteur nucléaire diminuera. Durant l'été 2003, le manque de puissance de réfrigération a entraîné une diminution de 4% de la production annuelle. Or d'ici 2003, il y a aura plus souvent des périodes de forte chaleur identique à celles de l'été 2003.

Les changements climatiques amélioreront les perspectives des nouvelles énergies renouvelables. D'une part, la demande en énergie neutre du point de vue émissions de CO<sub>2</sub> croîtra en réaction aux changements climatiques et sous l'impulsion de la politique climatique, et d'autre part, la compétitivité des énergies renouvelables augmentera en raison de la montée des prix des énergies conventionnelles. Comparée à la consommation actuelle, la part des nouvelles énergies renouvelables dans l'approvisionnement de la Suisse en électricité atteindra plus de 10% (5500 GWh/a)<sup>1</sup> d'ici 2050. L'énergie éolienne a un rôle à jouer dans ce contexte. L'équipement complet de tous les sites se prêtant à des parcs éoliens permettrait d'épuiser d'ici 2050 un potentiel de 1150 GWh/a. A ceci s'ajoute un potentiel de 2850 GWh/a exploitable par des installations isolées. Si les changements climatiques devaient entraîner une augmentation de la vitesse moyenne du vent, il s'ensuivrait une production encore plus élevée d'électricité éolienne. Des événements extrêmes peuvent conduire à des arrêts de production dans certains parcs éoliens.

L'énergie du bois aussi profitera de la meilleure compétitivité des nouvelles énergies renouvelables. Le potentiel de l'énergie du bois permettra de doubler au moins l'utilisation actuelle à plus de 5 millions de m<sup>3</sup>. Si l'on tient compte des tendances à long terme de l'économie forestière et des développements de l'économie du bois, ce

potentiel pourrait même tripler. Cependant, l'utilisation du bois fera l'objet d'une concurrence croissante avec d'autres valorisations. Suite aux changements climatiques, les surfaces de forêt augmenteront et le potentiel de l'énergie du bois continuera de croître. Simultanément, l'énergie du bois jouira d'une acceptation croissante, pour autant que des progrès soient accomplis dans la réduction des émissions de poussière fine.

Dans l'ensemble, la hausse des prix de l'énergie ralentira la croissance de la consommation d'énergie. Des considérations ayant trait à l'efficacité énergétique favoriseront l'électricité. La demande d'énergies neutres du point de vue du CO<sub>2</sub> (nouvelles énergies renouvelables et énergie nucléaire) croîtra. De façon générale, les changements climatiques conduiront à davantage d'incertitudes, ce qui privilégiera les systèmes à court délai de retour de l'investissement.

Le risque d'interruptions d'exploitation augmente aussi dans le secteur énergétique avec les changements climatiques. Des exemples en sont la crue d'août 2005, pendant laquelle des centrales au fil de l'eau ont dû être arrêtée, ou les hautes températures de l'eau pendant l'été 2003, à l'origine d'une baisse de la production d'énergie des centrales nucléaires. Des solutions d'assurance pour les dommages et les pertes de production gagneront en importance.

## Mesures

La lacune de production qui se dessine devra être réduite autant que possible. A cette fin, il faudra exploiter à fond le potentiel d'économies d'énergie et encourager davantage les énergies renouvelables et les technologies permettant d'améliorer l'efficacité énergétique. Jusqu'en 2035, le potentiel d'économie d'électricité dépendra manifestement des dépenses d'évitement; le potentiel cumulé jusqu'à des coûts de 40 ct/kWh a été chiffré à 10'000-15'000 GWh. Le potentiel théorique de réduction jusqu'en 2050 se situe vers 60% au total pour l'énergie primaire, tandis que les „Perspectives énergétiques pour 2035“ de l'Office fédéral de l'énergie<sup>2</sup> et la „feuille de route“ pour 2050 de l'ASST<sup>3</sup> évaluent le potentiel technique d'économie à 20-25%.

L'électricité devra être produite à l'avenir sans émission de CO<sub>2</sub>. Pour qu'une éventuelle nouvelle centrale thermique à combustible fossile n'entraîne pas d'émissions nettes supplémen-

taires, il faudra prendre des mesures additionnelles (recours à grande échelle à la pompe à chaleur et aux économies de chauffage, puits biologiques, captage et stockage du CO<sub>2</sub>, marché des émissions).

La diversification et la redondance sont des mesures efficaces contre les impacts des changements climatiques dans le secteur énergétique. Un portefeuille large et diversifié d'énergies conventionnelles et renouvelables est une protection contre les difficultés d'approvisionnement se présentant pour l'un des agents énergétiques. De même que, par exemple, un réseau de plusieurs installations régionales de gazéification de biomasse de capacité moyenne est moins sujet à perturbations qu'une seule grande installation. Il faut être très attentif à la redondance dans les réseaux de distribution, en d'autres termes faire en sorte qu'il y ait toujours au moins deux liaisons indépendantes entre deux nœuds.

Si les plans d'urgence de l'approvisionnement national sont conçus de manière à faire face à des difficultés d'approvisionnement à court terme, ils ne sont par contre pas en mesure de remédier aux tendances à long terme. Il importe donc

d'envisager des mesures d'adaptation également côté demande. A part les mesures techniques (p.ex. délestage pendant les heures de consommation électrique de pointe), le comportement des consommatrices et consommateurs est également décisif. Ils peuvent adapter aux circonstances d'un climat modifié leur utilisation de services énergétiques non jumelés avec le processus de production.

### Liens avec d'autres thèmes

#### Economie des eaux

Niveau des réservoirs et des cours d'eau; situation de concurrence dans l'utilisation de l'eau, entre autres avec l'agriculture (besoin d'irrigation en été)

#### Assurances

Manque à gagner dû à des pertes de production et assurance contre ces dernières

#### Ecosystèmes terrestres

Extension des forêts

Augmentation de bois de moindre valeur pour usages énergétiques

## 2. Consommation d'énergie

**Du fait des changements climatiques, on consommera moins d'énergie en hiver pour le chauffage et davantage en été pour la climatisation. La consommation de combustibles diminuera et celle d'électricité augmentera.**

### Situation de départ

Dans les perspectives énergétiques 2035/2050 de l'OFEN, deux scénarios énergétiques<sup>4,5</sup> sont comparés, afin d'examiner les impacts des changements climatiques sur la consommation d'énergie en Suisse. Dans le scénario de référence, les changements climatiques ne sont pas pris en considération; dans le scénario „climat plus chaud“, il est admis que d'ici 2030, la température augmentera de +2 °C pendant les mois d'été de juin à août et de +1 °C pendant les autres mois par rapport à la période de 1984 à 2002. Le rayonnement augmentera de 5%.

Les changements climatiques entraînent aussi ceux de grandeurs météorologiques importantes pour le calcul du besoin en chauffage et en climatisation. Suite au réchauffement, les degrés-

jours de chauffage (cf. encadré) diminueront d'environ 11% pendant la période de chauffage d'ici 2030 et de 15% d'ici 2050 par rapport à la valeur moyenne 1984-2004 (fig. 2).

#### Degrés-jours de chauffage:

Somme des différences entre la température ambiante moyenne souhaitée (20 °C) et la température extérieure moyenne de tous les jours de l'année où T < 12 °C.

#### Degrés-jours de climatisation:

Somme des différences entre la température extérieure journalière moyenne et la température de référence (18.3 °C) de tous les jours de l'année où T > 18.3 °C.

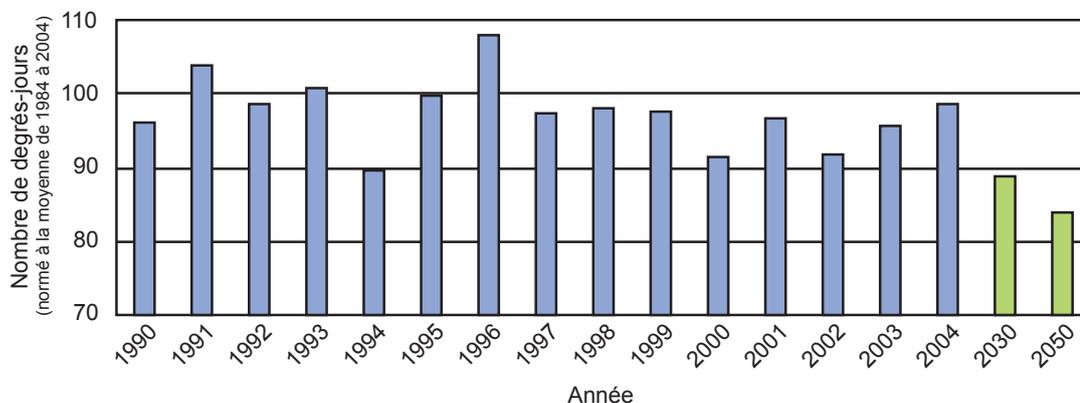


Figure 2: Nombre annuel de degrés-jours de chauffage de 1990 à 2004, normé à la moyenne de 1984 à 2004. Les valeurs représentées pour les années de 2030 à 2050 sont celles attendues par le scénario „climat plus chaud“ des perspectives énergétiques 2035/2050 de l’Office fédéral de l’énergie OFEN.<sup>4</sup>

A l’inverse, selon les perspectives énergétiques, les degrés-jours de climatisation (cf. encadré) augmenteront en gros de 100% pendant les mois d’été d’ici 2035. Pour une hausse de la température d’environ 2.5 °C jusqu’en 2050, telle que le scénario climatique la prévoit dans ce rapport, il faut s’attendre à une augmentation des degrés-jours de climatisation d’à peu près 150% (fig. 3).

### Secteur des services

Indépendamment du réchauffement climatique, la demande en énergie thermique du secteur des services<sup>4</sup> diminuera légèrement à l’avenir en raison de l’amélioration de l’efficacité énergétique et de l’isolation thermique. Malgré la croissance économique, cette demande baissera d’ici 2035 de 22’200 GWh/an à 20’800 GWh/an. Après 2035, l’amélioration de l’efficacité énergétique et l’augmentation de la surface chauffée devraient à peu près se compenser mutuellement, si bien qu’en 2050, la demande de chaleur se situera encore toujours aux environs de 20’800 GWh/an.

Les hivers plus chauds auront pour effet d’abaisser la demande de chaleur de 13% supplémentaires à environ 18’000 GWh/an d’ici 2035. En 2050, en raison du réchauffement climatique, la demande de chaleur se situera environ 18% au-dessous de celle du scénario de référence (un peu plus de 16’700 GWh/an).

Le besoin d’électricité pour la climatisation croîtra aussi indépendamment des changements climatiques d’environ 1000 GWh/an en 2000 à quelque 1500 GWh/an en 2035, en raison de l’augmentation des surfaces totalement ou par-

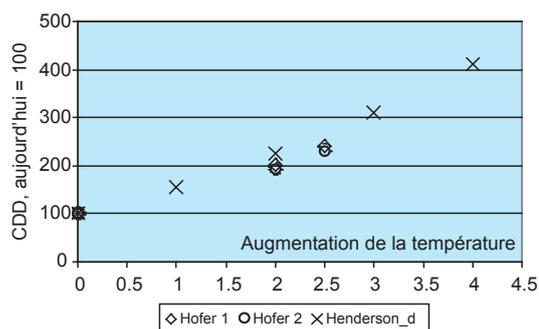


Figure 3: Augmentation des degrés-jours de climatisation (CDD) pour une élévation de la température entre 1 et 4°C pendant les mois d’été juin à août (100 = températures moyennes aujourd’hui en Suisse). Suivant la manière de calculer, les auteurs obtiennent des valeurs légèrement différentes.<sup>4</sup>

tiellement climatisées. La part de la climatisation dans la demande d’électricité s’élèvera ainsi de 6% en 2005 à 7% en 2035.

Les changements climatiques entraîneront un accroissement supplémentaire tant de la consommation spécifique d’électricité pour la climatisation que du besoin en climatisation. L’augmentation des degrés-jours de climatisation aura pour conséquence que la consommation spécifique d’électricité pour la climatisation croîtra de 46%. Cette évaluation de la demande de climatisation part de l’hypothèse qu’en gros 50% des surfaces non climatisées aujourd’hui seront partiellement climatisées d’ici 2035 et que 50% de celles qui le sont partiellement aujourd’hui le seront totalement à cette date. Au total, la demande d’électricité du secteur des services pour la

climatisation augmentera d'ici 2035 à environ 3200 GWh/an et se situera alors 115% au-dessus du scénario de référence.

Les degrés-jours de climatisation continueront d'augmenter jusqu'en 2050. La consommation spécifique d'électricité croîtra de ce fait d'environ 70% par rapport au scénario de référence. Mais la proportion de surfaces climatisées continuera aussi d'augmenter, si bien que pour un inventaire de bâtiments tel que celui du scénario de référence, la demande d'électricité pour la climatisation devrait se situer entre 170 et 200% ou en gros 2800 GWh/an au-dessus de la demande mentionnée dans le scénario de référence.

### Ménages privés

Indépendamment du réchauffement climatique, la demande d'énergie thermique des ménages diminuera de 55'000 GWh/an en 2000 à 48'000 GWh/an en 2035 en raison de l'amélioration de l'efficacité énergétique et de l'isolation thermique. La consommation d'eau chaude diminuera de 1-2%. Le réchauffement climatique entraînera une diminution de 10% supplémentaires du besoin en énergie de chauffage d'ici 2035 et se situera alors aux environs de 44'000 GWh/an. Jusqu'en 2050, le besoin de chaleur pour le chauffage se réduira encore de 10% supplémentaires. Suite au réchauffement climatique, il faudra s'attendre en été à une augmentation de la consommation d'électricité pour la climatisation

aussi dans l'habitat. Un faible accroissement de la consommation est attendu aussi pour les réfrigérateurs et congélateurs.

Il n'existe pour l'heure aucune donnée certifiée sur la climatisation des maisons d'habitation en Suisse. Les données provenant d'autres pays ne peuvent être transposées que de façon limitée à la Suisse, car dans la plupart des régions, les modes de construction, les techniques de chauffage et de climatisation, les réglages et les comportements diffèrent fortement des conditions régnant ici. Il est admis en Suisse que le besoin spécifique de climatisation dans l'habitat sera plus faible que dans le secteur des services (autres contraintes internes, rythmes d'utilisation jour/nuit etc.) et que la climatisation dans les maisons d'habitation se fera dans la grande majorité des cas de façon décentralisée, au moyen d'installations monobloc ou split (avec refroidissement à air ou à eau). Au total, il faut compter avec une augmentation de la consommation d'électricité d'environ 10% par rapport au scénario de référence (fig. 4).

Il sera possible de réduire le besoin supplémentaire attendu d'électricité pour la climatisation en intensifiant le recours à des concepts innovants tels que le „free cooling“ (restitution de la chaleur à l'air pendant la nuit), le „geocooling“ (restitution de la chaleur dans le sol, par les mêmes sondes géothermiques qui fournissent en hiver de la chaleur environnementale aux pompes à chaleur) ou la „climatisation solaire“.

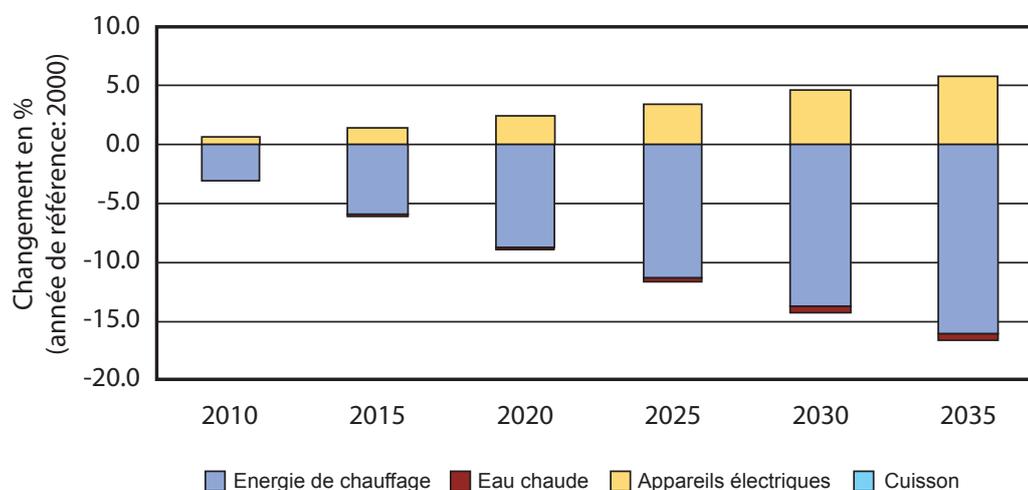


Figure 4: Evolution de la consommation d'énergie des ménages privés ventilée par utilisation, par rapport au scénario de référence. (Aujourd'hui: 75'000 GWh)<sup>5</sup>

### 3. Production établie d'électricité

**Dans un proche avenir déjà, les besoins du pays en électricité ne pourront plus être couverts par la production indigène d'énergie. Les changements climatiques entraîneront une diminution de la production d'hydroélectricité. Sur l'arrière-plan des changements climatiques, la lacune d'approvisionnement devra être comblée en encourageant davantage les énergies renouvelables et les technologies destinées à améliorer l'efficacité énergétique et en mettant en service de nouvelles unités de production sans CO<sub>2</sub>.**

#### Situation de départ

La production suisse d'électricité est pratiquement sans émission de CO<sub>2</sub> grâce à ses deux principaux piliers, la force hydraulique et l'énergie nucléaire. La plus grande partie de l'électricité thermique conventionnelle provient d'usines d'incinération des ordures et d'installations chaleur-force industrielles.

La puissance nette des cinq centrales nucléaires s'élève à 3220 MW. Elles produisent environ 25'000 GWh d'électricité par an, ce qui correspond à peu près à 40% des besoins de la Suisse. Aux environs de 2020, les premières centrales nucléaires auront atteint la fin de leur durée d'exploitation. Les capacités de production de la Suisse seront ensuite en forte régression. Simultanément, les contrats d'importation de courant avec Electricité de France (EDF) arriveront l'un après l'autre à terme.

La consommation d'électricité devrait continuer de croître à l'avenir. Dans le passé, elle a progressé de 1.8% par centième d'augmentation du PIB. L'OFEN compte avec une croissance plus faible jusqu'en 2035, de 22.3% par rapport à 2003, si l'on poursuit la politique actuelle. En cas d'introduction d'une taxe sur le CO<sub>2</sub>, cette croissance serait légèrement plus élevée (+23.2%), étant donné que l'amélioration escomptée de l'efficacité énergétique va de pair avec une consommation d'électricité plus élevée. Si la tendance linéaire se poursuit, la demande d'électricité en 2050 sera d'environ 33% supérieure à ce qu'elle était en 2003. L'Axpo<sup>6</sup> obtient dans ses scénarios des valeurs un peu plus élevées (fig. 5). La fourchette des différents scénarios est révélatrice des incertitudes au sujet de la future demande d'électricité.

De 2020 jusqu'en 2030, les besoins du pays en électricité ne pourront plus être couverts par la production indigène d'électricité et les contrats d'importation existants. A partir de 2012, les importations de courant dépasseront régulièrement les exportations pendant le semestre d'hiver.

#### Changements climatiques

Les changements climatiques constituent un important facteur d'influence pour la produc-

tion d'électricité. La force hydraulique dépend fortement de l'offre en eau (précipitations et eau de fonte), elle-même directement influencée par les changements climatiques. L'énergie nucléaire est tributaire de quantités suffisantes d'eau de refroidissement.

Les énergies établies que sont la force hydraulique et le nucléaire seront influencées comme suit par les changements climatiques:

- A court terme, l'offre en eau à disposition de la force hydraulique sera plus grande en raison de la fonte des glaciers, ce qui permettra de produire davantage d'électricité en été. A long terme, l'offre en eau et la production diminueront en été. La baisse des précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration seront responsables en effet d'une diminution des débits.<sup>7</sup> Celle-ci pourrait conduire d'ici 2050 à un recul moyen de 7% de la production hydroélectrique.<sup>8</sup> Il faudra compter en outre avec une augmentation des crues sur le Plateau en conséquence des changements climatiques. Cette eau ne pourra pas être utilisée entièrement pour produire du courant. La perte de production hydroélectrique sera donc encore plus élevée, mais ne peut pas être quantifiée.
- Du fait que la température des cours d'eau sera plus élevée, le nucléaire disposera d'une moindre capacité en eau de refroidissement; sa production diminuera. En été 2003, la puissance du nucléaire a dû être réduite de 25% durant deux mois. Ceci représente une diminution de 4% de la quantité annuelle d'électricité. Les températures des cours d'eau continueront d'augmenter jusqu'en 2050 (cf. chapitre Economie des eaux), avec pour conséquence des restrictions de production.
- Avec les changements climatiques, l'incitation à moins recourir aux énergies fossiles se fera plus forte. Etant donné qu'ils ne produisent pas de CO<sub>2</sub>, la force hydraulique, le nucléaire et les nouvelles énergies renouvelables ne contribuent pas aux changements climatiques et ne seront donc pas soumis à une éventuelle taxe d'incitation.

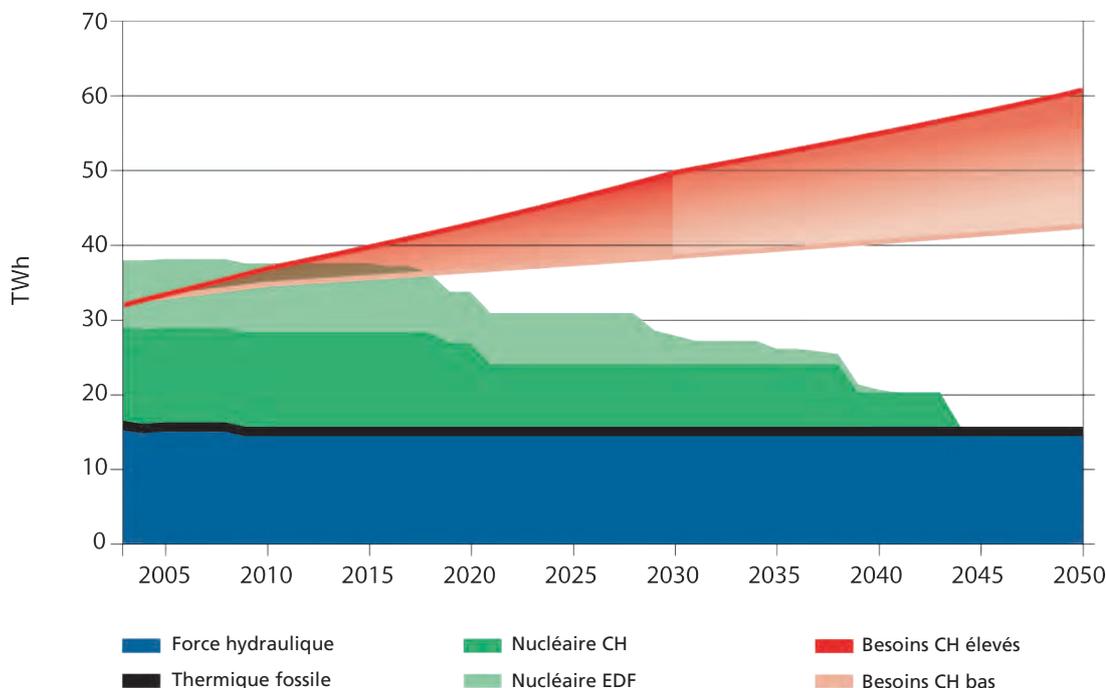


Figure 5: Capacité de production et consommation d'électricité en Suisse pendant le semestre d'hiver. Selon les prévisions, les besoins du pays en électricité ne pourront plus être couverts par la production indigène de courant et les contrats d'importation existants, ceci à partir de 2012 (scénario à forte demande d'électricité) à 2019 (scénario à faible demande).<sup>6</sup> (1 TWh = 1000 GWh)

## Mesures

La production d'électricité devrait rester sans émission de CO<sub>2</sub>. Sur l'arrière-plan des changements climatiques, les mesures suivantes ont la priorité pour combler la lacune d'approvisionnement:

- Un encouragement plus vigoureux des énergies renouvelables et des technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que l'exploitation complète du potentiel d'économie d'électricité. En plus des efforts de recherche et développement, des installations pilotes seront nécessaires pour démontrer la faisabilité de ces technologies et acquérir de l'expérience. L'amélioration de l'efficacité énergétique tendra cependant à accroître la demande d'électricité.
- L'établissement de nouvelles capacités de production sans émission de CO<sub>2</sub>. Une centrale combinée à gaz comme solution transitoire et une nouvelle centrale nucléaire comme solution à long terme ont été proposées récemment pour combler la lacune d'approvisionnement. Pour qu'il n'en résulte pas d'émissions nettes supplémentaires, des mesures complémentaires devront être prises (puits biologiques, captage et stockage de CO<sub>2</sub>, marché des émissions). Les technologies de captage et stockage de CO<sub>2</sub> ne seront disponibles qu'à partir de 2030 ou plus tard. Le stockage est particulièrement critique: comme le stockage géologique profond des déchets nucléaires, il doit être effectué pour une longue durée et s'avère par conséquent un thème politique. Ceci vaut aussi bien pour le stockage en Suisse qu'à l'étranger.
- La Suisse décidera sur le plan politique et démocratiquement comment elle entend organiser son approvisionnement énergétique futur. La préparation d'une décision fondée implique de réunir de façon complète et objective toutes les données scientifiques (sciences naturelles, sociales et économiques) disponibles à cet égard. Les décisions relatives à la future production d'électricité influenceront sur le degré de dépendance internationale de l'approvisionnement énergétique suisse à l'égard des importations de gaz, électricité et autres. C'est pourquoi il faut viser à exploiter de façon aussi complète que possible les potentiels des énergies renouvelables indigènes.

## 4. Les nouvelles énergies renouvelables

**Les impacts directs des changements climatiques sur l'établissement des énergies renouvelables sont taxés de neutres à légèrement positifs. Alors que la croissance de la biomasse est tendanciellement favorisée et que le rayonnement solaire incident augmente légèrement, les événements extrêmes ont un effet potentiellement négatif. Plus important que ces influences directes est le fait que la hausse des prix de l'énergie et les stratégies de protection du climat amélioreront les conditions cadres pour promouvoir et introduire les nouvelles énergies.**

Comparée à la consommation actuelle, la part des nouvelles énergies renouvelables (nér) dans l'approvisionnement de la Suisse en électricité passera de 3% aujourd'hui à 10% (5500 GWh/a) en 2035.<sup>9</sup> Il est possible qu'elle augmente encore jusqu'en 2050. Ces 10% incluent pour l'essentiel de grandes parties des potentiels pour de petites installations hydroélectriques et éoliennes, des contributions substantielles de la biomasse et de la géothermie et un apport relativement modeste du photovoltaïque. Le potentiel des nér sera limité par des prix de production élevés.

Les changements climatiques augmenteront les chances des nér. Le besoin croissant en énergie et les mesures (décidées ou anticipées) de limitation des émissions de gaz à effet de serre feront augmenter la demande d'énergie neutre du point de vue CO<sub>2</sub>. Simultanément, le besoin de subventions diminuera si les prix de l'énergie sont plus élevés. A subventions égales, on peut compter avec une accélération de la pénétration du marché.

La production des nér subira l'influence de facteurs environnementaux à plusieurs échelles de temps. L'efficacité des formes d'énergie renouvelable dépend entre autres de la météo et du climat et est compromise par la variabilité du climat et des événements extrêmes. Le scénario climatique utilisé ici indique un déplacement des valeurs moyennes et ne fait pas de prévisions sur les changements de la variabilité. Il existe des indices selon lesquels la variabilité de la température sera un peu renforcée en été et atténuée en hiver.

Les variations climatiques pourraient aussi être prises en compte dans la planification à moyen terme de la production des nér. Une approche possible serait de modéliser toute la chaîne, des conditions cadres climatiques comme données de départ jusqu'à la production d'énergie.

### Energie éolienne Potentiel

La Suisse détient aujourd'hui environ 5.4 MW<sup>1</sup> d'énergie éolienne installée et produit en gros 5.4 GWh/a d'électricité éolienne. Ceci correspond à peine à 0.01% de la production indigène totale

d'électricité en 2003. Même avec quelque 15 GWh de courant photovoltaïque injecté dans le réseau électrique, la part des nouvelles énergies renouvelables est pour l'heure minime.

Le potentiel éolien de la Suisse est limité. Accroître la production d'électricité éolienne à 600 GWh/a est possible d'ici 2035. L'équipement complet de tous les sites se prêtant à des parcs éoliens permettrait d'épuiser d'ici 2050 le potentiel total de 1150 GWh/a. Comparée à la production d'électricité de 2003, la part de la force éolienne serait de 1.8%. Le potentiel pour des installations isolées s'élève à 2850 GWh/a supplémentaires.<sup>9</sup>

Les possibilités techniques générales d'intégration de l'énergie éolienne dans le réseau électrique incluent la détention de capacités de réserve, la déconnexion des apports éoliens excédentaires et l'accumulation. En Suisse, l'énergie éolienne peut être intégrée sans problème dans le réseau électrique, même dans l'hypothèse d'une exploitation complète du potentiel. Elle aurait pas d'incidence sur la stabilité du réseau, même dans le cas où les sites seraient complètement équipés. Les fluctuations à court terme de l'offre d'électricité éolienne peuvent être aisément absorbées par la force hydraulique. De nouvelles technologies, telles que l'hydrogène, amélioreront encore à l'avenir les possibilités de compensation.

### Changements climatiques

L'influence des changements climatiques sur les vitesses moyennes des vents en Suisse est mal connue. Ils entraîneront éventuellement un changement de ces vitesses et une augmentation des événements extrêmes. L'un et l'autre auraient une influence sur la production d'énergie éolienne. La vitesse moyenne du vent exerce un effet direct sur la puissance électrique de sortie: une augmentation de la vitesse moyenne du vent permet d'attendre une production plus élevée d'électricité éolienne. Des événements extrêmes peuvent être à l'origine d'arrêts de production dans certains sites. Mais une panne généralisée de toutes les installations éoliennes est statistiquement improbable.

## Mesures

En Suisse, les impacts des changements climatiques sur l'exploitation de la force éolienne sont plutôt indirects. Le véritable défi réside dans le développement accéléré de la force éolienne dans les pays limitrophes.

Les mesures suivantes contribuent à une intégration optimale de l'énergie éolienne:

- L'amélioration des prévisions des vents en même temps que des délais d'avertissement plus courts relatifs au tableau de marche, pour permettre à l'exploitant du réseau de connaître à l'avance, à des fins de planification, la production électrique attendue. Plus les délais d'avertissement sont courts, plus précises sont les prévisions de la production éolienne attendue.
- De meilleures bases de planification pour tenir compte des aspects environnementaux, en particulier de la protection de la nature et du paysage.
- Des regroupements de réseaux – plus un réseau est grand, plus faible est le besoin de capacités de réserves, c'est-à-dire de capacités de production conventionnelles, prêtes à compenser à court terme une baisse de production éolienne, due à des conditions éoliennes défavorables.
- Des marchés transparents, interconnectés et performants, permettent d'abaisser substantiellement les coûts d'intégration de la force éolienne. A cet égard, une libéralisation du marché de l'électricité peut être utile si elle

permet à la fois d'assurer l'alimentation et d'équilibrer la charge dans une zone de desserte aussi grande que possible.

## Biomasse: énergie du bois Potentiel

Le potentiel écologique total de la biomasse s'est élevé en 2001 à 34'000 GWh.<sup>9</sup> Les forêts, les haies et les arbres fruitiers en fournissent la partie principale de 12'800 GWh (fig. 6). Le potentiel écologique de la biomasse permettrait d'augmenter sensiblement la production d'électricité. On peut s'attendre à des augmentations de la quantité de biomasse se prêtant à une utilisation énergétique, et les progrès technologiques permettront en outre d'accroître le rendement de conversion en électricité d'un facteur 2 à 3.

En 2004, 2,8 millions de m<sup>3</sup> de bois ont été utilisés en Suisse, avant tout pour le chauffage. Le nombre d'installations automatiques de chauffage au bois notamment a beaucoup augmenté au cours de la décennie passée. Le potentiel énergétique du bois permettrait de doubler au moins l'utilisation de ce combustible par rapport à aujourd'hui à plus de 5 millions de m<sup>3</sup>, à condition que des progrès soient réalisés en matière de réduction des émissions de poussière fine.<sup>10</sup> Les tendances à long terme de l'économie forestière (espèces d'arbres adaptées aux sites, gestion écologique différenciée des forêts, entretien extensif des forêts, récolte mécanisée régionale) ainsi que des développements de l'économie du bois (augmentation de la capacité de sciage) tripleront ce potentiel.

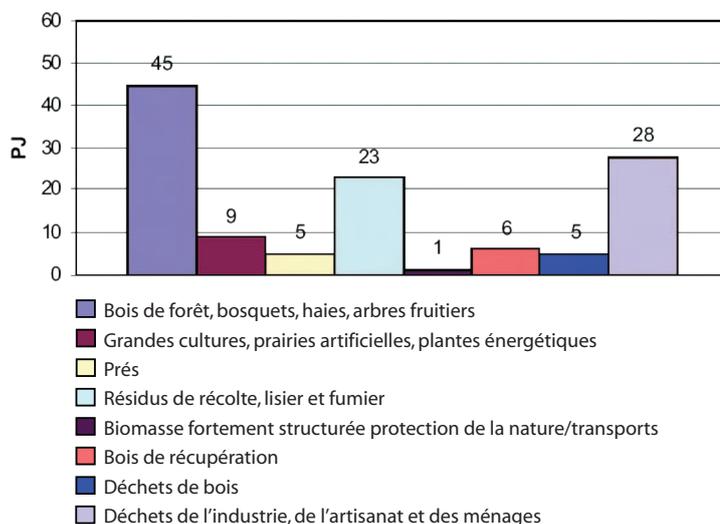


Figure 6: Potentiel écologique de la biomasse en 2001, ventilé par sources.<sup>9</sup>  
(1 PJ = 278 GWh)

Toutefois, la concurrence avec d'autres valorisations (matériaux de construction) augmentera. L'offre et la demande détermineront le prix et donc aussi l'utilisation que l'on fera du bois.

### Impacts des changements climatiques

Les changements climatiques auront des impacts en majorité positifs sur l'exploitation de l'énergie du bois. D'une part, les forêts s'étendront davantage (cf. le chapitre sur les écosystèmes) et le potentiel de l'énergie du bois croîtra. D'autre part, les énergies renouvelables et les mesures visant à accroître l'efficacité énergétique jouiront d'une acceptation grandissante en réaction aux changements climatiques et sous l'impul-

sion de la politique climatique. Les milieux politiques, l'Administration et l'économie se montreront toujours mieux disposées à encourager par des mesures l'utilisation de l'énergie du bois.

Les changements climatiques et le recours accru à l'énergie du bois auront des conséquences pour les forêts. L'aspect de la forêt changera. Au total, il n'y aura pas plus de bois dans les forêts, mais la proportion de bois d'énergie et de bois de qualité mineure grandira. Une éventuelle multiplication d'événements extrêmes, tels que par exemple la tempête d'hiver Lothar en décembre 1999, impliquera de grosses pertes de biomasse et des exploitations forcées.

### Prévisions climatiques à court terme

Des conditions climatiques exceptionnelles, telles que la canicule et la sécheresse de l'été 2003 ou que les hivers froids des années 1960, influent sur la production et consommation d'énergie déjà dans le climat actuel. Depuis quelque temps, ces fluctuations climatiques font l'objet de tentatives de prévisions au moyen de modèles numériques du climat. Cependant, le système climatique a, tout comme les processus météorologiques, des propriétés chaotiques, et les prévisions réagissent de façon extrêmement sensible à de petites incertitudes des conditions initiales. Des méthodes récemment développées de prévisions des probabilités tiennent compte de cette sensibilité en

calculant non pas une seule, mais de nombreuses prévisions à partir de conditions initiales légèrement différentes. Cet ensemble de prévisions permet ensuite de calculer p.ex. la probabilité d'un mois de janvier froid ou d'un été torride (fig. 7). Pour l'heure, de telles prévisions climatiques à court terme doivent être interprétées et utilisées avec prudence; leur qualité varie selon la région du globe et surtout selon l'échéance souhaitée de la prévision. Mais ces données probabilistes permettent de prévoir le temps auquel il faut s'attendre plus d'une semaine à l'avance et offrent ainsi au secteur professionnel, comme à celui du management, d'intéressantes possibilités de planification.<sup>11,12</sup>

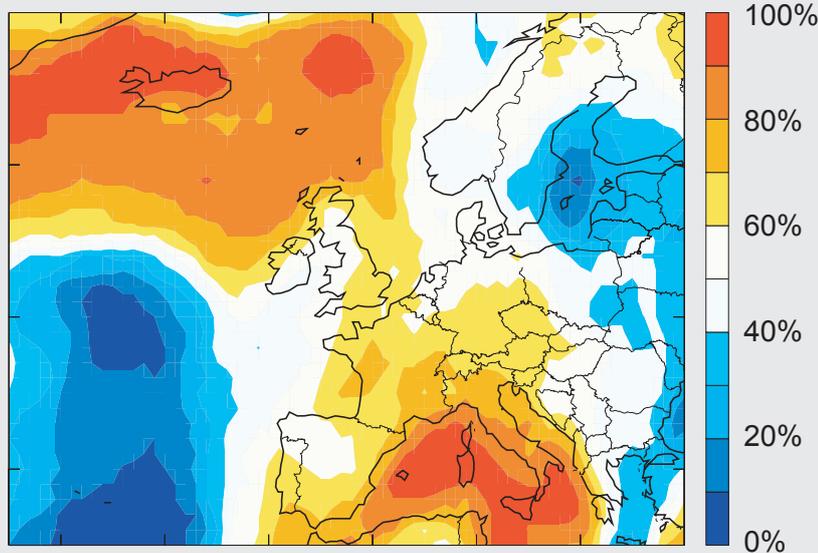


Figure 7: Probabilité que les températures de l'été 2003 se situent au-dessus de la moyenne climatologique: prévision du 1er mai 2003.

## 5. Aspects économiques

**Il existe un large consensus selon lequel la raréfaction des ressources pétrolières et les changements climatiques entraîneront une hausse des prix de l'énergie. Cette tendance induira une baisse de l'importance de l'énergie dans le produit social brut et une atténuation de la croissance de la consommation globale d'énergie. Des mesures d'adaptation appropriées dans le secteur énergétique ne limiteront pas seulement le coût des dommages, mais réduiront aussi celui du système énergétique lui-même, si bien que dans un cas favorable, il en résultera de véritables synergies entre adaptation et réduction.**

### Evolution des prix de l'énergie

Les prix de l'énergie ne reviendront pas au bas niveau de la période 1985-2000 et pourraient continuer de croître à moyen et long terme en raison de distorsions politiques. Les développements suivants y contribueront:

- La demande globale en énergie croît fortement. L'AIE compte avec une hausse de la demande de 50% jusqu'en 2030.<sup>13</sup> 60% de cette hausse devrait être couverts par le pétrole et le gaz naturel.
- En Suisse aussi, la demande en services énergétiques continuera de croître (cf. paragraphe 3). En même temps, les changements climatiques conduiront à un déplacement de l'énergie de chauffage (combustibles) en hiver vers l'énergie nécessaire à la climatisation (électricité) en été (cf. paragraphe 2). Selon le scénario considéré, la demande accrue peut être couverte avec moins d'énergie finale, mais la part de l'électricité augmente dans les stratégies d'efficacité.
- La production énergétique par la force hydraulique et le nucléaire diminuera à coûts fixes constants en été en Suisse du fait des changements climatiques.
- Les changements climatiques accroissent la variabilité du cycle de l'eau. Davantage d'événements extrêmes conduiront à des arrêts d'exploitation et dommages plus nombreux. Des exemples en sont la crue d'août 2005, qui a entraîné des arrêts de centrales au fil de l'eau, ou bien les températures élevées de

l'eau en été 2006, qui ont impliqué une réduction de la production énergétique des centrales nucléaires.

Un important facteur d'influence sur l'évolution des prix de l'énergie est la question de savoir si les coûts externes des émissions de CO<sub>2</sub> sont internalisés dans une perspective de durabilité (p.ex. par des certificats, des taxes d'incitation, des mesures d'encouragement). L'évolution à long terme de la législation sur le CO<sub>2</sub> est entachée de grandes incertitudes. Celles-ci dépendent d'une part des prix du pétrole, du gaz et de l'électricité. Il est permis de supposer que des prix élevés de l'énergie entraîneront une baisse des coûts imposés au CO<sub>2</sub> par la politique, vu que le prix des énergies fossiles en serait encore accru. D'autre part, les coûts du CO<sub>2</sub> dépendent fortement du fait de savoir si à l'échelon global, tous les Etats participent aux conventions de protection du climat dans le sens du Protocole de Kyoto. Si des Etats importants se tiennent à l'écart à l'avenir, il s'ensuivra un déplacement géographique de la production énergétique. Dans l'ensemble, la hausse des prix de l'énergie aura pour effet de modérer la consommation de cette dernière. Des considérations ayant trait à l'efficacité énergétique favoriseront l'électricité. Les énergies neutres du point de vue des émissions de CO<sub>2</sub> (nouvelles énergies renouvelables et nucléaire) deviendront plus attractives. De façon générale, les changements climatiques conduiront à davantage d'incertitudes, ce qui privilégiera les systèmes à court délai de retour de l'investissement.

### Modélisation des mesures d'adaptation et d'évitement dans l'optique de l'économie

Suite aux changements climatiques, la part du produit social brut disponible pour la consommation diminuera pour les raisons suivantes:

- la réparation des dommages causés par les changements climatiques incombera à l'économie nationale;
- il faudra prendre des mesures de prévention des dommages et les financer;
- les mesures de protection du climat visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre causeront des dépenses supplémentaires.

Au niveau économique, les deux premiers points entrent dans le cadre des coûts d'adaptation, le troisième ensemble de mesures correspond aux coûts de réduction. Pour arriver à une stratégie à long terme optimale, les futurs coûts et bénéfices des changements climatiques devront être évalués

et comparés. A cette fin, la consommation future et les pertes de prospérité font l'objet d'une minoration de l'ordre de 1.5 à 5% selon l'horizon temporel considéré. Cette manière réaliste d'aborder les perspectives économiques a l'avantage de mettre en relief un mode optimal de comportement de la communauté mondiale des Etats: le laisser-aller autant que l'excès de mesures coûtent plus qu'une politique de protection du climat définie de manière à maximaliser la prospérité à long terme.

Il ressort de ce genre d'analyses qu'une politique du climat bien ciblée est payante au niveau économique, qu'elle permet de minimiser les pertes de prospérité et de maintenir leur ordre de grandeur à moins de 2% de l'évolution de référence sans changements climatiques, et qu'enfin la part des dépenses pour l'énergie dans le produit social brut diminue légèrement en conséquence des mesures de protection du climat.

## Bibliographie et notes

- 1 GWh/a = gigawattheures par an. 1 GWh = 1 milliard de kWh. 1 pétajoule (PJ) = 278 GWh. MW = mégawatt (puissance).
- 2 Bundesamt für Energie BFE. Energieperspektiven 2035. Bern, 2007.
- 3 Road map Erneuerbare Energien Schweiz – Eine Analyse zur Erschliessung der Potenziale bis 2050. SATW-Bericht Nr. 39. Schweiz. Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, 2007.
- 4 B. Aebischer, G. Catenazzi. Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft. Ergebnisse der Szenarien I bis IV. Bundesamt für Energie, Bern, 2007.
- 5 P. Hofer. Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 1990–2035. Ergebnisse der Szenarien I a Trend und I b Trend und der Sensitivitäten Preise hoch, BIP hoch und Klima wärmer. Bundesamt für Energie, Bern, 2007.
- 6 Axpo. Stromperspektiven 2020. 2005.
- 7 P. Horton, B. Schaepli, A. Mezghani, B. Hingray, and A. Musy. Prediction of climate change impacts on Alpine discharge regimes under A2 and B2 SRES emission scenarios for two future time periods. Bundesamt für Energie, Bern, 2005.
- 8 M. Piot. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz. Wasser, Energie, Luft, 2005.
- 9 S. Hirschberg, C. Bauer, P. Burgherr, S. Biollaz, W. Durisch, K. Foskolos, P. Hardegger, A. Meier, W. Schenler, T. Schulz, S. Stucki und F. Vogel. Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen. Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten. PSI-Bericht Nr. 05-04, Villigen, 2005.
- 10 Avec 2.5 Mio m<sup>3</sup> de bois supplémentaires il est possible de chauffer environ 1 Mio d'appartements efficients en énergie et ainsi de remplacer environ 0.5 Mio t de mazout.
- 11 C. Appenzeller, P. Eckert. Towards a seasonal climate forecast product for weather risk and energy management purposes. ECMWF Report, Seasonal forecasting user meeting 2000, 2001, 40–44.
- 12 M. A. Liniger, W. A. Müller, C. Appenzeller. Saisonale Vorhersagen. Jahresbericht der MeteoSchweiz 2003.
- 13 IEA, World Energy Outlook 2004. (<http://www.worldenergyoutlook.org>).



# Constructions et infrastructures

## Auteurs

Dörte Aller

Thomas Frank

Beat Gasser

Willi Gujer

Christoph Hartmann

Alain Jeanneret

Martin Jakob

Hansjürg Leibundgut

Andreas Meier

Simon Meier

Eberhard Parlow

Christoph Ritz, Chair

Hans-Rudolf Schalcher

Roland Stulz

Esther Thalmann

Aller Risk Management

Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche EMPA

Bureau d'ingénieurs Basler & Hofmann

Chaire de gestion de l'eau urbaine, EPF de Zurich

Novatlantis

Office fédéral des routes (OFROU)

CEPE - Centre for Energy Policy and Economics, EPF Zurich

Institut für Hochbautechnik, EPF de Zurich

CFF, Unité risques naturels

Siemens Building Technologies AG

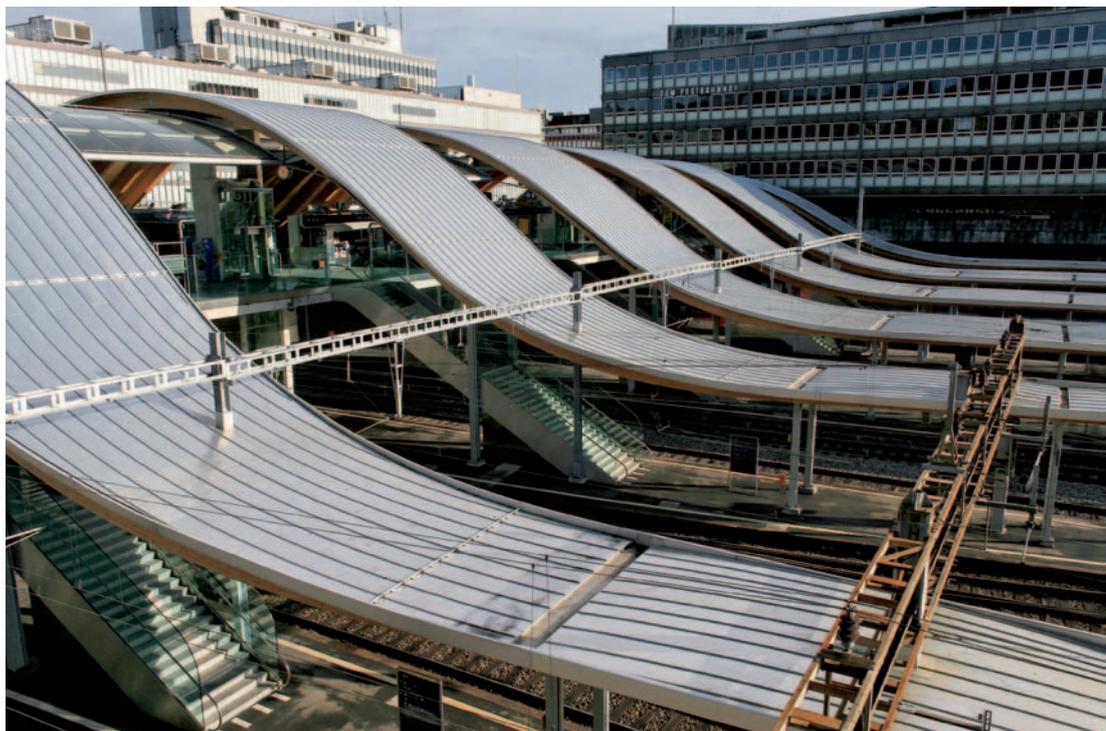
Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung

ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles

Institut für Bauplanung und Baubetrieb

Novatlantis

Rédaction, ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles



## 1. Introduction

### Situation

L'évolution de la démographie et de l'emploi ainsi que le comportement en matière de mobilité sont des facteurs d'influence importants pour le secteur des constructions et des infrastructures. Au cours des dernières décennies, le Plateau suisse s'est fortement urbanisé. Nombre d'agglomérations non seulement grandissent, mais s'amalgament avec d'autres. La mobilité (kilométrage) aussi a fortement augmenté. La séparation entre sphères d'habitation et sphères de travail n'entraîne pas seulement une augmentation constante du trafic, mais accroît en même temps les exigences quant au bon fonctionnement des infrastructures. L'espace d'habitation se développe en bordure ou à l'extérieur des agglomérations qui existaient jusqu'alors, dans des zones plus exposées aux risques découlant d'événements météorologiques exceptionnels. Cette évolution débouche sur un système complexe, toujours plus sensible. Simultanément, les coûts à assumer lorsque des éléments du système s'effondrent ou tombent en panne vont en augmentant.

Pour réduire ou éviter les dommages, il faut évaluer à temps et prendre en compte les risques des changements climatiques. Etant donné la longue durée de vie des constructions et des infrastructures, il importe d'adapter de bonne heure les décisions en matière d'architecture, d'aménagement du territoire, de conception des constructions et de technique du bâtiment aux changements climatiques en cours et à venir. Premièrement, cela évite de devoir prendre ultérieurement des mesures occasionnant un supplément de dépenses. Deuxièmement, un mode de construction adapté réduit les éventuels dommages dus à la météo et au climat. Et troisièmement, la sécurité et le confort en sont accrus tant dans l'habitat qu'au travail, de même que la sécurité d'exploitation dans les transports.

Les éléments urbains considérés dans ce chapitre comprennent les constructions dans les sphères d'habitation et de travail, les voies de transports et de circulation ainsi que la gestion de l'eau urbaine (cf. fig. 1, zones marquées en bleu). Les autres aspects de l'eau, tels que les cours d'eau naturels, l'eau comme danger naturel, l'offre et les besoins en eau ainsi que l'utilisation de l'eau, sont traités au chapitre sur l'économie des eaux. Le secteur énergétique fait l'objet d'un article séparé. Le chapitre „Constructions et infrastructures“ considère en outre l'agglomération comme un tout, au niveau générique, mais ne traite à cet égard que des agglomérations urbaines.

Les aspects suivants des changements climatiques sont particulièrement importants pour le secteur des constructions et des infrastructures:

- la hausse des températures / l'augmentation des vagues de chaleur
- les changements en matière de gestion des eaux
- l'augmentation des fortes précipitations d'hiver
- l'augmentation des tempêtes d'hiver
- l'augmentation des orages accompagnés de grêle, fortes pluies et rafales.

Les impacts sur les éléments urbains et les agglomérations prises comme un tout sont considérés en mettant l'accent sur deux aspects: (1) la qualité de vie en général et au travail, (2) la stabilité et le maintien de la valeur des constructions et infrastructures.

### Tour d'horizon

#### Éléments urbains: bâtiments

##### *Climat des locaux*

Les bâtiments récents disposent généralement d'une bonne isolation thermique qui permet de réduire les besoins en chauffage pendant la saison froide. En été, la chaleur pénètre un peu plus lentement, mais est alors aussi restituée plus difficilement vers l'extérieur. Le rayonnement solaire, ainsi que la chaleur dégagée par des appareils, l'éclairage et les

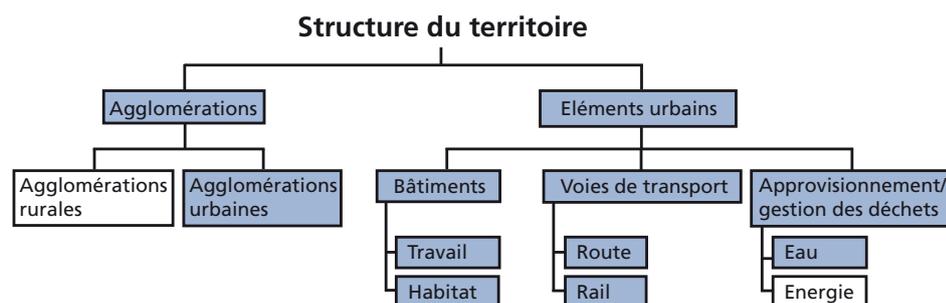


Figure 1: Aperçu des secteurs traités dans le chapitre „Constructions et infrastructures“ (marqués en bleu). Du fait des interactions avec d'autres domaines thématiques, la structure territoriale est examinée dans le sens d'une synthèse (cf. le chapitre „La Suisse urbaine“). Les agglomérations rurales ne sont pas considérées spécialement. Un chapitre séparé est consacré à l'énergie.

personnes, peut rendre nécessaire un recours à la climatisation, ceci notamment dans les bureaux et autres immeubles de services ainsi que dans les établissements industriels. La durée de la période de climatisation, de même que la probabilité des vagues de chaleur, augmentent avec le réchauffement climatique. Des mesures prévoyantes, telles que l'utilisation d'appareils faisant un usage efficace de l'énergie, le réglage de l'éclairage et des installations de protection contre le soleil, une bonne aération (par les fenêtres) et des systèmes de climatisation très efficaces, peuvent contribuer substantiellement à l'amélioration du climat des locaux.

#### *Enveloppe des bâtiments et constructions entières*

L'adaptation précoce des normes de construction est particulièrement importante en ce qui concerne l'enveloppe des bâtiments. Ces normes reposent actuellement sur des valeurs moyennes de périodes d'observation passées, or il serait urgent de les adapter au climat futur.

La menace dont peuvent faire l'objet des constructions entières découle principalement de l'augmentation attendue d'événements météorologiques extrêmes. De tels événements peuvent entraîner des dommages financiers considérables qui ne sont toutefois pas attribuables seulement aux changements climatiques. La concentration croissante des valeurs a aussi une influence importante, de même qu'une vulnérabilité en hausse et l'extension des maisons d'habitation dans des zones considérées autrefois comme exposées aux risques. C'est pourquoi l'aménagement du territoire a également une fonction importante à remplir: pour minimiser les coûts dans les secteurs exposés, il faut faire appel de façon optimale à la complémentarité entre l'aménagement du territoire et les mesures de protection.

#### **Réseau ferré et routier**

En ce qui concerne les impacts des changements climatiques sur le réseau ferré et routier, les plus gros problèmes sont à attendre au niveau des modifications du terrain, dues notamment à l'augmentation des fortes précipitations. Les laves torrentielles, crachées boueuses et glissements de terrain peuvent causer de gros dommages aux infrastructures. Sous ce rapport il faut considérer le fait que les risques naturels grandissent indépendamment des changements climatiques, en raison de la valeur croissante des infrastructures. Des stratégies de solution existent dans de nombreux cas, il convient d'en élargir raisonnablement l'application. Dans les transports routiers notam-

ment, l'évaluation des mesures nécessaires exige aussi une comparaison avec d'autres risques, en particulier ceux d'accidents de la circulation.

#### **Gestion de l'eau urbaine**

Pour ce qui a trait à la gestion de l'eau urbaine, les conséquences des changements climatiques peuvent être en partie évaluées. La probabilité est grande que l'approvisionnement en eau continuera d'être assuré malgré les modifications de la demande (p.ex. une hausse des besoins en été), grâce à une gestion optimale de l'eau. En matière de traitement des eaux usées, les températures en hausse, les périodes de sécheresse, mais aussi des précipitations intenses exigeront éventuellement des adaptations de l'exploitation des stations d'épuration.

#### **Agglomérations urbaines**

L'augmentation de la température, ainsi que les vagues de chaleur ou canicules plus fréquentes, se feront sentir de façon particulièrement accablantes dans les agglomérations urbaines. Compte tenu des conséquences sanitaires, il est urgent de prendre en compte cette évolution dans l'aménagement du territoire. Des mesures appropriées pour réduire l'exposition à la chaleur peuvent avoir pour effet positif additionnel d'améliorer aussi la qualité de l'air.

### **Lien avec d'autres thèmes**

#### **Energie**

Les économies d'énergie de chauffage sont compensées en partie par un besoin accru d'électricité pour la climatisation.

#### **Santé**

Dans les agglomérations urbaines surtout, l'exposition accrue à la chaleur peut conduire à des problèmes sanitaires.

#### **Agriculture**

Le besoin en eau accru de l'agriculture et des ménages peut mener à des conflits.

#### **Tourisme**

Le tourisme est fortement dépendant d'une infrastructure fonctionnant de façon fiable.

#### **Assurances**

Les dangers naturels peuvent conduire à davantage de dommages. Des stratégies d'adaptation aux changements climatiques peuvent diminuer la sensibilité à ces dommages (p.ex. toits vitrés incassables) ou l'augmenter (p.ex. protection antisololaire).

## 2. Bâtiments

### Climat des locaux

**Le réchauffement climatique fait augmenter aussi les besoins en climatisation. L'adaptation du mode de construction de nouveaux édifices ou de la rénovation de constructions existantes permet de climatiser les locaux en minimisant la consommation d'énergie et donc aussi les coûts.**

Les immeubles d'habitation et de bureaux récents ou rénovés disposent aujourd'hui d'une bonne, voire très bonne isolation thermique qui réduit les besoins de chauffage en hiver. En même temps, cette meilleure isolation de l'enveloppe du bâtiment diminue en été le transport vers l'extérieur de la chaleur qui a pénétré dans les locaux ou qui y a été produite. S'il y a d'importantes sources de chaleur dans le bâtiment et des apports d'énergie élevés par le rayonnement solaire, il s'ensuit une accumulation de chaleur dans les locaux, et de ce fait un besoin de climatisation, ceci avant tout dans les immeubles utilitaires (cf. chapitre „Energie“, paragraphe 2). Suite au réchauffement climatique, la période annuelle de climatisation sera plus longue et la température des locaux peut devenir accablante pendant les grandes chaleurs. De ce fait, mais aussi en raison d'exigences de confort croissantes, la climatisation prendra plus d'importance.

#### Immeubles de bureaux et autres bâtiments utilitaires

##### *Chaleur et productivité au travail*

Dans les immeubles de bureaux, des températures extérieures élevées, des sources de chaleur internes et le rayonnement solaire conduisent souvent à des conditions particulièrement désagréables. De nombreux bâtiments sont équipés de vastes façades vitrées qui laissent entrer la lumière et l'énergie solaire. A l'intérieur des locaux et dans les vitrages, la lumière est partiellement convertie en chaleur. A ceci s'ajoute le dégagement thermique des appareils électroniques tels qu'ordinateurs, photocopieuses, imprimantes etc. Une densité d'occupation élevée dans les immeubles de bureaux et l'éclairage contribuent également à la charge thermique. Une bonne isolation thermique, indispensable même sous un climat plus chaud pour réduire les besoins de chauffage et assurer un bon confort, pour corollaire que cette chaleur ne peut guère s'échapper à travers les fenêtres ou le reste de l'enveloppe du bâtiment. Il s'ensuit, pendant les jours chauds et ensoleillés, des températures élevées dans les locaux, lesquelles ne sont pas seulement désagréables, mais réduisent aussi la productivité au travail. Des études mon-

trèrent que pour des températures de plus de 26 °C en été, la productivité de travail dans les bureaux diminue.<sup>1,2,3</sup> Pendant l'été caniculaire de 2003, on a dénombré, en l'espace de quatre semaines, vingt-deux jours pendant lesquels la température d'un bureau moyen, sans réfrigération active, a dépassé 26 °C en dépit du recours au rafraîchissement nocturne (cf. fig. 2), ceci au lieu de sept jours durant un été moyen. Dans les immeubles de bureau non doté du rafraîchissement nocturne, tels qu'ils se présentent généralement aujourd'hui, cette limite de confort est encore bien plus souvent dépassée.<sup>4</sup> Le besoin de climatisation ne se limite donc pas aux périodes de chaleur exceptionnelle, mais se présente aussi lors d'un été moyen.

##### *Adaptation de constructions existantes*

Dans les constructions existantes, le problème de la charge thermique peut être résolu par une bonne protection contre le soleil, des appareils et un éclairage bien réglés (p.ex. modulés en fonction de l'heure et des personnes présentes) et utilisant l'énergie de façon efficace, la possibilité d'ouvrir les fenêtres et l'installation de climatiseurs. Une optimisation de la technique et des effets de synergie avec la fourniture de chaleur aux locaux permettent de minimiser les investissements et les dépenses courantes. Un mode de construction bien compris peut rendre superflue l'installation de climatiseurs dans les nouveaux bâtiments. Des systèmes de „free cooling“ où des climatiseurs très performants ne consomment plus qu'une fraction de l'énergie des appareils et installations de climatisation standards actuels.<sup>6</sup> De tels systèmes utilisent autant que possible le froid disponible (p.ex. des températures extérieures basses pendant la nuit, l'évaporation, les sondes géothermiques de pompes à chaleur) pour refroidir les plafonds, sols et parois, qui peuvent ainsi, le jour suivant, absorber de nouveau de la chaleur dans l'air ambiant. Des mesures architecturales peuvent également fournir une contribution substantielle au confort climatique des locaux; elles ont trait par exemple à la protection contre le soleil (où il faut prendre en compte l'augmentation du danger de grêle et de tempête, avant tout pour les hauts bâtiments, cf. le paragraphe „Enveloppe du

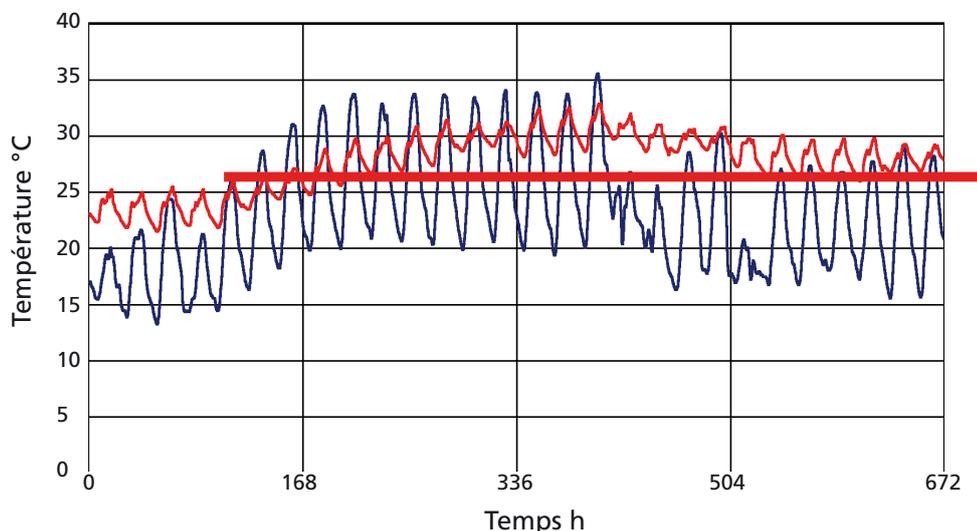


Figure 2: Evolution calculée de la température durant quatre semaines pendant l'été caniculaire de 2003, sur le site de MétéoSuisse à Zurich. Température extérieure (en bleu) et dans les locaux (en rouge) d'un bâtiment de bureaux ayant une forte proportion de vitrage (80%), une bonne protection antisolaire ( $g=0.10$ ), des charges intérieures modérées ( $15\text{W/m}^2$ ), une aération confort le jour et une aération intense la nuit ( $nL=0.3\text{h}^{-1}$ ). La limite de confort de  $26^\circ\text{C}$  (barre rouge), au-dessus de laquelle la productivité au travail diminue rapidement, est dépassée pendant plusieurs jours. (Source: Frank 2006)<sup>5</sup>

bâtiment“), à la profondeur des locaux, à la dimension et à l'orientation des fenêtres, ainsi qu'à des éléments d'architecture paysagiste tels que les arbres, les espaces verts et les installations hydrauliques.

#### Efficacité et besoin en énergie

Pour autant que les points critiques mentionnés soient pris en considération dans les futures constructions, on peut s'attendre dans l'ensemble à ce que les économies de chauffage soient à l'avenir plus importantes que le besoin supplémentaire d'électricité pour la climatisation. Cependant, ce changement implique un déplacement de la demande des combustibles vers l'électricité (cf. chapitre „Energie“, 2e paragraphe). Des raisons économiques et tenant à la politique en matière de ressources plaident pour une climatisation des bâtiments aussi efficace que possible (cf. chapitre „Energie“, 5e paragraphe), étant donné notamment les énormes économies d'énergie par rapport à des mesures de réfrigération inefficaces. Un défi à relever à cet égard tient au fait qu'une climatisation efficace implique une harmonisation minutieuse de différents éléments (p.ex. l'isolation, la ventilation, l'ombragement, les fenêtres). Une telle conception et planification intégrales est encore l'exception aujourd'hui. La priorité est donnée à minimiser à tous les niveaux les investissements, plutôt que les coûts du cycle de vie, ce qui fait obstacle à la réalisation de systèmes harmonisés minutieusement les uns par rapport aux autres. Il

est donc urgent d'agir aux niveaux de la politique énergétique, de la législation, des branches concernées ainsi que des maîtres-d'oeuvre et des propriétaires, exploitants et utilisateurs des bâtiments.

#### Coûts d'adaptation

L'adaptation d'immeubles de bureaux existants et d'autres bâtiments utilitaires, tels que centres d'achat, hôpitaux, homes, écoles etc., implique des dépenses supplémentaires, dont l'installation et l'assainissement de la climatisation et l'amélioration de la protection contre le soleil représentent la plus grande part. Selon une étude mandatée par l'Office fédéral de l'énergie<sup>7</sup>, la protection contre l'excès de chaleur causera à elle seule des coûts de 10 francs par  $\text{m}^2$  et par année. La surface de bureaux s'élève actuellement en gros à 40 millions de  $\text{m}^2$ ; la surface totale chauffée et éclairée du secteur des services est de plus de 150 millions de  $\text{m}^2$ . La climatisation de deux tiers de cette surface occasionnerait des dépenses de 1 milliard de francs par an. Cependant, le bénéfice retiré sous forme de productivité au travail et d'attractivité de la place de travail serait encore plus considérable selon les estimations, raison pour laquelle la climatisation des bâtiments deviendra un thème central ces années à venir.

#### Immeubles d'habitation

Dans les immeubles d'habitation, on peut renoncer en général aux climatiseurs si le mode de

construction est bien adapté et que l'on aère pendant la nuit en ouvrant les fenêtres. Une bonne protection contre le soleil, éventuellement réglée, réduit l'apport de chaleur externe. Une aération appropriée, l'air parcourant p.ex. une nappe de tubes enterrée, de même qu'une aération par les fenêtres et la nuit par des clapets et fentes évacuent la chaleur. Ces deux mesures – la réduction des apports de chaleur et l'évacuation de cette dernière – contribuent

à maintenir un climat confortable à l'intérieur des locaux. L'effet de la réfrigération nocturne peut être intensifié en exploitant la capacité de stockage à l'intérieur des locaux, par exemple par des plafonds en béton brut, des revêtements de sol sans tapis et le renforcement des combles par des plaques de plâtre. A mentionner aussi l'utilisation de sondes géothermiques comme source de froid relativement efficace du point de vue énergétique.

### Enveloppe du bâtiment

**L'augmentation attendue de l'intensité et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes est une menace pour les éléments sensibles de l'enveloppe des bâtiments. Les normes de construction actuelles, qui reposent sur des valeurs climatiques moyennes de périodes d'observation passées, devront être adaptées au climat futur.**

Il est possible que la vulnérabilité d'éléments de construction situés sur la face extérieure des bâtiments puisse augmenter à l'avenir. D'une part, il faut compter avec une tendance à l'augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité d'événements météorologiques exceptionnels (p.ex. fortes précipitations, tempêtes d'hiver). De ce fait, le nombre des éléments de construction susceptibles d'être facilement endommagés augmentera probablement. Ceux-ci peuvent être des systèmes d'ombrage assurant une protection contre le réchauffement climatique, les isolations thermiques et des installations permettant d'économiser ou de produire de l'énergie (p.ex. installations solaires). La diversité des matériaux utilisés pour les toits et les façades a augmenté. Les bâtiments administratifs et industriels notamment comprennent souvent des matériaux présentant une résistance insuffisante à la grêle. Il s'agit de matières synthétiques laissant passer la lumière, de tôles et de dispositifs de protection contre le soleil (cf. fig. 3).

Jusqu'à maintenant, les exigences posées à la sécurité des éléments de construction situés sur la face extérieure des bâtiments reposent sur des valeurs moyennes de périodes d'observation passées du climat, qui ont été codifiées dans des normes de construction. Non seulement les constructions techniques (telles que mâts et tours, ponts de grande portée, serres etc.) ou édifiées dans des sites extrêmes (en haute montagne, à proximité d'un cours d'eau, etc.), mais aussi les constructions normales sont concernées par l'intensification des phénomènes météorologiques. Les fixations de façades légères et de couvertures de toits, la résistance à la cassure de toits vitrés, la stabilité des systèmes d'ombrage et des installations solaires à l'égard des phénomènes météorologiques etc. doivent être contrôlées dans les constructions existantes et être adaptées au climat futur dans les nouvelles constructions.



Figure 3: Dégâts de grêle sur une façade en matière synthétique à Wetzikon, en 2004. (Source: Thomas Egli)

## Événements extrêmes et mise en danger de bâtiments entiers

**L'augmentation possible des crues, fortes précipitations, tempêtes et chutes de grêle peut mettre en danger des bâtiments et entraîner de gros dommages financiers. Cette évolution des risques exige une adaptation des normes de construction.**

### Crues

Lorsque des crues surviennent aujourd'hui, elles entraînent généralement d'importants dommages financiers dans le secteur des infrastructures. Ceci ne tient pas seulement aux changements climatiques, mais aussi à l'énorme concentration de valeurs; en d'autres termes, le risque de dommages croît du fait que l'on ne cesse de développer le réseau routier et ferroviaire, et de construire des ponts et des maisons. En outre, les constructions se sont étendues dans des régions que l'on aurait évitées autrefois, parce que jugées trop risquées.

La question de savoir si les crues deviendront plus fréquentes avec les changements climatiques ne peut pas encore être tranchée définitivement par la science (cf. chapitre „Economie des eaux“). Leur augmentation semble probable en particulier durant l'hiver et les saisons de transition. Le Plateau, les Préalpes et le Tessin seraient vraisemblablement les premiers touchés. Pour empêcher que l'ampleur des dommages dus aux crues n'augmente avec les changements climatiques, la protection contre les crues doit être réexaminée en permanence. La stratégie souple suivie à cet égard par la Suisse (cf. chapitre „Economie des eaux“, 3e paragraphe) vise à éviter en premier lieu les dommages et non pas forcément les inondations.<sup>8</sup>

### Tempêtes

Les édifices particulièrement exposés, comme par exemple les tours des émetteurs, sont soumis à des contraintes approchant la limite de stabilité lors de tempêtes de l'intensité de Lothar (décembre 1999). Si de telles tempêtes deviennent plus fréquentes, il faudra renforcer les normes de construction.

### Fortes pluies

L'augmentation attendue des précipitations de forte intensité doit être prise en compte dans le dimensionnement de l'évacuation des eaux des biens immobiliers. Sont concernés les caves et rez-de-chaussée de bâtiments situés en bordure de pentes et dans des dépressions du terrain. Ce danger pourra se présenter plus souvent aussi au centre des villes, car l'évacuation des eaux y est souvent dimensionnée pour des précipitations moins intenses.<sup>9</sup>

### Grêle

Entre 1983 et 2003, le nombre de gros passages de grêle a doublé en Suisse (longueur du passage > 100 km).<sup>10,11</sup> Les gros orages de grêle produisent des grêlons de grand diamètre. Ceux-ci causent des dommages à des matériaux sensibles des toits et des façades, comme par exemple les matières synthétiques, les tôles et les isolations extérieures. Les dispositifs d'ombrage sont en général très sensibles aux effets de la grêle.<sup>9</sup>



Figure 4: Effondrement du toit d'une halle à Waldstatt en 2006, dû à la pression de la neige. (Source: Thomas Egli)

### Charges de neige

Aux altitudes où les précipitations d'hiver tombent sous forme de neige, l'augmentation attendue de ces dernières peut avoir pour conséquence des problèmes de statique en ce qui concerne les toits. Si la charge de neige est trop élevée, ceux-ci peuvent subir d'importants dommages et même, dans le pire des cas, s'effondrer. Les halles au toit constitué de matériaux légers tels que le bois ou l'acier et atteignant une portée considérable sont particulièrement menacées, car la charge de neige est alors importante par rapport au poids propre. Les toits plats sont aussi menacés, en particulier lorsqu'en raison d'une mauvaise isolation thermique la neige tombée antérieurement s'est transformée en glace sur le toit et que de nouvelles chutes de neige viennent encore accroître la charge. Pour minimiser le risque d'effondrement des toits, l'augmentation possible de la charge de neige devra être prise en compte à l'avenir lors de la planification d'édifices privés et publics.

### Avalanches

Le danger d'avalanches peut évoluer avec le réchauffement climatique. On ne sait pas au juste aujourd'hui, si les avalanches deviendront plus fréquentes ou plus rares. Leur fréquence peut aussi changer régionalement indépendamment de l'évolution de leur nombre total. Quoi qu'il en soit, la minimisation des coûts nécessite une évaluation du risque et demande des mesures en conséquence (plan de zone, mesures de protection).<sup>8</sup> L'hiver à avalanches de 1999 a montré quelle ampleur peuvent atteindre les dommages consécutifs aux masses de neige.

### Incertitudes / questions ouvertes

De meilleurs modèles sont nécessaires pour pouvoir estimer le comportement de la température et de l'humidité dans des locaux et leur influence sur le sentiment de confort et la productivité. En outre, la question du confort thermique ne devrait pas être considérée isolément, mais examinée dans son contexte global incluant les aspects microclimatiques et énergétiques.

## 3. Voies de transport

### Réseau ferroviaire

**Les impacts des changements climatiques sur le réseau ferroviaire tiennent avant tout à l'augmentation possible des événements météorologiques extrêmes. Les fortes précipitations sont une menace pour la stabilité des sillons ferroviaires, les tempêtes et périodes de chaleur peuvent endommager les lignes de contact et les voies. Des contre-mesures permettent d'éviter une augmentation exponentielle du montant des dommages.**

#### Stabilité et sécurité des sillons ferroviaires

Les voies ferrées sont aujourd'hui déjà exposées régulièrement aux dangers naturels, en premier lieu lors d'événements météorologiques exceptionnels tels que de longues périodes de pluie ou de fortes chutes de neige. C'est ainsi que de nombreuses gares ont été inondées lors des crues d'août 2005 (cf. fig. 5). De fortes précipitations peuvent avoir pour conséquence non seulement des inondations, mais aussi des glissements de terrain et des crachées boueuses. D'autres conséquences possibles sont des accumulations d'eau sur la voie, l'érosion des bords et des laves torrentielles.



Figure 5: Crues d'août 2005 à Dornibach/SZ  
Source: CFF

#### Précipitations

L'augmentation pronostiquée des précipitations en hiver, qui tomberont davantage sous forme de pluie à basse altitude, ainsi que celle, attendue, des fortes précipitations d'hiver accroîtra la menace sur la stabilité des sillons ferroviaires. La stabilité des talus et des pentes est particulièrement mise en question. Lors de fortes précipitations, l'eau peut aussi saper le terrain sous la voie.

La fréquence future des instabilités et des problèmes d'évacuation de l'eau ne dépend pas seulement de la quantité et de l'intensité des précipitations. L'humidité du sol et la capacité des sols et empièvements à accumuler l'eau, ainsi que l'écoulement de l'eau dans des rigoles situées à proximité, sont aussi des facteurs d'influence importants. Ceci vaut notamment en été, saison durant laquelle les quantités totales de précipitations tendront à diminuer, mais où la pluie tombera plus souvent sur un sol desséché.

Il semble probable que l'instabilité des talus et des pentes croîtra avec l'augmentation des précipitations. Mis à part les lignes de chemins de fer longeant des pentes, les segments de voie aménagés en déblai sur une pente sur le Plateau et dans les Préalpes recèlent un potentiel non négligeable de glissement. Là aussi, les fortes précipitations

peuvent détrempier la voie, la rendre instable et conduire finalement à des glissements de terrain. Au-dessus de la limite des chutes de neige, les quantités importantes de précipitation en hiver peuvent entraîner une augmentation du danger d'avalanches ou entraver le fonctionnement des infrastructures (blocage d'aiguillages, limitation de la visibilité, amoncellement de neige sur la voie). Les chemins de fer disposent d'un cadastre des couloirs d'avalanche qui peuvent être une menace pour le réseau. Dans les zones critiques, les sillons ferroviaires sont aujourd'hui déjà assurés par des galeries de protection ou surveillés de près pendant les fortes chutes de neige. La protection contre d'autres couloirs d'avalanche pourrait être, si nécessaire, réalisée assez facilement.

#### *Température*

Les conséquences de l'augmentation moyenne des températures, de même que celles de vagues de chaleurs qui surviendront probablement plus fréquemment, seront avant tout indirectes en ce qui concerne la stabilité et sécurité des sillons ferroviaires. Des effets sont possibles comme conséquences du dégel du pergélisol et éventuellement de modifications des processus de dégel et de gel. L'été caniculaire de 2003 a montré les effets de températures élevées sur la stabilité des pentes. Pendant cet été exceptionnellement chaud, de nombreux éboulements et chutes de pierres ont été observés dans tout l'arc alpin, notamment à haute altitude et sur les pentes exposées au nord. Cette activité exceptionnelle en matière d'éboulements est interprétée comme indice selon lequel la déstabilisation due à la chaleur extrême se produit comme réaction presque immédiate. Etant donné que les régions à pergélisol sont situées très souvent à l'extérieur des zones d'habitation et d'infrastructures, le danger futur est limité. Dans les régions critiques, les risques et les dommages peuvent être minimisés en renforçant les mesures de sécurité (p.ex. filets de sécurité, murs de protection, surveillance).

Il est possible que l'on assiste à une diminution des chutes de pierres dans les régions situées à plus basse altitude, où les températures seront plus souvent positives à l'avenir en raison du réchauffement.

#### **Ouvrages de génie civil**

En matière de construction, on ne s'attend pas à des problèmes liés au réchauffement climatique

pour les ouvrages de génie civil tels que ponts, tunnels, passages en tranchée, etc. Normalement, une augmentation des températures de l'ordre de grandeur attendu peut être supportée sans conséquences par les ouvrages de génie civil. On ne s'attend pas non plus à des problèmes de statique en cas de tempêtes. Mais il est possible que les phénomènes d'affouillement et les problèmes d'écoulement augmentent au niveau des ponts et d'autres passages du fait de crues plus importantes.

#### **Lignes de contact et rails**

##### *Tempêtes d'hiver*

Du fait de l'augmentation attendue des tempêtes d'hiver, il faudra compter avec davantage d'arbres déracinés (cf. fig. 6). Lorsque de tels arbres tombent sur des lignes de contact ou la voie ferrée, cela entraîne généralement des retards et interruptions du trafic ferroviaire et des dommages aux infrastructures. Environ un tiers des quelque 3000 km de lignes du réseau des CFF est bordé d'un ou des deux côtés par des forêts.

Les CFF s'efforcent d'avoir sur tous les tronçons boisés un profil de forêt bien défini: des buissons et arbustes à proximité des voies et des arbres de plus grande taille à plus grande distance de ces dernières. Des arbres tombés ne peuvent ainsi plus guère causer de dommages. Cette manière de procéder est avantageuse du point de vue de la disponibilité et sécurité en cas de tempêtes, mais peu favorable en revanche en ce qui concerne l'ombrage des pentes lors de périodes de chaleur (microclimat des talus de voies ferrées).

##### *Tendance des températures / extrêmes de chaleur*

La montée des températures d'été a des impacts sur le réseau ferré. Des températures élevées persistant pendant plusieurs jours peuvent avoir pour effet de déformer les rails, vu que la dilatation thermique de ces derniers est empêchée du fait qu'ils sont soudés sans interstice l'un à la suite de l'autre. La pression qui en résulte peut entraîner un déplacement latéral des rails. Lors de la pose des rails, des mesures sont prises pour réduire cette pression et accroître la résistance latérale de la voie.

Pendant l'été caniculaire de 2003, de telles déformations des rails ont été en gros 50% plus fréquentes qu'au cours d'un été moyen. Pour ne



Figure 6: Arbre tombé sur la ligne de contact à Wiggen. (Photo: CFF)

pas risquer un déraillement, les trains doivent réduire leur vitesse en cas de déformations des rails ou renoncer même à utiliser les tronçons concernés. Compte tenu du fait que les périodes de forte chaleur deviendront nettement plus probables jusqu'en 2050, les exploitants de chemins de fer devront se prémunir contre des déformations de rails plus fréquentes. Moyennant un supplément de dépense, le processus de construction peut être adapté de manière à permettre aux rails de supporter sans dommages des températures plus élevées. Des exigences plus sévères sont appliquées aujourd'hui déjà au Tessin. Les rails sont soumis, lors de leur pose, à une température plus élevée, afin de prévenir des déformations futures.

#### Augmentation relative aux tempêtes d'été?

Les orages de chaleur en été représentent aussi un risque potentiel pour les lignes de contact, étant donné que la foudre peut entraîner des perturbations de l'exploitation et des dommages aux installations. Mais comme aucun pronostic n'a encore pu être fait jusqu'ici au sujet des tempêtes d'été, il n'est pas possible pour l'heure d'estimer si ce risque se modifiera.

#### Evolution du montant des dommages

Selon une étude de l'Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), qui montre l'évolution du montant des dommages de 1972 à 2005, la somme des coûts des dommages dus aux crues, glissements de terrain et laves torrentielles a augmenté presque linéairement au cours des trente années passées (cf. fig. 7). Le rapport souligne que la hausse de la somme des coûts des dommages est nettement au-dessous d'une évolution proportionnelle à l'accroissement de la population, de la surface des zones d'habitation et de la densité des valeurs. L'ampleur des dommages dus aux phénomènes naturels est donc inférieure à ce que laisse attendre l'évolution des valeurs. Ceci tient surtout aux mesures de protection qui ont été prises. Au vu des changements attendus, il semble probable qu'une planification prévoyante et la mise en œuvre des mesures correspondantes pourra empêcher largement une augmentation exponentielle de la somme des dommages matériels.

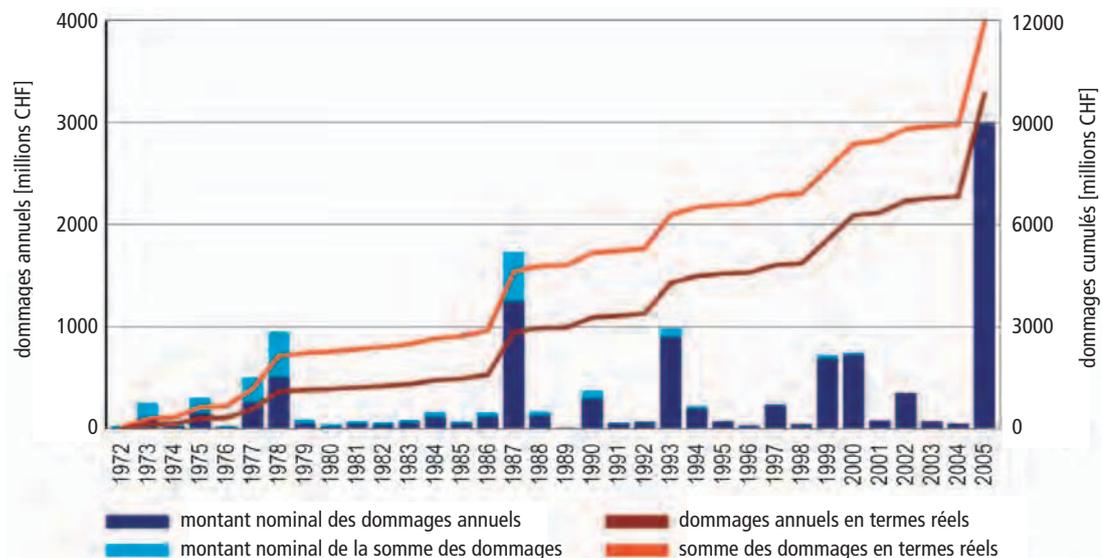


Figure 7: Somme des dommages dus aux crues, glissements de terrain et laves torrentielles de 1972 à 2005. (Source: Inst. Fédéral de recherche WSL, 2007)

## Réseau routier

**Comme le réseau ferroviaire, le réseau routier est aussi sous la menace avant tout des événements extrêmes. Des contre-mesures en réponse aux nouveaux dangers et des adaptations en matière de construction des routes permettront de stabiliser à peu près les atteintes et les risques affectant les transports routiers.**

Les changements climatiques auront sur le réseau routier des impacts similaires à ceux sur le réseau ferré. On peut s'attendre en principe à des conséquences de moindre ampleur pour les routes, car de par sa construction, le réseau routier est généralement moins sensible. D'autres facteurs, par exemple une nouvelle élévation de la limite de poids des camions ou un nombre nettement plus élevé de véhicules lourds, auraient très probablement des conséquences plus marquées que les changements climatiques attendus. Vu sa très forte densité, le réseau routier a en outre un avantage de flexibilité sur le réseau ferré: si un tronçon de route est menacé ou impraticable, il existe souvent des itinéraires de substitution.

Du point de vue des matériaux utilisés et de la construction, le réseau routier s'adaptera là où cela sera nécessaire aux nouvelles conditions, notamment en ce qui concerne la chaussée.

Les facteurs climatiques d'influence les plus importants en ce qui concerne les routes seront les crues et les instabilités de pentes. En outre, des avalanches, tempêtes d'hiver et chute de grêle pourront porter atteinte au trafic routier.

### Fortes précipitations / inondations

Les crues peuvent toucher des tronçons routiers aussi bien que des lignes de chemins de fer. Des masses d'eau exceptionnelles peuvent avoir pour effet de saper le soubassement de routes ou, dans les régions plus plates, des les inonder (cf. fig. 8), si des cours d'eau et des lacs débordent. Dans les régions de montagne, les fortes précipitations provoquent souvent des glissements de terrains et des laves torrentielles. D'autre part, des hivers pauvres en neige peuvent avoir des effets positifs sur le trafic routier: le risque d'accident est alors moins élevé et les routes demandent moins de travaux d'entretien.

### Instabilité des pentes

Le risque de laves torrentielles et d'éboulements existe autant dans les transports routiers que ferroviaires. Il menace avant tout les routes en altitude ou en des endroits exposés. Les éboulements ne tiennent pas forcément aux changements climatiques, mais peuvent avoir différentes causes. Entrent en ligne de compte comme facteurs initiaux: l'altération atmos-

phérique des roches, des quantités d'eau plus importantes jouant le rôle de lubrifiant, des effets de gel et dégel portant atteinte à la cohésion des roches, ou encore le dégel du pergélisol en raison de la hausse des températures (cf. Stabilité et sécurité des sillons ferroviaires). Une combinaison de différents facteurs est aussi possible. La sensibilité du système de transport à l'égard des perturbations est aujourd'hui déjà très grande en raison de l'important volume du trafic et de l'aspiration à une mobilité quasi illimitée.

### Avalanches

Tout comme le réseau ferré, les transports routiers peuvent aussi être perturbés par des avalanches ou le danger d'avalanches. Les changements climatiques feront éventuellement augmenter ce risque à haute altitude, où les quantités de précipitations plus importantes en hiver peuvent tomber sous forme de neige.

### Tempêtes d'hiver

Du fait de l'augmentation prévue des tempêtes d'hiver, il faudra s'attendre à ce que des arbres soient plus souvent déracinés. Si de tels arbres tombent sur la route, il en résulte un danger immédiat pour ses utilisateurs et il peut s'ensuivre des interruptions du trafic. Ce risque est néanmoins faible actuellement et ne devrait pas augmenter sensiblement à l'avenir.



Figure 8: La N8 entre Interlaken Est et Interlaken Ouest en août 2005. (Source: Muriel Kleist)

## 4. Gestion de l'eau urbaine

**Des étés plus chauds et plus secs d'une part, et l'évolution des changements des besoins en eau d'autre part, rendront nécessaires une optimisation de la gestion de ce précieux liquide pour en assurer l'approvisionnement. Le traitement des eaux usées devra être adapté aux nouvelles exigences découlant de températures plus hautes, de périodes sèches plus fréquentes et de précipitations plus intenses.**

### Approvisionnement en eau

Les besoins en eau de haute qualité (eau potable) augmentera avec le réchauffement climatique. Il faudra pour cela améliorer la gestion de l'eau, du fait notamment que pendant les mois d'été, davantage de personnes passeront leurs vacances en Suisse plutôt que dans le Sud où il fera plus chaud à l'avenir.

Les étés secs accroîtront fortement les besoins en eau pour arroser les jardins. De l'eau de moins bonne qualité peut être utilisée à cette fin. Mais les infrastructures nécessaires font défaut aujourd'hui. L'été caniculaire de 2003 donne des points de repère pour estimer l'ampleur des besoins à attendre. Etant donné qu'en Suisse les eaux souterraines sont rarement utilisées jusqu'à la limite de leur capacité et que les grands lacs représentent une réserve d'eau suffisante, il sera possible de couvrir des excédents de demande en interconnectant les infrastructures d'approvisionnement en eau.

Toutefois, il faudra compter avec des baisses locales et temporaires du niveau des eaux souterraines. L'enrichissement de la nappe phréatique par injection d'eau de surface préalablement purifiée deviendra plus fréquent. Il faudra éventuellement agrandir les zones de protection des eaux souterraines, ce qui entraînera des dépenses importantes, vu que ces zones de protection devront faire en partie l'objet d'expropriations.

L'approvisionnement en eau à partir de sources dans des régions karstiques rurales mal interconnectées (Jura, Préalpes) est critique si des sources ne disposant que d'une petite zone d'alimentation en surface tarissent lors de longues périodes sèches. Pour assurer dans ces cas aussi l'approvisionnement en eau, il faudra développer la mise en réseau des infrastructures, ce qui entraînera des dépenses.

Le réchauffement augmentera aussi les températures de l'eau. Ceci pourrait causer éventuellement des désagréments en Suisse, sans conduire pour autant à des situations critiques. La qualité de l'eau non traitée, dont 20% provient des lacs et 80% de nappes souterraines et de sources,

pourrait se détériorer dans certains cas. Des changements dans les populations d'algues et, partant, des teneurs de l'eau en oxygène nécessiteraient de nouveaux procédés de traitement. Le danger que les conduites du réseau de distribution soient contaminées par des germes augmente.

### Traitement des eaux usées Egouts

Une hausse des températures dans les égouts due à des températures extérieures plus élevées intensifie la corrosion du béton et accroît ainsi les besoins d'entretien. Ceci peut être évité par le choix de matériaux appropriés. Des problèmes d'odeurs peuvent être éventuellement plus fréquents.

Si le niveau de la nappe phréatique baisse pendant des périodes de chaleur, l'infiltration d'eau souterraine diminue, de même que l'exfiltration d'eau usée. Il s'ensuit une augmentation de la sédimentation dans les égouts et éventuellement des nuisances pour les eaux souterraines. Les phases sèches ont aussi une influence sur le traitement des eaux mixtes, c'est-à-dire d'eaux usées mélangées à l'eau de pluie, que la station d'épuration ne peut pas absorber parce qu'elle ne dispose pas d'assez de capacité. Si leur dilution dans des petits cours d'eau n'est plus assurée du fait d'un affaiblissement ou tarissement des débits, les exigences en matière de traitement des eaux mixtes pourraient augmenter. En outre, la force d'entraînement dans les égouts diminue si l'apport d'eau diminue, ce qui accroît le risque d'engorgement et nécessite des adaptations de l'exploitation des stations d'épuration.

Les précipitations intenses peuvent d'autre part provoquer des refoulements dans les égouts, et de ce fait des inondations de caves ou même de quartiers entiers. Ce problème pourrait se présenter plus fréquemment avec l'augmentation attendue des fortes précipitations et exige, dans des cas critiques, la pose de canalisations de plus grande taille et l'installation de dispositifs anti-retour.

### Épuration des eaux

Les changements climatiques n'affecteront guère l'exploitation des stations d'épuration. Certaines adaptations seront toutefois requises. La demande en oxygène notamment croît du fait que les processus biologiques s'accroissent quand la température augmente. Mais l'apport d'oxygène étant simultanément rendu plus difficile, il faudra compléter en conséquence l'équipement des installations.

Une élévation des températures des eaux, une baisse du niveau des eaux due à l'accroissement de la sécheresse et des besoins plus importants en eau d'irrigation auront pour conséquence d'accroître les exigences posées à l'épuration des eaux. De tels investissements pourraient être motivés aussi par de plus hautes exigences en matière de qualité d'eau pour les baignades.

### Raccordements aux maisons

Les problèmes en matière d'égouts et de distribution d'eau surviennent avant tout au niveau des raccordements aux maisons. A Zurich, 50% des ruptures de conduites du réseau de distribution d'eau se produisent à ce niveau. Si les eaux souterraines baissent en raison du réchauffement climatique, il s'ensuivra des tassements dont pourront résulter encore davantage de ruptures de conduites.

### Incertitudes / questions ouvertes

Les impacts des changements climatiques sur la gestion de l'eau urbaine ne peuvent être évalués qu'en partie. Pour juger de façon plus précise des points où il faut intervenir, des informations hydrologiques supplémentaires sont nécessaires, notamment sur l'évolution des niveaux des eaux souterraines, la fréquence d'épisodes de pluie courts mais intenses, les débits futurs, la fréquence des extrêmes et les variations annuelles.

## 5. Agglomérations urbaines

**La chaleur se fait sentir davantage dans les villes que dans la campagne environnante, du fait de la proportion élevée de surfaces bétonnées, du faible pourcentage d'espaces verts, des rejets thermiques des bâtiments, de l'industrie et des transports ainsi que de la mauvaise aération. Ce problème des villes comme îlots de chaleur s'accroîtra encore avec les changements climatiques.**

Le jour, la ville est la plupart du temps plus fraîche que la campagne environnante, mais la nuit, elle est nettement plus chaude. Différents facteurs contribuent à ce qu'on appelle l'effet d'îlot de chaleur et au fait que de façon générale, la chaleur se fait sentir davantage dans les villes. Les bâtiments et les surfaces bétonnées ou asphaltées absorbent plus fortement la chaleur qu'un terrain non construit. Rues et bâtiments accumulent l'apport de chaleur diurne, tandis que la rareté des espaces verts et des plantes a pour effet que le refroidissement dû à l'évaporation est faible comparé à ce qu'il est dans les zones rurales aux alentours. A ceci s'ajoute la chaleur rejetée par les bâtiments, l'industrie et les transports. Enfin, l'aération est moins bonne dans les villes que dans la campagne environnante, car les vents qui les traversent y sont ralentis.

L'augmentation des températures et les vagues de chaleur plus fréquentes accentuent le problème des villes comme îlots de chaleur. C'est ainsi que l'été caniculaire de 2003 a eu des impacts nettement plus graves en milieu urbain que dans les régions rurales.<sup>12</sup> Les températures ont atteint des

valeurs particulièrement élevées dans les villes dont la population a eu à déplorer une hausse des décès plus prononcée.<sup>13</sup>

Du point de vue des effets sanitaires, ce ne sont pas les maxima journaliers qui importent le plus, mais les températures nocturnes élevées. Il est d'autant plus essentiel de prendre des contre-mesures que l'on s'attend, du fait des changements climatiques, à une hausse des températures nocturnes plus forte que celle des températures diurnes. Comme les températures nocturnes sont en principe plus hautes déjà aujourd'hui, les impacts sanitaires négatifs des changements climatiques vont encore se renforcer. Le fait que la chaleur se fait sentir davantage dans les villes a été négligé jusqu'ici en Suisse dans les constructions urbaines. Pour que les citoyens n'aient pas à supporter des chaleurs encore plus fortes en conséquence des changements climatiques, cet aspect devra être pris en compte dans l'aménagement du territoire. La création d'espaces verts et d'ombrages le long des trottoirs et des zones piétonnières permet par exemple de réduire la chaleur.

## Bibliographie et notes

- 1 DP. Wyon. Indoor environmental effects on productivity. Indoor Air Quality Conference Baltimore, USA, 1996.
- 2 O. Seppänen, WJ. Fisk. A conceptual model to estimate the cost effectiveness of indoor environment improvements. Healthy Buildings Conference, Singapore, 2003.
- 3 B.W. Olesen. Indoor environment – Health-comfort and productivity. Climate 2005 Conference, Lausanne, Switzerland, 2005.
- 4 Th. Frank. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. Energy and Buildings, 37, 11, 2005, 1175–1185.
- 5 Th. Frank. (2006). Was wenn es wärmer wird – Die Schweiz im Klimawandel. 28. Wissenschaftsapéro, EMPA Akademie Dübendorf, Schweiz, 2006.
- 6 B. Wellig, B. Kegel B. et al. Verdoppelung der Jahresarbeitszahl von Klimakälteanlagen durch Ausnützung eines kleinen Temperaturhubs. Ernst Basler + Partner, Zürich, i.A. Forschungsprogramm UAW, Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- 7 M. Jakob, E. Jochem E., A. Honegger, A. Baumgartner, U. Menti, I. Plüss. Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- 8 Th. Egli. Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern, 115 S, 2006.
- 9 Th. Egli. Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern, 110 S., Vernehmlassungsversion ([www.vkf.ch](http://www.vkf.ch)), 2006.
- 10 H.H. Schiesser et al. Klimatologie der Stürme und Sturmsysteme anhand von Radar- und Schadendaten. Projektschlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, NFP 31, vdf Hochschulverlag an der ETH, Zürich, 1997.
- 11 H.H. Schiesser. Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrößen – eine Abschätzung. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern, 2006.
- 12 C.U. Brunner, U. Steinmann, M. Jakob. Adaptation of Commercial Buildings to Hotter Summer Climate in Europe. Proceedings of the Conference Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings (IEECB'06), 26 – 27 April 2006, Frankfurt, 2006.
- 13 O. Thommen Dombois & C. Braun-Fahrlander. Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG), 2004.

# La Suisse urbaine

## Autoren

Peter Baccini, présidence  
Fred Baumgartner

Thomas Lichtensteiger  
Mark Michaeli  
Esther Thalmann

Professeure émérite à l'EPF de Zurich  
Section Urbanisation et paysage  
Office fédéral du développement territorial  
Gestion des eaux dans les zones urbaines, EAWAG  
Institut für Städtebau, EPF de Zurich  
Rédaction, ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles



## 1. Introduction

### Situation

La Suisse a un caractère profondément urbain, c'est-à-dire que ville et campagne y sont étroitement associées par d'importants flux de personnes et de biens: ce réseau de nœuds et de flux constitue le système urbain. Le développement de ce système dépend de nombreux facteurs. Le climat ne représente qu'une dimension parmi les divers facteurs culturels, politiques, économiques, territoriaux et écologiques. Avec quelle intensité et de quelle manière les changements climatiques attendus exerceront leur impact sur le développement urbain dépend de la forme future de la Suisse comme système urbain. Trois scénarios possibles ont été choisis pour la présente étude; l'influence des changements climatiques y est décrite au moyen de six paramètres-clés:

1. Un scénario de référence, qui est le système existant aujourd'hui: CH<sub>aujourd'hui</sub>.
2. Un scénario CH2050<sub>plus</sub>, qui poursuit les adaptations déjà en cours.
3. Un scénario CH2050<sub>éco</sub>, qui table sur un changement de cap selon les critères du développement durable.

Les paramètres-clés utilisés sont

- 1) la population
- 2) la structure de l'habitat
- 3) les ouvrages de construction
- 4) les transports et communications
- 5) les ressources
- 6) les relations à l'intérieur de la Suisse et avec l'étranger.

### Tour d'horizon

L'évolution démographique sera probablement peu influencée par les changements climatiques. La transformation de la structure démographique a lieu indépendamment des variations du climat. La pression à l'immigration se renforcera peut-être si les conditions économiques se détériorent dans d'autres pays en raison des changements climatiques.

L'évolution de l'habitat est dans une large mesure indépendante de la mutation climatique, sauf dans les régions de montagne. Ces dernières sont contraintes de s'adapter du fait qu'elles sont sous la menace des dangers naturels et dépendantes

du tourisme d'hiver. Dans une moindre mesure, l'évolution de l'habitat est influencée aussi dans les zones exposées aux crues.

L'influence des changements climatiques sur l'évolution en matière de construction est considérée comme peu importante. D'ici le milieu du 21e siècle, on s'attend à une poursuite substantielle de la croissance dans ce secteur.

Dans le secteur des transports et des communications, il faut s'attendre à une évolution différente selon le scénario. Dans le scénario CH2050<sub>plus</sub>, les transports continuent de croître, alors que leur croissance cesse dans le scénario CH2050<sub>éco</sub>. Du fait des modifications de la structure de l'habitat dans le sens d'un renforcement des centres régionaux, CH2050<sub>éco</sub> est moins sensible aux changements climatiques que CH2050<sub>plus</sub>.

En matière de ressources, les changements climatiques ont des impacts avant tout sur le degré d'auto-provisionnement dans les secteurs de la production alimentaire et de l'énergie. Dans le scénario CH2050<sub>plus</sub>, le degré d'auto-provisionnement baisse dans le secteur alimentaire et augmente légèrement dans celui de l'énergie. Dans le scénario CH2050<sub>éco</sub>, on s'attend à une augmentation du degré d'auto-provisionnement très forte pour l'énergie et faible pour les denrées alimentaires.

L'évolution des relations et dépendances dans l'environnement global est déterminante pour le fonctionnement de la Suisse comme système urbain avant tout dans l'optique de l'approvisionnement en denrées alimentaires et en énergie. Suivant les impacts des changements climatiques dans d'autres régions et les transformations géopolitiques, les prix pourraient fortement augmenter dans ces deux secteurs.

Dans l'ensemble, la Suisse comme système urbain n'est pas menacée dans sa totalité par les changements climatiques. Les effets des changements climatiques peuvent renforcer des perturbations locales et saisonnières dans d'autres régions du monde. Comparés l'un à l'autre, le scénario CH2050<sub>éco</sub> se montre plus robuste que le scénario CH2050<sub>plus</sub>.

## 2. La Suisse comme système urbain

**La Suisse est un espace à caractère urbain, subissant sous l'influence de facteurs culturels, politiques, économiques, territoriaux et écologiques. Les changements climatiques ne représentent donc qu'une parmi de nombreuses influences.**

La Suisse, qui compte en moyenne 180 habitants au kilomètre carré, est un pays densément peuplé. La majorité de sa population vit dans un espace à caractère urbain, c'est-à-dire dans un réseau où ville et campagne sont reliées par des flux importants de personnes, biens et informations. Ce réseau, dont les nœuds (villes) se distinguent par une densité élevée d'êtres humains et de biens, est ce qu'on appelle un système urbain. Ce système a permis à la Suisse d'atteindre un niveau élevé en matière d'approvisionnement de base et un haut degré de sécurité, lui permettant de faire face à de fortes variations des conditions environnementales (température, lumière, disponibilité des ressources) et aux dangers naturels.

A l'intérieur même de la Suisse, les modes de vie urbains présentent des caractéristiques très différentes selon les régions. Cela tient au fait que chaque évolution urbaine est caractérisée par le jeu complexe des interactions et interférences de nombreux facteurs: des facteurs culturels, politiques, économiques, territoriaux et écologiques déterminent l'évolution de l'habitat. Il peut s'agir de sollicitations exogènes, donc venant de l'extérieur (p.ex. la politique des transports de l'Union européenne, le développement de la technologie

des communications), ou endogènes, c'est-à-dire à l'intérieur du système urbain (p.ex. des décisions relatives au site d'une entreprise, l'évolution du produit intérieur brut).

Les changements climatiques globaux ne représentent donc qu'un facteur parmi beaucoup d'autres qui influent sur le système urbain. L'ampleur de cette influence dépend des caractéristiques régionales et de la dynamique de développement du système considéré. Il n'est pas possible aujourd'hui de faire de prévisions fiables sur ces changements jusqu'en 2050. Il existe certes des directives normatives de l'Etat (constitution, lois, ordonnances) et des modèles proposés par des groupes d'intérêts, stipulant ce à quoi un pays devrait ressembler dans cinquante ans. L'évaluation qui suit ne repose toutefois pas sur des idées directrices, mais sur des scénarios. Partant des scénarios climatiques pour 2050, indiquant les changements climatiques auxquels il faut s'attendre et leur marge d'incertitude, trois scénarios possibles du développement urbain de la Suisse sont considérés ici (scénario de référence CH<sub>aujourd'hui</sub>, CH2050<sub>plus</sub>, CH2050<sub>éco</sub>, cf. tableau 1) et examinés par rapport aux questions suivantes.

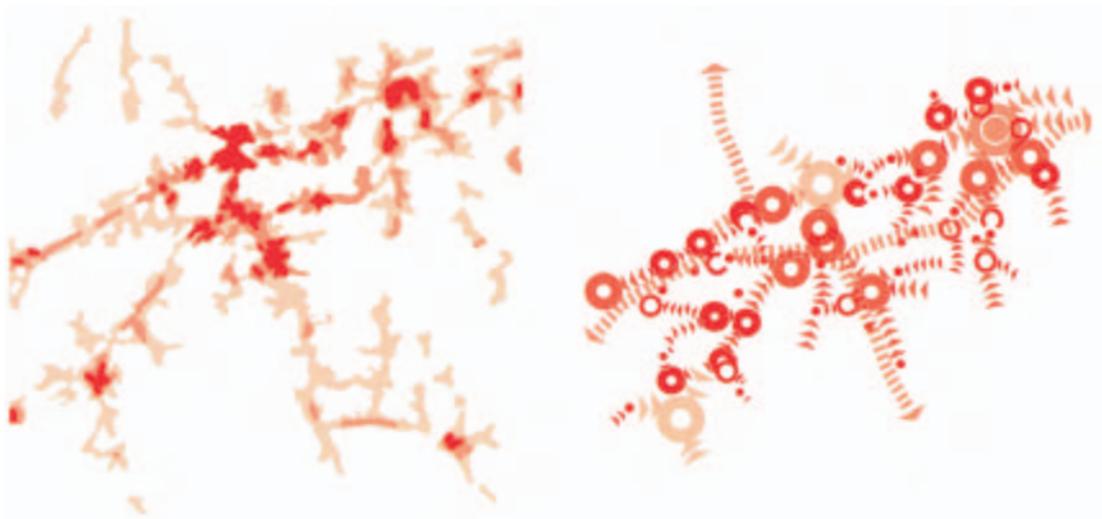


Figure 1: Interprétation graphique de l'architecture du territoire selon le modèle de la ville-réseau:

- les structures d'habitat en réseau (nœuds et connexions) dans l'exemple du Plateau. (à gauche)
- les flux (personnes, biens et informations) à l'intérieur d'une structure d'habitat en réseau dans l'exemple du Plateau. (à droite)

(Source: Oswald et Baccini 2003)<sup>1</sup>

A quels égards le système urbain est-il en totalité ou en partie

- a) robuste, les changements climatiques étant donc vraisemblablement sans effet?
- b) perturbé, des atteintes étant donc possibles, ne menaçant toutefois guère le fonctionnement du système dans son ensemble?
- c) mis en danger, les changements climatiques menaçant donc des parties indispensables au fonctionnement de l'ensemble?

Les autres thèmes du projet CH2050 sont compris comme ayant des incidences dans le système urbain: les écosystèmes terrestres, l'agriculture, l'économie des eaux, l'économie énergétique, les constructions et infrastructures, le tourisme (voir les chapitres y relatifs).

Les réponses suivantes aux questions posées plus haut sont en majorité qualitatives. Des données quantitatives sont difficiles à fournir, car il n'existe pas, pour les systèmes urbains, de résultats fiables de modélisations. A la différence des scénarios climatiques, calculés à l'aide de modèles physiques, les trois scénarios de l'évolution urbaine s'appuient sur six paramètres-clés choisies à cet effet: la population, les structures d'habitat, les ouvrages de construction, les transports et communications, les ressources ainsi que les relations à l'intérieur de la Suisse et avec l'étranger. L'influence des changements climatiques dans les trois scénarios de la Suisse urbaine en 2050 est évaluée à l'aide de ces paramètres-clés.

### 3. Scénarios et paramètres-clés

L'influence des changements climatiques sur la Suisse comme système urbain est illustrée à l'aide de trois scénarios. L'état actuel du système sert de scénario de référence. Le scénario 2 décrit la pour-

suite d'un développement analogue à aujourd'hui, tandis que le scénario 3 est un changement de cap vers le développement durable (tableau 1). Six paramètres-clés sont utilisés à cet effet (tableau 2).

Tableau 1: Scénarios possibles du développement urbain en Suisse jusqu'en 2050.

Scénarios	CH <sub>aujourd'hui</sub> <sup>1)</sup>	CH2050 <sub>plus</sub>	CH2050 <sub>éco</sub>
Brève description	Etat de référence, pour évaluer les impacts possibles sur le système existant aujourd'hui	Poursuite du développement des dernières décennies en incluant les adaptations déjà en cours	Changement de cap selon les critères du développement durable <sup>2)</sup>

1) Se réfère à 2005, pour autant que des chiffres soient disponibles

2) En matière d'énergie, ce scénario vise la société à 2000 Watt, c'est-à-dire la diminution de la consommation d'énergie à un tiers de la valeur actuelle ainsi qu'une large substitution des agents énergétiques fossiles par des énergies renouvelables.

Tableau 2: Paramètres-clés servant à décrire le système urbain.

	Paramètre-clé	Caractéristiques
1	Population	Nombre d'habitants, structure d'âges, rapport personnes actives sur ensemble de la population
2	Structures de l'habitat	Densité et répartition de la population par régions
3	Ouvrages de construction	Etat et développement des ouvrages de construction et de la demande en énergie
4	Transports et communications	Evolution des transports voyageurs et marchandises et du secteur des communications
5	Ressources	Degré d'auto-provisionnement pour des ressources de base telles que l'eau, l'énergie, les denrées alimentaires et les matériaux de construction
6	Relations et interactions	Relations à l'intérieur du pays: entre Plateau et régions de montagne; relations internationales: dépendances de l'étranger

Des changements possibles des institutions politiques, affectant p.ex. le nombre et l'organisation d'unités d'administration (communes, cantons) et l'adhésion en tant que membre d'organismes internationaux (p.ex. l'Union européenne) ne sont pas pris en considération. L'idée est que de tels changements sont possibles dans les deux

scénarios d'avenir (CH2050<sub>plus</sub> et CH2050<sub>éco</sub>). Ne sont pas considérés non plus les catastrophes économiques et géologiques et les conflits armés. Pour des informations de base sur les scénarios choisis, voir Baccini et Bader (1996)<sup>2</sup>, Baccini et Imboden (2001)<sup>3</sup>, Baccini et al. (2002)<sup>4</sup> et Leibundgut (2006)<sup>5</sup>.

## 4. Evolution démographique

**La croissance moyenne de la population n'entraîne pas de nouveaux défis d'ordre quantitatif. Des aspects déterminants sont en revanche le vieillissement et la diminution du nombre des personnes actives. Ceci modifie les attentes en termes d'affectation du territoire.**

Tableau 3: Paramètres caractéristiques de l'évolution de la population<sup>6</sup>

Paramètre caractéristique	Scénarios		
	CH <sub>aujourd'hui</sub>	CH2050 <sub>plus</sub>	CH2050 <sub>éco</sub>
Nombre d'habitants (millions)	7.4	8.2 <sup>1)</sup>	8.2 <sup>1)</sup>
Rapport de dépendance des personnes âgées <sup>2)</sup>	25	51	51
Pourcentage total de la population active <sup>3)</sup>	56	51	51

1) Scénario moyen (entre 9,7 et 6,5 millions)

2) Rapport de dépendance des personnes âgées: nombre de personnes de 65 ans et plus pour cent personnes de 20 à 64 ans

3) Pourcentage total de la population active: nombre de personnes actives pour cent habitants entre 15 et 99 ans

La forte augmentation des rapports de dépendance des personnes âgées de 25% à 50% (voir tableau 3) traduit le déplacement de la structure des âges, qui bouleverse aussi les conditions cadres du système d'assurances sociales (AVS, prévoyance professionnelle et privée, système de santé). Les „contrats de générations“ créés au 20e siècle devront être très probablement fortement révisés. Le vieillissement croissant de la population pourrait avoir aussi des impacts sur la répartition et l'aménagement actuels de l'habitat et du monde du travail ainsi que sur la mobilité; en d'autres termes, l'édifice suisse actuel (cf. paragraphe 6) devra également s'adapter à de nouvelles conditions et exigences. Les conséquences négatives des changements climatiques mentionnées dans le chapitre sur la santé auront vraisemblablement peu d'influence sur la répartition de la population. Les changements climatiques ne devraient pas avoir non plus un grand impact sur la structure démogra-

phique. Toutefois, on ne peut pas exclure une augmentation de la pression de l'immigration si les conditions cadres économiques se détérioraient fortement et durablement dans d'autres régions du globe en raison des changements climatiques.

### Conclusion

Un taux de croissance moyen des habitants de 0,3% par an, parallèlement à une augmentation moyenne de la population totale d'environ 14%, ne place pas le système urbain suisse quantitativement parlant devant de nouveaux défis. Des facteurs essentiels sont en revanche le déplacement du rapport de dépendance des personnes âgées et celui du pourcentage total de la population active. Ces changements qualitativement substantiels des caractéristiques démographiques par rapport à aujourd'hui sont déterminants en ce qui concerne les futures attentes en termes d'affectation du territoire.

## 5. Développement de l'habitat

**Une grande partie de la population suisse vit aujourd'hui dans les villes et les agglomérations. Un facteur important pour le développement futur des structures de l'habitat est le besoin toujours croissant de surface d'habitat.**

### CHaujourd'hui

La structure de l'habitat en Suisse est influencée essentiellement par la topographie. A l'origine, les zones d'habitation se sont formées le long des cours d'eau ou des routes commerciales dans les vallées, sur le Plateau et le plateau du Jura. Elles constituèrent les points de départ d'un peuplement progressif dont les constructions et infrastructures occupent maintenant de vastes surfaces du territoire. Cette urbanisation n'a toutefois pas progressé partout de la même manière. Divers facteurs, allant de l'industrialisation aux moyens de communication modernes, en passant par la pénétration du réseau ferroviaire, la motorisation individuelle et le développement du trafic aérien, ont joué un rôle dans ce développement inégal. A peu d'exceptions près, les poussées de l'urbanisation sont liées à une transformation du style de vie, combinée souvent à des changements en matière de mobilité et de communication.

Après la Seconde guerre mondiale notamment, l'essor économique a conduit à une croissance exponentielle de l'habitat entre les centres urbains du 19e siècle. La cause de cette croissance ne tenait pas en premier lieu à la démographie, mais à une hausse de la demande de la surface d'habitation par personne et à l'augmentation de la surface de transport par habitant. Ce processus n'est pas encore terminé en ce début du 21e

siècle. En une trentaine d'années (1950–1980), l'effectif des véhicules à moteur pour le transport de personnes a décuplé. Suite à la mobilité individuelle élevée, le style de vie a changé.

Il en résulte une structure de l'habitat dénommée ville-réseau, qui intègre des surfaces utilisées par l'agriculture, l'économie forestière et l'économie des eaux (figure 2). Sur le Plateau, la part effectivement occupée par l'habitat se situe entre 10 et 15% de la surface totale. L'agriculture en emploie environ la moitié et les forêts un tiers. Nettement plus de 75% de la population suisse vit et travaille dans les villes et les agglomérations.<sup>7</sup> Ceci montre que l'accessibilité, la connexion aux moyens de transport et la proximité des offres urbaines sont des critères particulièrement importants dans le choix d'un lieu d'habitation et de travail.<sup>8</sup> L'évolution des prix de l'immobilier dans les grandes agglomérations de Zurich ou de la région lémanique reflète ces préférences. Toujours plus de surfaces sont aussi construites et habitées qui n'étaient guère des sites favorisés jusque-là. Ce constat vaut pour toute la Suisse, mais est particulièrement manifeste dans les zones d'habitation de la région des Préalpes et des Alpes.

Certaines régions touristiques des Alpes ont connu ces dernières décennies un développement urbain en très forte accélération, lié principalement à l'extension du tourisme d'hiver. A l'époque, on



Figure 2: Portion du territoire, comprenant Kloten, Wallisellen, Opfikon et Hard (2004): la structure en réseau entre les communes est bien reconnaissable. (Source: Forces aériennes suisses)



Figure 3: Saint-Moritz sur la rive du Lej da S. Murezzan (vue du sud-est). A l'arrière-plan, le Piz Nair, le Sass Runzöl et Las Trais Fluors. Reconstitution photographique de l'état des lieux en 1899 (en haut) et situation en 1996 (en bas).

(Source: fondation documenta Natura, Berne)

partait de l'idée d'un climat constant, garantissant de bonnes conditions d'enneigement (figure 3).

### CH2050<sub>plus</sub>

Si l'on associe l'évolution de la population selon le tableau 1 à la surface urbanisée par habitant (de 400 m<sup>2</sup> en gros par habitant aujourd'hui à quelque 470 m<sup>2</sup> par habitant en 2050, taux de croissance jusqu'ici: env. 1,3 m<sup>2</sup> par habitant et année, voir figure 4), il faut s'attendre à une augmentation totale de la surface urbanisée (y compris la demande proportionnelle en surface pour les infrastructures) d'environ 30–40%. Cette croissance est certainement plus forte dans ce scénario que l'éventuelle diminution, en raison du plus faible pourcentage de la population active, de la surface requise pour les activités de travail. La définition actuelle des zones à bâtir couvre certes nominale-ment le besoin accru de surface urbanisée; mais régionalement, elle ne le satisfait pas là où il y a demande et où cela correspond aux objectifs de planification. Du fait d'incitations manquantes ou erronées, le scénario CH2050<sub>plus</sub> n'engage pas

assez à construire en densifiant les surfaces déjà urbanisées. La structure d'habitat du scénario de référence CH<sub>aujourd'hui</sub> est ainsi encore renforcée, en d'autres termes des nœuds et connexions existants s'élargissent, leur surface augmentant d'environ 30%. Sur le Plateau, la part de surface d'habitat croîtrait en gros de 15–20% aux dépens des zones agricoles les plus productives, dont la superficie diminuerait de quelque 10%.

Cette évolution se fera différemment selon les régions, du fait des avantages d'implantation économiques des grandes agglomérations d'une part et de l'équipement en infrastructures et du parc immobilier à disposition d'autre part. Les concentrations urbaines du Plateau, la région bâloise transfrontalière („Dreiländereck“), la région lémanique et le Tessin fortement marqué par le développement de l'Italie du Nord feront particulièrement l'objet d'une demande croissante en surface d'habitat. D'autre part, il est vraisemblable que tant en Suisse que dans le reste de l'Europe, le souhait de fraîcheur en été (cf. chapitre sur le tourisme) fera augmenter la demande en résidences secondaires en montagne.

## Surface urbanisée par habitant

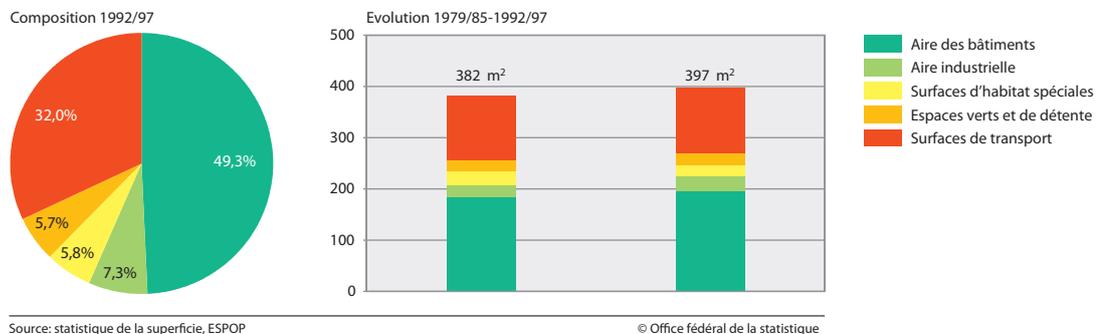


Figure 4: La statistique de la superficie subdivisée les surfaces d'habitat selon cinq types d'utilisation: aires des bâtiments, aires industrielles, surfaces de transport, surfaces d'habitat spéciales et espaces verts et de détente. Avec une part de presque 50%, l'aire des bâtiments domine parmi les surfaces d'habitat. (Source: Arealstatistik Schweiz, Zahlen – Fakten – Analysen, Office fédéral de la statistique OFS, 2005)

## CH2050<sub>éco</sub>

Une structure d'habitat urbaine qui s'oriente sur les critères du développement durable a des possibilités plus variées de s'organiser que la structure d'habitat actuelle. Selon les objectifs qualitatifs du modèle de la ville-réseau,<sup>1</sup> la structure existante est à modifier ou adapter comme suit: le mode d'action de l'instrumentarium en matière d'aménagement du territoire (plans sectoriels de la Confédération, plans directeurs des cantons, plans d'affectation des communes) doit être axé encore plus fortement vers les buts de l'aménagement global du territoire (Projet de territoire suisse) et le principe d'une utilisation économe du sol et d'un développement urbain ordonné.

- Le renforcement de l'échelon régional doit entraîner une amélioration des possibilités de satisfaire les besoins matériels et immatériels. Cela doit permettre de maintenir, voire d'accroître, la qualité de vie, tout en diminuant le volume du trafic.
- Au niveau national, il faut mettre fin à la tendance des grandes agglomérations à s'étendre toujours plus. Des centres régionaux forts, de caractères variés, conduisent à plus de diversité et de ce fait à un système urbain suisse plus robuste.
- Si l'agriculture, l'économie forestière et la gestion de l'eau satisfont aux critères du développement durable, il faudra compter avec des rendements en partie plus faibles qu'aujourd'hui (environ 10%), mais qui pourront être compensés par d'autres mesures (cf. paragraphes 6, 7 et 8).

Ces adaptations du développement urbain conduiraient à des améliorations structurelles considérables sur le plan régional et communal.<sup>1</sup> A l'échelon national, la structure de base de l'habitat n'en serait pas sensiblement modifiée pour autant.

## Conclusion

Dans l'ensemble, les impacts des changements climatiques sur le développement urbain jusqu'en 2050 sont estimés comme étant plutôt faibles. C'est l'arc alpin qui, dépendant fortement du tourisme, présente la vulnérabilité la plus forte (cf. le chapitre sur le tourisme), de même que des constructions et installations du réseau ferroviaire et routier, particulièrement exposées aux phénomènes naturels. Les agglomérations situées à proximité immédiate de cours d'eau subiraient des atteintes limitées. Toutefois, on peut s'attendre à des effets positifs des adaptations effectuées en permanence sur la base de l'augmentation de potentiels de danger, laquelle est constatée déjà aujourd'hui (p.ex. restrictions en matière de construction sur la base des cartes de dangers, élargissement du lit de cours d'eau, déplacements locaux du développement urbain). Dans son ensemble, le scénario CH2050<sub>éco</sub> présente un moindre potentiel de conflit entre le besoin de surface pour le développement urbain et d'autres intérêts d'usagers, car il vise la densification des nœuds et connexions existants au lieu d'une extension en surface.

## 6. Evolution des ouvrages de construction

**Si les changements climatiques sont pris en compte avec systématique et prévoyance, l'influence des changements climatiques sur les ouvrages de construction suisses sera peu importante.**

Le tableau 4 résume les paramètres-clés des ouvrages de construction en Suisse.<sup>9</sup>

Tableau 4: Stocks et flux d'énergie du système urbain suisse.

	CH <sub>aujourd'hui</sub> <sup>1)</sup>	CH2050 <sub>plus</sub>	CH2050 <sub>éco</sub>
Stocks en tonnes par habitant <sup>2)</sup>	400	500	450
Besoin en énergie en Watt par habitant <sup>3)</sup>	6000	6000	2000

1) année de référence 2000

2) englobe les secteurs bâtiments et travaux publics

3) inclut l'énergie introduite avec les biens d'importation („énergie grise“).

L'inventaire actuel des ouvrages de construction correspond à une valeur de remplacement d'environ un demi-million de CHF par habitant. Dans le scénario CH2050<sub>plus</sub>, cet inventaire augmente en gros d'un quart. Du point de vue économique, cela signifie que dans deux générations, il faudra davantage de moyens par habitant pour assurer le maintien de la valeur de ces biens immobiliers. La croissance est moindre dans le scénario CH2050<sub>éco</sub>, parce que l'infrastructure est optimisée (cf. paragraphe 5) et que le transport individuel est déplacé vers le rail. Il en résulte une moindre croissance des travaux publics. Au niveau des besoins en énergie, les mesures déjà mises en route (p.ex. normes de construction, taxes sur les agents énergétiques fossiles, promotion des énergies durables) permettront, dans le scénario CH2050<sub>plus</sub>, de compenser à peu près l'augmentation de la demande par une hausse de l'efficacité. Le scénario CH2050<sub>éco</sub> mise sur une mutation rigoureuse des techniques énergétiques, assortie d'une adaptation systématique de celles du bâtiment et des transports. Ce scénario vise à réduire la part des agents énergétiques fossiles dans les besoins en énergie primaire de quelque 5500 Watt aujourd'hui (agents énergétiques nucléaires compris) à environ 500 Watt par habitant<sup>10</sup>. L'adaptation du bilan énergétique, qui tient pour 80% aux activités domestiques et de travail ainsi qu'aux transports et communications (cf. paragraphe 7), est le processus-clé dans ce scénario.<sup>3</sup>

### Conclusion

Dans les deux scénarios, les changements climatiques, pour autant qu'ils soient pris en considération lors des rénovations et des nouvelles constructions (cf. le chapitre sur les constructions et infrastructures, paragraphe 2), ont une influence secondaire sur les ouvrages de construction en Suisse. L'évolution des ouvrages de construction dans les pays hautement développés dépend de la conjoncture; en d'autres termes, plus la croissance économique est forte dans les principales branches à valeur ajoutée, plus forte est aussi l'activité dans le bâtiment. Les conditions cadres peuvent cependant être modifiées par des directives et incitations de telle manière que les impacts de nouveaux facteurs environnementaux perturbateurs (p.ex. changements climatiques, disponibilité des ressources, engorgement du trafic, nuisances sonores du trafic) soient décelés à temps et, lorsque c'est judicieux, atténués par des actions préventives.

## 7. Développement en matière de transports et communications

**En cas d'événements extrêmes plus fréquents, les interruptions de voies de communication et de lignes électriques à haute tension peuvent aussi survenir plus souvent. Un développement écologique réduit cette vulnérabilité par une densification des nœuds et diminution de la consommation d'énergie.**

### CH<sub>aujourd'hui</sub>

Pendant les décennies passées, le transport de personnes, marchandises et informations, mesuré en distances parcourues par habitant et année, n'a cessé d'augmenter. La plus grande part est détenue par les transports (70–80%), tandis que les flux d'information ne font que quelques centièmes. Les transports constituent un important facteur du point de vue pollution de l'air et nuisances sonores. Les objectifs de réduction n'ont été atteints jusqu'ici que partiellement, malgré des mesures techniques (p.ex. le catalyseur pour les moteurs à combustion) et de construction (p.ex. les parois antibruit).

### CH2050<sub>plus</sub>

Le nombre croissant de véhicules par habitant et de kilomètres parcourus par véhicule et année renforcent les impacts négatifs sur l'environnement (air, bruit) et l'économie (coût de l'engorgement du trafic). Les perturbations du flux des transports peuvent certes être éliminées localement avec un certain retard par des projets d'élargissement des routes, mais se déplacent alors vers d'autres goulets d'étranglement à l'intérieur de la ville-réseau suisse. La croissance de la superficie des métropoles et l'augmentation des transports individuels se renforcent mutuellement. Le développement des transports publics peut certes réduire la croissance des transports motorisés individuels, mais pas les problèmes associés aujourd'hui déjà à ces derniers.

### CH2050<sub>éco</sub>

Contrairement au scénario CH2050<sub>plus</sub>, la tendance à la croissance du trafic finit par cesser dans le scénario CH2050<sub>éco</sub>.<sup>11</sup> L'évolution de l'habitat vers l'intérieur et le renforcement des centres régionaux ont pour conséquence de rendre les distances parcourues plus courtes, vu qu'elles sont adaptées aux activités qui les motivent (p.ex. travail, achats, loisirs). Mais ces changements ne peuvent être réalisés qu'en transformant la ville-réseau, donc l'ensemble de la structure d'habitat (cf. le modèle de ville-réseau d'Oswald et Baccini<sup>1</sup>), et non pas par des mesures techniques relevant uniquement des transports.

### Conclusion

Les changements climatiques n'auront pas d'effets substantiels sur le secteur des transports et communications, car les problèmes de ces derniers sont peu dépendants d'influences extérieures. La disponibilité en énergie fait exception (cf. paragraphes 8 et 9), de même que l'interruption de voies de communication à la suite d'événements météorologiques extrêmes. En raison de ses nœuds plus denses, CH2050<sub>éco</sub> est le scénario qui assure la vulnérabilité la plus faible en matière de coupures des voies de communication.

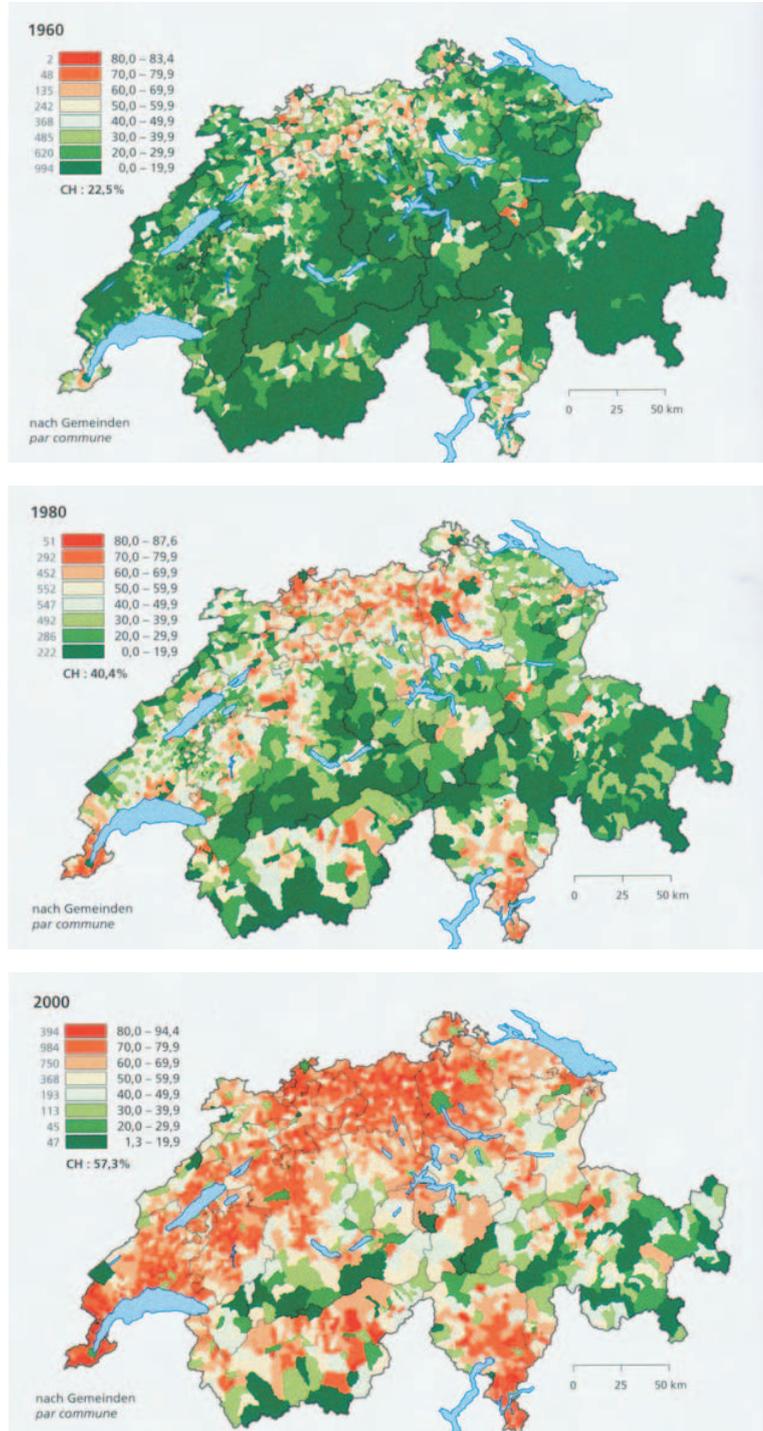


Figure 5: Evolution des mouvements des pendulaires entre 1960 et 2000. Les cartes représentent pour 1960, 1980 et 2000 les proportions de personnes actives qui travaillent en dehors de leur commune de domicile (en %).

Les surfaces vertes correspondent à une proportion de moins de 40% de personnes actives travaillant en dehors de leur commune de domicile, les surfaces rouges et orange à une proportion de 60% ou davantage.

Proportion de pendulaires:  
 1960 CH: 22.5%  
 1980 CH: 40.4%  
 2000 CH: 57.3%

(Source: Schuler, Martin et al. Atlas des räumlichen Wandels der Schweiz, Office fédéral de la statistique, Neuchâtel, et éditions Neue Zürcher Zeitung, 2006, p. 268)

## 8. Evolution de la disponibilité des ressources

**Le système urbain suisse est menacé surtout par un approvisionnement énergétique ne satisfaisant pas aux critères du développement durable. En tant que phénomène global, les changements climatiques renforcent cette menace, vu que d'autres régions sont aussi touchées.**

Tableau 5: Disponibilité en ressources du système urbain suisse représentée au moyen d'un degré d'auto-provisionnement théorique<sup>2</sup> (SVG).

Le degré d'approvisionnement théorique est le rapport (en unités de masse ou d'énergie) de la quantité totale produite en Suisse (en %) à la consommation totale, en d'autres termes les importations et exportations sont comptées comme parts interchangeables dans le bilan global. Ceci est une forte simplification du point de vue des différences de qualité. C'est pourquoi les chiffres sont à prendre seulement comme ordres de grandeurs.

Ressources	Scénarios		
	CH <sub>aujourd'hui</sub>	CH2050 <sub>plus</sub>	CH2050 <sub>éco</sub>
Eau	100	100 (perturbations saisonnières et régionales)	100 (perturbations saisonnières et régionales)
Biomasse	60 (denrées alimentaires) 100 (bois)	40 (denrées alimentaires) 100 (bois)	80 (denrées alimentaires) 100 (bois)
Matériaux de construction	90	70	100
Agents énergétiques	10	20	90

### CH<sub>aujourd'hui</sub>

Dans le scénario CH<sub>aujourd'hui</sub>, le système urbain suisse dispose déjà d'une infrastructure qui le rend autonome pour son approvisionnement en eau. Le degré d'auto-provisionnement théorique (DAA) est élevé aussi pour les produits pondéreux nécessaires aux constructions (gravier, sable, argiles), qui représentent près de 90% de la masse totale des ouvrages. La législation en matière d'économie forestière exige une exploitation durable des forêts. Celles-ci, pour des raisons économiques, ne sont exploitées aujourd'hui qu'à raison de 70% environ. Des événements extrêmes qui, tels que les tempêtes, causent des dommages aux forêts provoquent des perturbations locales et temporairement des excédents de bois. Dans le secteur alimentaire, le DAA se monte à 60% et tient en premier lieu au menu de la population: plus la consommation de viande monte, plus faible est le DAA. L'énergie détient le DAA le plus bas, du fait qu'au 20<sup>e</sup> siècle, le système urbain s'est tourné systématiquement vers les ressources fossiles disponibles sur le marché global. Le DAA est ici actuellement d'environ 10%, dont la partie principale revient à l'exploitation de la force hydraulique pour la production de courant.

### CH2050<sub>plus</sub>

Le tableau est en général le même pour le scénario CH2050<sub>plus</sub>. Selon le chapitre sur l'économie des eaux (paragraphe 4), les changements climatiques peuvent conduire à des pénuries locales et saisonnières. Dans le secteur alimentaire, le DAA diminue, parce que la politique agricole se poursuivra dans un sens qui contraindra les producteurs à s'imposer sur un marché non protégé grâce à des produits de niche. Les améliorations déjà en cours de l'efficacité en matière de consommation d'énergie et les investissements dans la force hydraulique, le solaire, la géothermie et la force éolienne permettent d'atteindre un DAA de 20% dans le secteur énergétique. Cette évolution est influencée par les changements climatiques, en ce sens qu'il faut compter avec une réduction de l'offre en eau (voir le chapitre sur l'économie des eaux, paragraphe 4).

### CH2050<sub>éco</sub>

Dans le scénario CH2050<sub>éco</sub>, le DAA augmente pour les quatre ressources considérées. Dans le cas des denrées alimentaires, cela présuppose que l'approvisionnement régional s'améliore dans l'ensemble (cf. chapitre sur l'agriculture, paragraphe 2) et que le comportement alimentaire évolue

dans le sens d'une moindre consommation de viande par habitant. Dans le cas des matériaux de construction, le DAA augmente du fait d'une large utilisation de la nouvelle technique de l'„urban mining“,<sup>9</sup> c'est-à-dire de la récupération de matières premières dans les ouvrages existants. Le changement le plus grand concerne l'énergie (cf. aussi paragraphe 7), où le degré d'auto-provisionnement augmente massivement. Dans le secteur de la force hydraulique, les changements climatiques entravent cette évolution par la diminution des flux mentionnée plus haut. Elle autorise d'autre part un approvisionnement énergétique produisant aussi peu de CO<sub>2</sub> que possible. Dans ce scénario, la disponibilité des ressources découle dans l'ensemble aussi en premier lieu d'une évolution orientée au niveau politique et socioéconomique.

### Conclusion

Les degrés d'auto-provisionnement pour les denrées alimentaires et l'énergie se modifient dans les deux scénarios. Contrairement au scénario CH2050<sub>plus</sub>, le scénario CH2050<sub>éco</sub> permet de compter sur une légère augmentation du degré d'auto-provisionnement du fait d'un meilleur approvisionnement à l'échelon régional et de modifications du comportement alimentaire. Dans le secteur énergétique, l'augmentation du degré d'auto-provisionnement est sensiblement plus forte dans le scénario CH2050<sub>éco</sub>. Les changements climatiques influent sur cette évolution au travers des modifications affectant la disponibilité en eau, mais aussi indirectement en agissant comme moteur d'une décarbonisation du système d'approvisionnement énergétique.

## 9. Développement des relations et dépendances entre le système urbain suisse et son contexte global

**Les changements climatiques constituent un phénomène global. De ce fait, le système urbain suisse est influencé non seulement directement, mais aussi indirectement au travers des impacts sur d'autres régions du monde.**

Un facteur déterminant dans l'optique du fonctionnement futur du système urbain suisse est la part de revenu que les ménages devront dépenser pour les denrées alimentaires et l'énergie. Si cette part représente à l'avenir aussi moins de 20%, la disponibilité des ressources correspondra vraisemblablement aux chiffres du tableau 5. Mais il existe des scénarios des changements climatiques pour d'autres régions (subtropicales, arides), dans lesquels la production de biens agricoles recule massivement en raison de changements importants de l'économie des eaux. De ce fait, le prix des denrées alimentaires croît exponentiellement et provoque des répercussions sensibles sur le budget des ménages aussi chez nous. La disponibilité en énergie provenant de gisements fossiles ne subira guère d'impacts directs des changements climatiques. Par contre, le système urbain suisse ne dispose jusqu'ici d'aucune alternative en matière d'approvisionnement pour le cas où les prix de l'énergie

monteraient rapidement en raison de transformations géopolitiques. Dans un tel cas, les prix pourraient atteindre un très haut niveau pour les pays ayant un faible DAA: ils pourraient se stabiliser en l'espace de dix à vingt ans autour d'une valeur dix fois plus élevée. Or le processus de transformation des ouvrages de construction (cf. paragraphe 6) pour un scénario CH2050<sub>éco</sub> dure entre trente et soixante ans. C'est alors seulement que la Suisse serait parée pour faire face à cette situation.

### Conclusion

Du point de vue géopolitique actuel, le principal danger qui menace le système urbain suisse est son approvisionnement énergétique, lequel ne répond pas aux critères du développement durable. Cet inconvénient peut être encore aggravé par les changements climatiques globaux suivant l'influence que ceux-ci auront sur d'autres régions.

## 10. Conséquences

**Considéré isolément, le système urbain suisse est relativement robuste à l'égard des changements climatiques. Une transformation de fond dans le sens du développement durable minimise les impacts directs et indirects.**

Pour les trois scénarios esquissés ici, les conséquences des changements climatiques peuvent perturber localement et saisonnièrement des secteurs partiels du système urbain suisse (voir avant tout les conséquences découlant des autres chapitres), mais pas le mettre en danger dans sa totalité. Ce système est donc relativement robuste. Si la Suisse évolue dans le sens du scénario CH2050<sub>plus</sub>, les changements climatiques n'auront qu'une influence minimale sur la manière d'aborder les points faibles du système urbain. L'approvisionnement énergétique non durable (basé unilatéralement sur les agents énergétiques fossiles) ainsi que l'accroissement du volume de constructions par habitant (augmentation exponentielle des coûts d'exploitation) subsisteront. Les impacts des changements climatiques sur d'autres régions importantes pour la Suisse au niveau économique pourraient encore aggraver ces points faibles.

Le scénario CH2050<sub>éco</sub> montre quelles qualités le système urbain suisse devrait avoir pour pouvoir éliminer ses points faibles. En tant que petite société souveraine, la Suisse aurait l'avantage d'être plus robuste à l'égard des impacts directs et indirects des changements climatiques. Une transformation de la Suisse dans le sens de CH2050<sub>éco</sub> exigerait une conviction politique largement étayée. Jusqu'ici, un tel processus de transformation n'est toutefois discuté que dans des groupements académiques, alors qu'il ne figure dans les programmes politiques du Conseil fédéral et du Parlement que sous la forme de timides approches encore loin d'être concrétisées. Il semble donc plus probable, dans la perspective actuelle, que le système urbain suisse continuera d'évoluer en direction du scénario CH2050<sub>plus</sub>.

## Bibliographie et notes

- 1 F. Oswald, P. Baccini, in Zusammenarbeit mit Mark Michaeli. Netzstadt – Einführung in das Stadtentwerfen. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser Verlag für Architektur, 2003.
- 2 P. Baccini, H.-P. Bader. Regionaler Stoffhaushalt. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1996.
- 3 P. Baccini, D. Imboden. Technological strategies for reaching sustainable resource management in urban regions. In: Our fragile world: Challenges and opportunities for sustainable development. Forerunner to Encyclopedia of Life Support Systems. Oxford: EOLSS Publ., 2001, 2153–2173.
- 4 P. Baccini, S. Kytzia, and F. Oswald. Restructuring urban systems. In: F. Moavenzadeh, K. Hanaki, P. Baccini (Hg.). Future cities: dynamics and sustainability. Kluwer Academic Publishers, 2002, 17–43.
- 5 H. Leibundgut. Low-Ex-Gebäude ohne Verbrennungsprozesse. Einführungsvorlesung an der ETH Zürich vom 29.5.2006, Archiv der ETH Zürich.
- 6 Bundesamt für Statistik (BFS). Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung 2050. Bern, 2006.
- 7 Bundesamt für Raumentwicklung ARE. Raumentwicklungsbericht 2005
- 8 M. Michaeli. Abschnitt „Netze“. In: T. Sieverts, M. Koch et al. Zwischenstadt entwerfen, Zwischen Stadt entwerfen. Wuppertal, 2006.
- 9 Th. Lichtensteiger (Hg.). Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme. vdf Zürich, 2006.
- 10 En partant de l'idée qu'il faut stabiliser le climat et que dans le monde entier, chaque être humain a le droit d'émettre la même quantité de CO<sub>2</sub>.
- 11 Ch. Blaser, M. Redle. Mehr Mobilität mit weniger Verkehr – Umbauszenarien zur Aktivität Transportieren und Kommunizieren. In: P. Baccini, F. Oswald (Hg.). Netzstadt – Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme. vdf Zürich, 1998.

# Assurances

## Auteurs

Dörte Aller  
Pamela Heck  
Jan Kleinn  
Roland Hohmann

Aller Risk Management  
Swiss Re  
PartnerRe  
Rédaction, OcCC, Berne



## 1. Introduction

### Situation

Un changement du climat exerce des impacts dans presque toutes les branches de l'économie et, partant, dans presque tous les secteurs des assurances. Les assurances immobilières et mobilières, couvrant les dommages dus à des événements naturels (tempêtes, grêle, inondations, glissements de terrain, pression de la neige, avalanches, éboulements et chutes de pierres), ne sont pas seules concernées par les changements climatiques, mais c'est aussi le cas

- des assurances agricoles contre les pertes de récolte en cas de grêle, tempête, inondation, sécheresse, gel ou feu de forêt;
- de l'assurance casco automobile en cas de grêle, inondation ou tempête;
- des assurances d'interruption d'exploitation;
- des assurances perte de recettes dans la branche du tourisme, le secteur de l'énergie et l'économie des eaux;
- des caisses maladies et assurances vie, du fait des conséquences des événements extrêmes.

Lors d'événements extrêmes en Suisse, les dommages aux bâtiments et au mobilier représentent la plus grande part de l'ensemble des dommages assurés (tableau 1). Le présent chapitre aborde les impacts des changements climatiques sur ces deux branches d'assurances ainsi que sur leurs réassurances.

### Tour d'horizon

Au cours des décennies passées, les dommages causés par des événements naturels ont augmenté dans le monde entier – la Suisse ne fait pas exception (figure 1). Cette évolution tient principalement à des changements socio-économiques: il y a davantage de valeurs assurées, toujours plus de ces valeurs se trouvent dans des zones exposées, les bâtiments sont plus vulnérables, en raison de leur mode de construction ainsi que du choix des matériaux, et le taux de pénétration des assurances a augmenté. L'ampleur de l'influence des changements climatiques sur la hausse observée des dommages est mal connue.

Le tableau des menaces des dangers naturels évoluera aussi à l'avenir, en raison de transformations sociales ou des changements climatiques,

et les dommages augmenteront. Des adaptations devront intervenir à temps à plusieurs niveaux:

- Pour que les assurances et réassurances puissent payer, elles doivent être rentables. Si les dommages dus aux événements naturels deviennent plus fréquents ou plus importants, les primes devront augmenter ou la couverture diminuer. Et en cas de plus grande variabilité des événements naturels, les assurances devront, pour rester rentables, accroître soit leur capital, soit leur couverture de réassurance.
- Si des événements naturels de grande ampleur surviennent plus souvent, des mesures préventives devront être prises pour que le risque continue d'être assurable. Seules les adaptations, dûment mises en œuvre, en matière d'aménagement du territoire et de normes de construction sont des mesures qui produiront un effet à long terme. Les assurances et réassurances continueront de payer pour les dommages dus à des événements rares.
- Actuellement, l'industrie des assurances développe de nouveaux produits qui permettent de faire face à des sinistres de plus grande ampleur et présentant une plus grande variabilité. Les obligations catastrophes („cat-bonds“) sont une première approche. Leur part de marché est toutefois encore minime en comparaison des assurances et réassurances classiques.

Il importe que les résultats scientifiques ayant trait aux conséquences possibles des changements climatiques, et notamment des événements extrêmes, soient pris en considération déjà aujourd'hui dans les modèles de risque; cela permettra d'évaluer le potentiel de dommages auquel devra faire face l'économie d'assurance et les autres branches de l'économie.

### Liens avec d'autres thèmes

Le secteur des assurances a des liens avec tous les autres thèmes traités dans ce rapport:

#### Ecosystèmes terrestres

Ils peuvent offrir une protection contre des dangers naturels (avalanches, crues etc.).

**Agriculture**

Perte de récoltes causée par la grêle, les tempêtes, les inondations, la sécheresse ou le gel.

**Economie des eaux**

Dommages dus aux dangers naturels de l'eau.

**Santé**

Caisses maladies et assurances vie, hôpitaux.

**Energie**

Assurance contre les pertes de production.

**Tourisme**

Assurance contre les pertes de recettes.

**Infrastructures**

Assurance d'installations existantes.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur l'influence possible des changements climatiques sur les assurances de choses. Nous portons une attention particulière aux changements auxquels il faut s'attendre à propos des dangers naturels. Comme maints autres domaines, celui des assurances s'intéresse à cet égard en premier lieu à l'influence que peuvent avoir sur les dommages potentiels les changements en matière d'événements extrêmes isolés, plutôt que ceux des moyennes à long terme. Ceci est vrai pour des situations extrêmes aussi bien de température et de précipitations, que de vent et de grêle. Nous décrivons d'abord le mode de fonctionnement et l'efficacité actuelle des assurances directes et des réassurances, notamment en Suisse. Partant des changements possibles de la fréquence et de l'intensité de dangers naturels, nous en discutons les effets sur les assurances.

## 2. Comment fonctionnent les assurances?

**L'idée de base des assurances est qu'un grand nombre de personnes menacées par un même danger semblable s'associent pour venir en aide aux victimes en cas de sinistre. Une assurance est caractérisée par les notions de réciprocité, rentabilité, besoin en capitaux, hasard et capacité d'estimation.<sup>1</sup>**

Un assureur utilise les primes encaissées auprès des assurés pour payer les dommages attendus. Pour qu'une assurance puisse travailler de façon rentable, les dommages futurs doivent être correctement estimés, en tenant compte aussi des changements climatiques. Si ceux-ci devaient conduire à ce qu'un événement jusqu'ici exceptionnel et fortuit se produise régulièrement, il faudrait prendre de nouvelles mesures d'atténuation des dommages. L'assurance n'est prévue que pour le cas où les mesures ne permettent pas d'éviter ou de réduire les dommages.

Pour réduire les impacts financiers de l'évolution des dommages résultant de catastrophes ou de changements imprévisibles, un assureur peut lui-même s'assurer.<sup>2</sup> On parle alors de réassurance. Les assurances peuvent compenser financièrement le coût de gros sinistres par une répartition des charges sur le plan géographique, sur plusieurs branches d'assurance et/ou dans le temps.

### Assurances directes

Le tableau 1 indique les coûts des dommages assurés, répartis par branches d'assurance, pour chacun des plus gros sinistres causés en Suisse respectivement par une tempête, des inondations et la grêle. Les dommages aux bâtiments et au mobilier représentent la plus grande part du dommage assuré total de ces sinistres. Dans la suite, nous nous concentrerons sur ces deux secteurs.

Il existe en Suisse deux systèmes d'assurance des bâtiments et du mobilier: les assurances cantonales des bâtiments (ACB) et les assureurs privés. Les deux assurent les dommages dits élémentaires pour autant qu'ils n'aient pas pu être évités par des mesures raisonnables. Les dommages élémentaires sont causés par des événements naturels (tempêtes, grêle, inondations, pression de la neige, avalanches, glissements de terrain et chutes de pierres) qui surviennent subitement et de façon imprévue. Tant les assureurs privés que les ACB font approuver le montant de leur prime

Tableau 1: Le plus gros sinistre dû à la tempête/aux inondations/à la grêle assuré en Suisse. Répartition par secteurs d'assurances de choses (indexé pour 2005). Sources: UIR, ASA, assurance contre la grêle

en millions de CHF	Tempête Lothar 1999	Inondations août 2005	Grêle (AG/ZH) 24.6.2002 <sup>a)</sup>
Bâtiments	750	890	~125
Mobilier	140	820	?
Casco automobile	65	90	~80
Interruption d'exploitation	20	200	?
Agriculture	2	10	8
Somme	~1000	~2000	~250

a) Le 8.7.2004, un autre sinistre dû à la grêle a causé pour 100 millions de CHF de dommages assurés par la casco automobile. Les dommages aux bâtiments furent toutefois nettement plus faibles.

par l'Etat. Une partie de cette prime sert à financer la réassurance (cf. ci-dessous en bas).

### Assurances cantonales des bâtiments

Les ACB, institutions de droit public, assurent tous les bâtiments dans dix-neuf cantons<sup>3</sup> (80% des bâtiments de Suisse) de façon illimitée contre le feu et les dommages élémentaires. L'activité des ACB se déroule dans un cadre juridique qui leur confère un statut de monopole en même temps que l'obligation de couvrir les dommages élémentaires. Dans les cantons de Vaud et de Nidwald, le mobilier est aussi assuré par les ACB.

Etant donné qu'elles n'assurent en règle générale que les bâtiments, les ACB n'ont pas de possibilités de compensations dans d'autres branches d'assurances, et vu leur faible rayon d'action, elles n'en ont pas non plus géographiquement. Pour parer à des événements exceptionnels, les ACB acquièrent une couverture complémentaire des risques auprès de l'Union intercantonale de réassurance (UIR), et lors d'événements extrêmes, elles s'assurent une protection mutuelle au sein de la Communauté intercantonale des risques éléments naturels. L'UIR à son tour se réassure sur le marché mondial.

### Assureurs privés

Les assureurs privés assurent les bâtiments dans les autres cantons<sup>4</sup> et se conforment en cela à la loi sur la surveillance des assurances (LSA). Le mobilier est également couvert par les assurances privées, sauf dans les cantons de Vaud et Nidwald.

Les assureurs privés opèrent aussi dans d'autres branches d'assurances et en règle générale, ils sont actifs dans l'ensemble du pays ou même au niveau international. Ils se sont également regroupés un pool pour la couverture des dommages élémentaires, afin de supporter le risque en commun et de faire appel ensemble, à cet égard, au marché international de la réassurance.

### Réassurances

Les réassurances sont actives dans le monde entier et constituent donc une communauté de risques encore plus grande. Ceux-ci sont ainsi compensés à l'échelle mondiale et en jouant sur plusieurs dangers, ce qui permet d'assurer même des risques très coûteux.

Les contrats de réassurance, et notamment les primes y relatives, sont renégociés en règle générale chaque année. Il existe pour l'essentiel deux sortes de contrats de réassurance. Dans les contrats proportionnels, tant les primes que les dommages sont partagés; le montant du sinistre n'est pas limité. Les contrats non proportionnels prévoient une limite pour le montant du sinistre. Cette forme de contrat est la plus fréquente pour les dangers naturels. La réassurance peut être conclue par sinistre ou pour le dommage annuel, c'est-à-dire pour la somme de tous les dommages d'une année. Les ACB et les assureurs privés ont choisi tous deux le type dommage annuel comme solution de réassurance. Les réassurances et les instituts financiers proposent, à part les couvertures traditionnelles, des produits qui reportent les risques en partie sur les

marchés financiers. Les obligations catastrophes, en anglais cat-bonds, permettent de diffuser le risque sur les marchés financiers. Si l'événement défini au départ se produit, le capital investi est utilisé pour faire face aux dommages; dans le cas contraire, les investisseurs récupèrent le capital qu'ils ont engagé, augmenté des intérêts. A l'heure actuelle, les montants „assurés“ en obligations catastrophes représentent un total mondial de moins de 10 milliards d'USD.<sup>5</sup> Les obligations catastrophes ont l'avantage d'être indépendantes des bourses et marchés monétaires. Les dérivés météo-

rologiques sont eux aussi indépendants, mais utilisés principalement pour optimiser les profits. Le paiement est effectué selon que les valeurs de données climatologiques moyennes ou fréquentes sont dépassées ou non atteintes. Le volume de ces dérivés négociés dans le monde s'élève actuellement à environ 45 milliards d'USD.<sup>6</sup> En comparaison de la réassurance classique, les obligations catastrophes et dérivés météorologiques ne couvrent pour l'heure qu'une très faible partie du risque, quand bien même le capital disponible sur les marchés financiers est presque illimité.

### 3. Expérience relative aux dommages

**Tant en Suisse que dans le monde, le coût des dommages et sa variabilité ont augmenté pendant les vingt dernières années. La part des changements climatiques dans cette augmentation est, dans une large mesure, inconnue.**

Au cours des décennies passées, les dommages causés par des événements naturels ont augmenté dans le monde entier; la Suisse ne fait pas exception. Cette évolution est due principalement à des changements socio-économiques:

1. les valeurs assurées ont augmenté globalement, et spécialement dans des régions menacées;
2. les bâtiments sont plus vulnérables, en raison de leur mode de construction et de l'utilisation de matériaux plus délicats;

3. la pénétration des assurances, qui était déjà et reste très élevée en Suisse pour les bâtiments et le mobilier, s'accroît;
4. les exigences des assurés évoluent.

L'ampleur de l'influence des facteurs socio-économique ou des changements climatiques sur l'augmentation observée des dommages n'a pas été quantifiée jusqu'ici.

La figure 1 présente l'augmentation globale des dommages assurés. Elle met en évidence que les

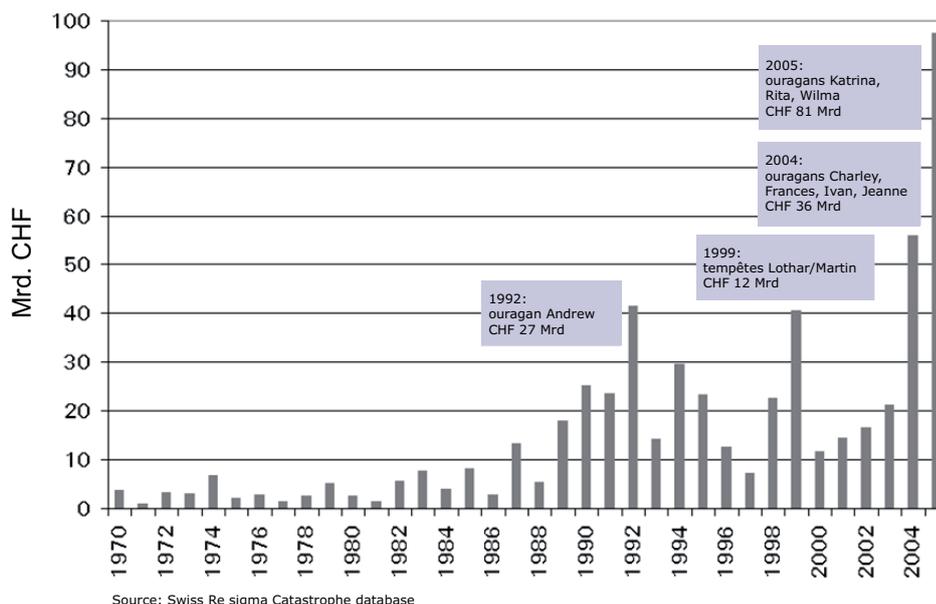


Figure 1: Evolution globale des dommages assurés causés par des catastrophes naturelles de type météorologique depuis 1970.

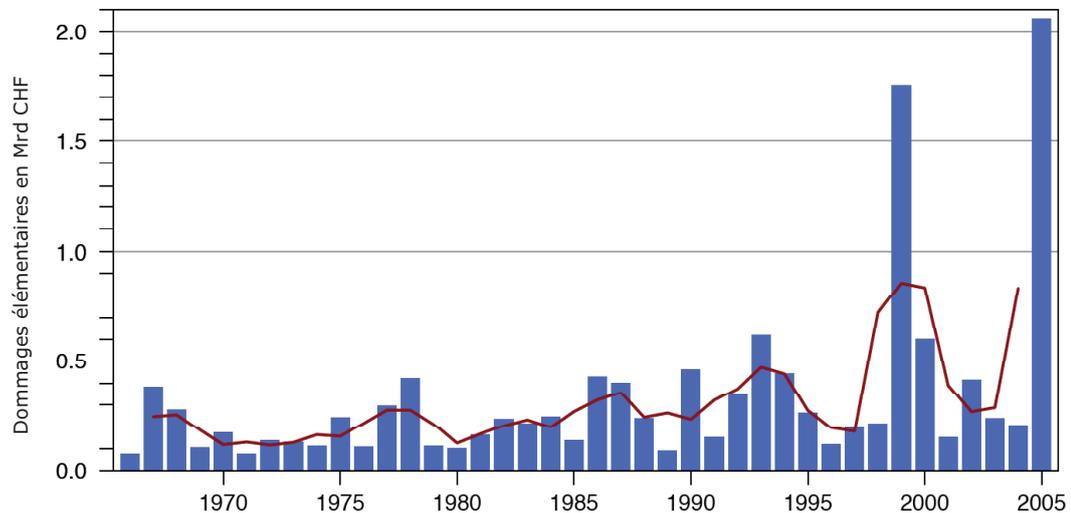


Figure 2: Dommages assurés en Suisse (somme des dommages couverts par les ACB et les assureurs privés, indexée pour 2005). La courbe montre la moyenne trisannuelle. L'accroissement des dommages et l'augmentation de la variabilité apparaissent clairement. (Sources: statistique des dommages de l'AEAI et ASA; seuls des chiffres provisoires sont disponibles pour 2005)

dommages causés par les plus grandes catastrophes naturelles du monde dépassent de beaucoup ceux enregistrés en Suisse (tableau 1). 2005 est considéré comme ayant été l'année la plus chère jusqu'ici pour les assurances; l'ouragan Katrina a causé le plus gros dommage assuré jamais enregistré, à savoir 56 milliards de CHF. C'est nettement davantage que les dommages record antérieurs de 35 milliards de CHF causés en 2004 par les cyclones Ivan, Charley, Frances et Jeanne. Les plus grands dommages assurés dus à une tempête d'hiver ont été provoqués par Vivian en 1990 et s'élèvent à 5.9 milliards de CHF (pour l'ensemble de l'Europe). Les plus grands dommages assurés dus à des inondations (4.5 milliards de CHF) ont été causés par la crue du Danube et de l'Elbe en 2002.

Une augmentation des dommages assurés dus à des événements naturels est constatée aussi en Suisse (figure 2). La courbe rouge montre la moyenne trisannuelle qui corrige les valeurs aberrantes. Tant l'accroissement des dommages que l'augmentation de la variabilité apparaissent clairement. Les deux années les plus chères sont 1999 et 2005. Avec plus de 2 milliards de CHF de dommages, 2005 fut l'année la plus chère jusqu'ici pour les assurances. La part de loin la plus grande de ces dommages a été causée par la crue du mois d'août, qui est le sinistre le plus onéreux survenu jusqu'ici. Les dommages assurés en 1999 – causés par un hiver à avalanches, des inondations en mai, de la grêle en juillet et la tempête d'hiver Lothar – se montent à environ 1.8 milliards de CHF.

### Potentiels de dommages

On peut imaginer des sinistres encore bien pires que les plus grandes catastrophes naturelles auxquelles l'industrie des assurances a dû faire face jusqu'ici. Par potentiel de dommages, les assureurs comprennent le dommage assuré estimé pour des événements très rares, mais néanmoins possibles. En économie d'assurance, on parle de „perte maximale possible“ (PMP). Le tableau 2 rassemble les plus grands potentiels de dommages pour la Suisse, l'Europe et le monde. Etant donné que ces chiffres sont des estimations, le tableau ne fournit que des ordres de grandeur des potentiels de dommages. Le plus grand sinistre survenu jusqu'ici est mentionné à titre de comparaison. Le tableau montre qu'il faut compter en Suisse pour chaque danger avec un dommage assuré de 3 milliards de CHF tous les deux à trois cents ans. Cette prévision est une moyenne statistique. Il est aussi possible qu'un tel dommage survienne deux fois de suite à bref intervalle.

Le tableau 2 montre que tant à l'échelon de la Suisse qu'à celui du monde, l'industrie des assurances doit prendre en compte d'énormes potentiels qui dépassent de beaucoup les plus graves sinistres historiques. En conséquence, la question de savoir si et comment ces potentiels pourraient se modifier sous l'action des changements climatiques est d'un grand intérêt. A ceci s'ajoute que les estimations étant basées en règle générale sur les expériences du passé, leur validité dans l'avenir à moyen terme est limitée.

Tableau 2: Potentiels approximatifs des dommages causés par un sinistre bi- à tricentennal dû à une tempête, à la grêle et à des inondations en Suisse, dans l'UE et dans le monde. (UIR, Swiss Re, PartnerRe, et autres interlocuteurs de l'industrie des assurances)

	Suisse		UE		Monde	
En milliards de CHF	Potentiel <sup>a)</sup>	dommage maximum	Potentiel <sup>b)</sup>	dommage maximum	Potentiel <sup>b)</sup>	dommage maximum
Tempête	~3	1	50 <sup>c)</sup>	5.9 <sup>d)</sup>	150 <sup>e)</sup>	56 <sup>f)</sup>
Inondations	>3	2	15 <sup>g)</sup>	4.5 <sup>h)</sup>	n/a	n/a
Grêle	<2 <sup>i)</sup>	0.25	4.5 <sup>j)</sup>	1 <sup>k)</sup>	n/a	n/a

a) Les chiffres indiqués pour la Suisse sont basés sur une étude de l'Union intercantonale de réassurance et se réfèrent aux données des 19 ECA relatives à des dommages aux bâtiments survenant en gros tous les 250 ans. Source: RG-UIR 2003. Une estimation grossière a été faite pour les sociétés privées d'assurances.

b) Les chiffres indiqués pour l'Europe et pour le monde sont basés sur une période de récurrence de 200 ans (Source: Swiss Re 2006)

c) Tempêtes d'hiver

d) Tempête d'hiver Vivian, 1990

e) Tempête tropicale avec onde de tempête

f) Tempête tropicale Katrina, 2005

g) Il s'agit de potentiels assurables, considérés dans l'hypothèse d'un taux de pénétration des assurances inondations pareil à celui de l'assurance incendie.

h) Inondations de 2002

i) La Suisse se situe en grande partie dans la zone la plus menacée par la grêle, c'est pourquoi son potentiel de dommages est élevé comparé à celui de l'ensemble de l'Europe.

j) "Hagelstürme in Europa – Neuer Blick auf ein bekanntes Risiko", Swiss Re, 2005

k) Grêle à Munich en 1984

## 4. Regard vers l'avenir

**Ce paragraphe donne un aperçu de quelques changements futurs du risque. Il décrit les changements possibles de la menace par les tempêtes d'hiver, les inondations et la grêle et discute leurs effets sur les dommages assurés. Le chapitre Données fondamentales comprend une synthèse des changements relatifs aux événements extrêmes jusqu'en 2050.**

**Les parts respectives des changements climatiques et des transformations sociales à l'évolution des dommages ne sont pas encore suffisamment considérées dans les évaluations et gestion des risques. Un effort de recherches est particulièrement nécessaire en ce qui concerne la prise en compte des futurs dommages matériels causés par des événements extrêmes.**

Bien que les résultats d'études scientifiques deviennent toujours plus consistants et complets, des incertitudes subsistent au sujet de l'influence des changements climatiques sur l'évolution des dommages (fig. 1 et 2). Par exemple, on ne sait pas au juste combien les changements climatiques ont contribué à l'accroissement des dommages pendant les trente dernières années. Séparer les différentes influences socio-économiques et climatologiques s'avère très ardu, notamment du fait que la chaîne d'action de l'événement naturel

jusqu'au dommage représente un processus complexe, difficile à modéliser (cf. chapitre Economie des eaux).

### Tempêtes d'hiver

Les tempêtes d'hiver représentent le plus grand potentiel de dommages pour l'Europe et le second en importance pour la Suisse (voir tableau 2). Pour analyser les conséquences des changements climatiques sur les tempêtes d'hiver en Europe et quantifier leurs effets sur les différents dom-

mages, des modèles scientifiques sont de plus en plus souvent jumelés avec les modèles de dommages de l'économie d'assurance.

Une étude de Swiss Re et de l'EPF de Zurich<sup>7</sup> a associé plusieurs modèles climatiques à un modèle de dommage des assurances et analysé les dommages futurs dus à des tempêtes d'hiver. Il apparaît que les changements climatiques pourraient conduire à long terme à des tempêtes d'hiver plus nombreuses et plus violentes et donc à des dommages plus élevés. D'ici la fin du 21e siècle (2071–2100), ces dommages pourraient augmenter dans l'ensemble de l'Europe de 20% à 70%<sup>8</sup> par rapport à la période de référence (1961–1990) (figure 3). En Suisse, on s'attend à une augmentation des dommages dus aux tempêtes d'hiver d'environ 20% en moyenne (0%–50%, suivant le modèle climatique). Il n'existe pas de modélisations comparables pour 2050. Mais il est vraisemblable qu'une augmentation des dommages dus aux tempêtes sera déjà observée à cette échéance, qui sera toutefois de moindre ampleur. Les modélisations mettent en évidence que suite aux changements climatiques, les événements extrêmes rares et lourds de conséquences, comme par exemple les tempêtes d'hiver Lothar ou Vivian, influenceront davantage l'augmentation susmentionnée que les événements moins intenses: l'aug-

mentation en Europe des sinistres centennaux est d'environ 100%, celle des événements décennaux d'à peu près 20%.

### Inondations

Des calculs au moyen de modèles régionaux montrent que suite aux changements climatiques, les périodes de récurrence de la pluviométrie en cinq jours (caractéristique pour les fortes précipitations de longue durée) pourraient diminuer de moitié en Europe centrale en hiver dans un climat futur (2071–2100).<sup>9</sup> Un événement centennal deviendrait un événement revenant tous les cinquante à cent ans; un événement se produisant une fois en vingt ans surviendrait tous les dix à vingt ans. Ce changement aurait des conséquences de grande portée pour le risque de crue et les dommages causés. Par exemple, si la probabilité d'une crue de l'ampleur de celle d'août 2005 en Suisse doublait, il faudrait adapter en conséquence l'estimation et la gestion des risques. D'autres effets concernent la planification et la réalisation des mesures de protection (cf. chapitre Economie des eaux). Comme pour les tempêtes et la grêle, les estimations du risque de crue doivent aussi prendre en considération les changements sociaux (où et comment construire et utiliser).

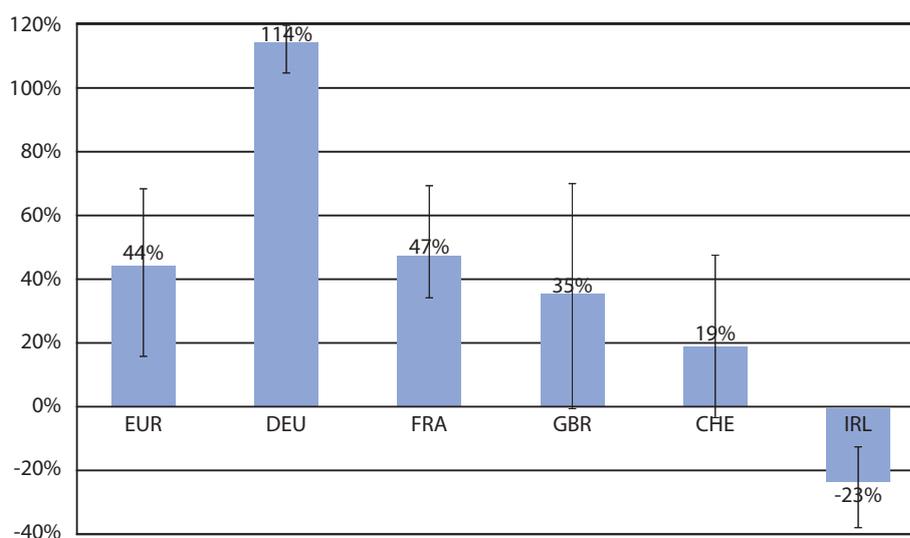


Figure 3: Augmentation moyenne du dommage annuel en Europe (EUR), Allemagne (DEU), France (FRA), Grande-Bretagne (GBR), Suisse (CHE) et Irlande (IRL) pour la période de 2071 à 2100, en comparaison de la période de référence 1961–1990. La barre bleue indique la moyenne tirée des modèles climatiques, la barre d'erreur montre la dispersion des modèles. (Source: P. Heck, D. Bresch and S. Tröber. The effects of climate change: Storm damage in Europe on the rise. Swiss Re Focus report no. 1503160\_06\_en, 2006)

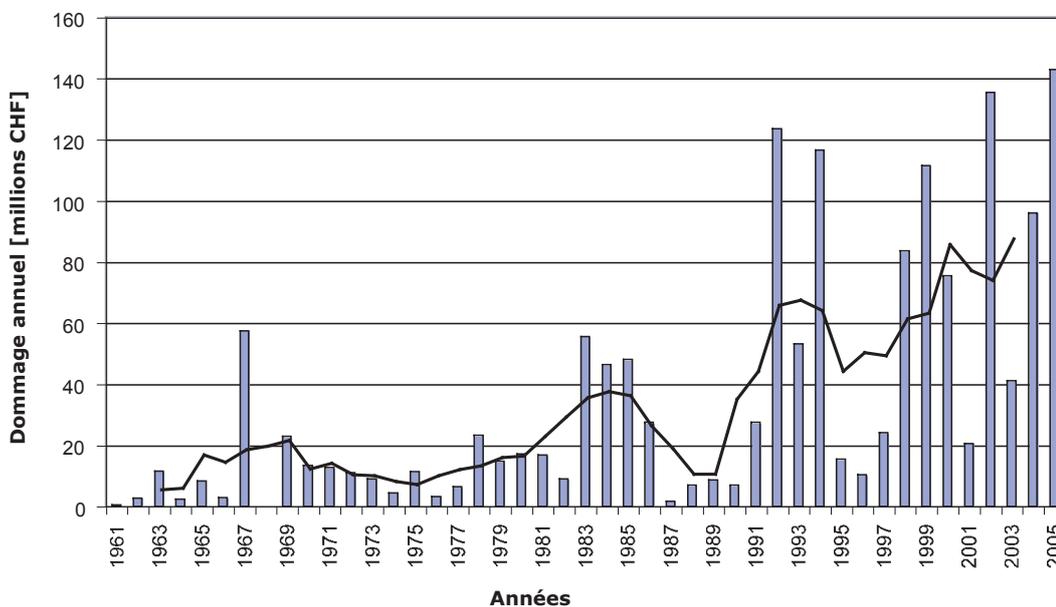


Figure 4: Dommages dus à la grêle selon les Etablissements cantonaux d'assurance; indexation suivant l'indice zurichois des coûts de construction et un renchérissement de 1.5%; seuls les bâtiments sont considérés, 1968 manque, 2005 est provisoire; ligne noire: moyenne glissante sur cinq ans. (Source: statistique AEAI des dommages)

### Grêle

De vastes parties de la Suisse se trouvent dans une zone où le risque de grêle est élevé en comparaison de grandes parties de l'Europe. En conséquence, le potentiel de dommages est élevé. Les situations météorologiques générales responsables en Suisse d'épisodes de grêle extrêmes sont devenues nettement

plus fréquentes depuis 1940. Si la fréquence de ces situations continue d'augmenter à l'avenir, il faudra compter avec davantage de chutes de grêle extrêmes.<sup>10</sup> Du fait que les chutes de grêle sont des événements très localisés, il est difficile de les simuler au moyen de modèles climatiques et de faire des prévisions sur leurs évolutions futures.

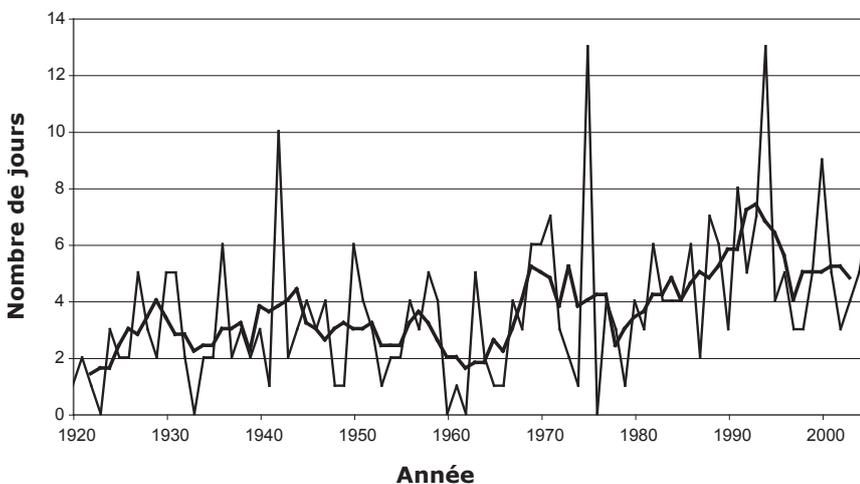


Figure 5: Série temporelle du nombre de jours comptant cent communes ou davantage touchées par la grêle de 1920 à 2005. La tendance en hausse des „forts” jours de grêle entre 1980 et 1994 apparaît clairement. (Source: Hans-Heinrich Schiesser)

Les dommages provenant de la grêle ont eux aussi augmenté dans le passé. Au cours des quinze dernières années, les Etablissements cantonaux d'assurance ont enregistré des dommages en gros quatre fois plus grands que dans les années 1960 et 1970 (figure 4). Cette évolution a plusieurs causes. D'abord, le nombre de violentes chutes de grêle a augmenté (figure 5). Toutefois, l'accroissement de ces événements est moins marqué que celui des dommages. Ensuite, des changements sociaux contribuent à l'augmentation des dommages. Des exemples en sont le recours à des matériaux qui ne sont pas adaptés à la grêle (p.ex. stores à lamelles et revêtements métalliques), de même que des prétentions plus grandes de la part des assurés. Enfin, l'ampleur des dommages lors de chutes de grêle localisées dépend très fortement du hasard. Il tient peut-être au hasard que davantage de zones comprenant des valeurs importantes aient été touchées ces dernières années. Ces trois causes exercent une

influence combinée sur l'évolution des dommages: si les chutes de grêle augmentent en conséquence des changements climatiques, la probabilité que des zones comprenant des valeurs importantes et des matériaux vulnérables soient touchées augmentera aussi.

### Conclusion

Il est nécessaire de mieux quantifier les parts respectives des changements climatiques et des transformations sociales dans l'évolution des dommages et de les inclure ensuite dans l'estimation et la gestion des risques. Il importe notamment, lors de décisions ayant un effet à long terme, de prendre aussi en compte des prévisions incertaines. Dans le domaine de l'assurance de choses, ce seront les changements au niveau des événements extrêmes qui joueront le plus grand rôle. Des études à ce sujet sont donc nécessaires comme base de décision, aussi devraient-elles acquérir en science

## 5. Impacts sur les assurances et mesures prises par ces dernières

**Les changements climatiques et les modifications y relatives de l'intensité et de la fréquence des événements naturels ont de multiples impacts sur l'économie d'assurance. Celle-ci peut prendre elle-même des mesures lui permettant de couvrir financièrement une partie de ces impacts, dans d'autres cas en revanche des dispositions doivent être prises au niveau de la société et de la politique.**

### Influence des changements climatiques sur les assurances

Comme mentionné au paragraphe 2, les principes de base des assurances sont la réciprocité, la rentabilité, le besoin en capitaux, le hasard et la possibilité d'estimation. Les changements climatiques influencent ces caractéristiques de diverses manières:

#### Réciprocité

A l'avenir, le fait que des primes uniformes soient encaissées auprès de tous les assurés, pour financer les dommages dans les régions concernées comme dans celles qui le sont moins, sera moins bien accepté. La solidarité sera donc mise en question.

#### Rentabilité

A l'avenir, les primes encaissées devront toujours encore couvrir les dommages. Si des grands sinis-

tres se produisent plus souvent ou deviennent plus chers, l'industrie d'assurance devra adapter ses primes et ses conditions en conséquence, afin de maintenir sa viabilité économique.

#### Besoin en capitaux

Si non seulement l'intensité, mais aussi la variabilité des sinistres changent, les assurances devront disposer de davantage de capital pour couvrir les dommages ou augmenter leur couverture de réassurance. Celle-ci peut être adaptée à brève échéance, tandis qu'une augmentation de capital prend en règle générale du temps et devrait être réalisée avant que des dommages plus importants ne déciment le capital.

#### Hasard

Les changements climatiques influencent la fréquence des événements. Des événements extrê-

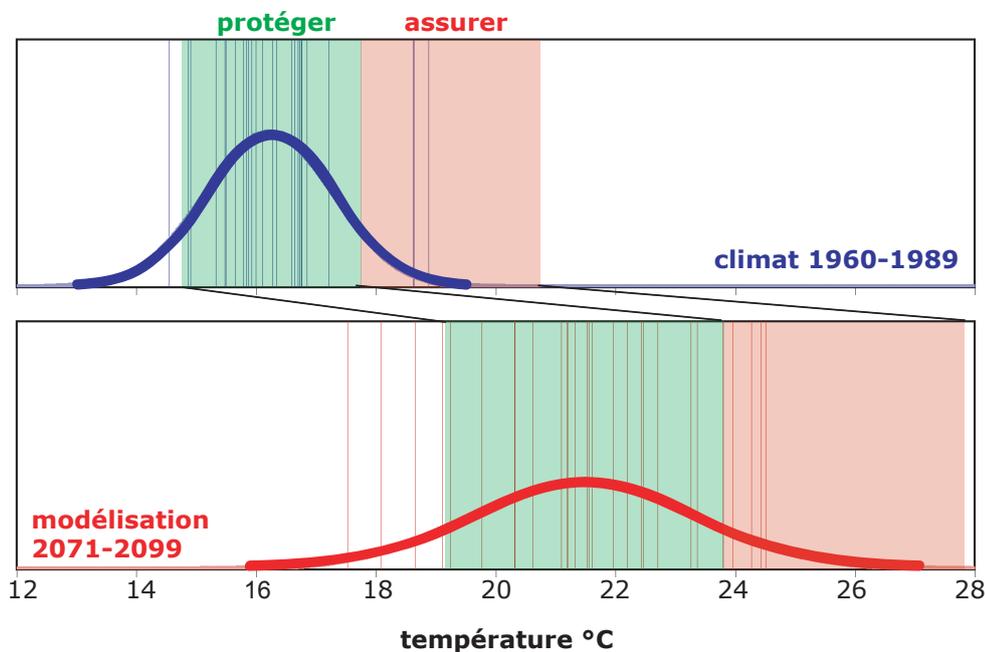


Figure 6: Les changements climatiques modifieront la probabilité et l'intensité des événements (exemple des températures d'été, transférable aux dangers naturels).<sup>11</sup> Les assurances couvrent les dommages causés par des événements extrêmes rares, exceptionnels (surface rouge dans la figure du haut). Si de tels événements entrent dans la normalité comme conséquence des changements climatiques, il faudra prendre d'autres mesures pour éviter et remédier aux dommages (surface verte dans la figure du bas). En même temps, l'intensité des événements extrêmes pour lesquels la protection par une assurance est prévue augmente (surface rouge dans la figure du bas).

mes, aujourd'hui exceptionnels et rares, pourraient se produire régulièrement en raison des changements climatiques et entrer ainsi dans la normalité (figure 6). Des dommages prévisibles réguliers sont en contradiction avec le principe de l'assurance. Dans l'optique de cette dernière, des mesures préventives doivent être prises.

### Possibilité d'estimation

Un risque est d'autant plus aisé à estimer que le nombre de données à son sujet est plus grand, les séries de données plus longues et la variabilité des données plus faible. Pour pouvoir inclure les changements climatiques dans l'estimation des risques, on a besoin de prévisions sur les changements à attendre en matière d'intensité et fréquence des événements extrêmes et d'une évaluation de leur incertitude.

### Mesures à prendre par les assurances

Les assurances ont plusieurs possibilités de réagir aux effets susmentionnés. Il est important à cet égard, pour toute l'économie d'assurance, que les résultats scientifiques sur l'influence des changements climatiques entrent dans les modèles des risques.

### Assurances directes

#### Augmentation des primes

Si l'intensité et la fréquence des sinistres augmentent, les assurances devront à long terme rehausser les primes afin de pouvoir continuer de payer les dommages. Les primes devront être également adaptées en fonction de l'augmentation de la couverture de réassurance et/ou de l'accroissement du capital.

#### Adaptation des conditions d'assurance

Les conditions d'assurance peuvent être adaptées. Cela peut se faire par une augmentation de la franchise, par des exclusions ou par une limitation de la couverture. Ces adaptations peuvent avoir pour effet que des dommages ne soient payés qu'en partie par l'assurance. Dans le cas d'une franchise, le dommage n'est payé qu'à partir d'un certain montant. Ceci peut inciter le propriétaire à protéger et entretenir sa maison de telle manière qu'aucun dommage prévisible ou évitable ne se produise. Une assurance peut exclure par exemple des matériaux de construction délicats qui, dans l'état actuel des connaissances, ne résisteraient pas aux événements naturels prévisibles. Une limitation de

la couverture limite vers le haut le montant du dommage à payer par l'assurance.

#### *Primes de risque*

Une prime de risque pour des objets isolés n'a qu'une utilité limitée en Suisse. Pour tous les risques élémentaires (tempêtes, grêle, inondations, glissements de terrain, pression de la neige, avalanches, éboulements et chutes de pierres), la prime y est inférieure à 50 centimes par 1'000 CHF de somme d'assurance. Pour une villa familiale de 500'000 CHF, la prime coûte moins de 250 CHF par année. Seule une augmentation massive de cette prime motiverait un propriétaire peu clairvoyant à investir de l'argent dans des mesures d'atténuation des dommages. Une adaptation des franchises est plus efficace.

#### **Réassurances**

Une augmentation de la fréquence et de l'intensité de grands sinistres conduira à une hausse des primes de réassurance. Les réassureurs devront accroître leur capital pour pouvoir payer des dommages plus coûteux. En outre, ils peuvent répartir davantage leurs risques en augmentant leur couverture contre les événements extrêmes auprès d'autres réassurances (on parle de rétrocession) ou en acquérant des obligations catastrophes sur le marché financier. On peut imaginer aussi que d'autres instruments de transfert du risque soient encore mis au point.

#### **Mesures à prendre par la société**

Pour faire face au changement d'intensité et de fréquence des événements extrêmes, consécutif aux modifications du climat, il faudra aussi des adaptations au niveau de la société.

Les exclusions, les limitations de la couverture ou l'insuffisance de la couverture de réassurance (ou du capital) peuvent avoir pour effet une couverture lacunaire en cas de sinistre, rendant nécessaire une prise en charge par la société ou l'Etat. Une élévation des primes peut devenir problématique si celles-ci ne peuvent plus être payées par une grande partie de la société. Il convient donc d'avoir pour objectif de réduire les conséquences d'événements naturels en fixant des conditions-cadres sociales et politiques allant dans le sens de la durabilité.

Des conditions-cadres adaptées doivent être créées sur le plan politique – aussi dans l'intérêt de l'Etat – permettant à l'économie d'assurance de continuer d'opérer de façon rentable, lors même qu'il faut par exemple de plus grandes réserves en capital pour faire face à des dommages plus importants.

En même temps, des mesures doivent être prises pour réduire l'ampleur des dommages. L'aménagement du territoire a une influence en définissant où il est permis de construire et où il ne l'est pas. Il doit prendre en compte les dangers naturels dans leur extension non seulement actuelle, mais aussi future.

Les normes de construction et les lois sur la construction permettent d'influer sur la manière de bâtir et sur le choix des matériaux. A cet égard aussi, il faut considérer les changements à venir. Les planificateurs et les maîtres de l'oeuvre devraient être tenus de planifier et construire en faisant preuve de prévoyance. Les constructions exposées aux intempéries et fortement menacées devraient, aujourd'hui comme demain, résister au mauvais temps. Des événements exceptionnels aujourd'hui pourraient entrer dans la normalité d'ici 2050 et devraient donc être pris en compte aujourd'hui dans la planification.

Les assurances peuvent soutenir ces différentes adaptations. Elles peuvent s'engager sur le plan politique pour la création de conditions-cadres appropriées permettant de faire face aux défis futurs. Elles peuvent aussi promouvoir l'établissement de cartes des dangers et le respect de ces dernières dans la pratique, publier des guides et des brochures sur la prise en compte des dangers naturels dans les constructions et établir des catalogues de matériaux de constructions appropriés. Les assurances peuvent également – souvent toutefois seulement en cas de sinistre – promouvoir la mise en œuvre des mesures par des réserves, conditions ou exclusions.

Du point de vue économique, les efforts visant à réduire les gaz à effet de serre sont aussi des moyens efficaces pour diminuer la sensibilité à l'égard des changements. Ceci vaut en particulier lorsque les réductions d'émissions protègent contre les changements climatiques (voir l'encadré Marché des émissions et politique climatique et l'encadré Promotion de l'efficacité énergétique).

### Marché des émissions et politique climatique

Les mécanismes flexibles du Protocole de Kyoto (les mécanismes de développement propre (MDP), l'implication conjointe (AC), le marché des émissions) ont pour but de rendre les mesures de réduction des gaz à effet de serre aussi avantageuses que possible du point de vue coût. Les mesures doivent être prises là où leur mise en œuvre est la moins chère. Les mécanismes flexibles sont le seul instrument permettant d'intégrer des régions sans obligation de réductions dans les efforts internationaux de protection du climat. Le marché des émissions établit un lien entre les émissions de gaz à effet de serre et les marchés des capitaux.

Le marché des droits d'émission permet à un pays de participer aux mesures de protection du climat d'autres pays. On distingue entre les droits d'émission qui sont attribués à un pays ou à une entreprise dans le cadre du Protocole de Kyoto ou au sein d'un système commercial fermé, et ceux qui sont générés par un projet de protection du climat dans un autre pays industrialisé (AC) ou en développement (MDP). En 2005, le volume des échanges de droits d'émission attribués et générés ont été à peu près égaux.

Il existe, pour le marché des émissions, plusieurs systèmes d'échanges qui ne sont pas reliés entre eux. Le plus important est le système européen de marché des émissions (EU Emission Trading Scheme, EU-ETS). D'autres systèmes existent par exem-

ple en Australie et aux USA, pays non signataires du Protocole de Kyoto. La Banque mondiale est l'institution centrale pour les transactions de droits d'émission générés dans des pays en développement par des projets MDP. L'évolution des prix dans les différents marchés a été jusqu'ici très diverse.

L'évolution du marché de droits d'émission dépendra du cours futur de la politique climatique internationale. Les conditions suivantes sont importantes pour le succès du marché des émissions:

1. Les mesures de réduction doivent être payantes. Le prix du CO<sub>2</sub> devrait être assez haut pour que la substitution vers des agents énergétiques présentant un rapport énergie/émissions plus favorable – comme par exemple celle du pétrole vers le gaz naturel – soit payante.
2. Pour que le marché de certificats de gaz à effet de serre ait une perspective à long terme, il faut des objectifs de réduction qui soient contraignants à longue échéance.
3. Les différents systèmes de marché devraient être couplés entre eux et organisés autant que possible globalement, afin que le marché puisse déployer toute son efficacité. Chaque tonne de CO<sub>2</sub> dont l'émission est évitée a la même valeur pour le système climatique, indépendamment du lieu où son rejet a été évité et de l'objectif régional de réduction.

*Prof. Georg Müller Fürstenberger*

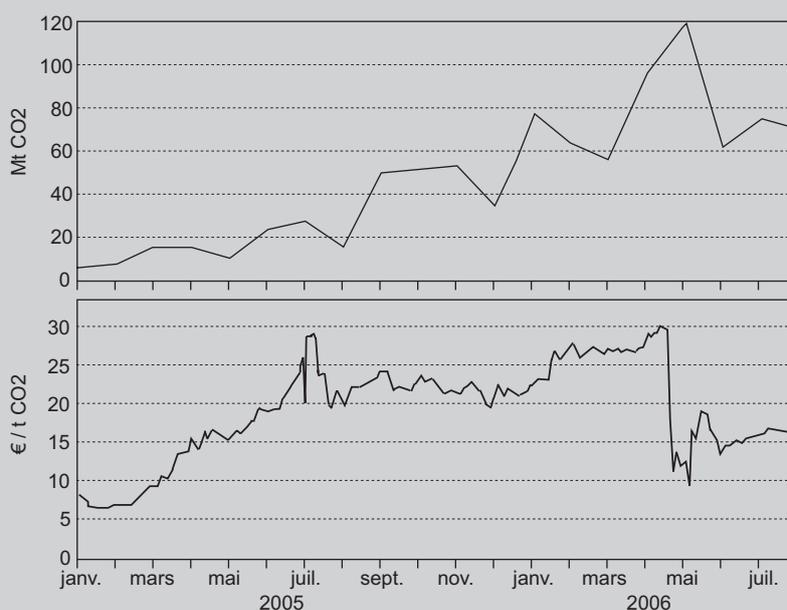


Figure 7: Volume total des échanges et évolution des prix des droits d'émissions de l'EU-ETS. Depuis le lancement de l'EU-ETS en janvier 2005, le volume mensuel des échanges est passé de 10 millions t CO<sub>2</sub> à plus de 60 millions t CO<sub>2</sub>. Le prix des certificats subit encore de fortes fluctuations.

### Effet durable d'investissements pour la promotion de l'efficacité énergétique

Des entreprises qui traitent l'homme et l'environnement avec égards génèrent des bénéfices durables pour leurs actionnaires – cette réflexion est à la base d'institutions financières opérant dans le sens de la durabilité. Les fonds ISR (Investissement socialement responsable) ne jouent encore à ce jour en Suisse qu'un rôle marginal. Sur les quelque 500 milliards de CHF qui ont été investis en 2005 en Suisse dans des fonds de placement, seulement 1% l'ont été dans des fonds ISR. Ceci bien que le succès des fonds ISR soit en moyenne au moins aussi bon que celui des fonds traditionnels.

Les changements représentent un défi pour l'économie. Celle-ci doit s'adapter aussi vite et bien que possible à de nouvelles conditions. Il en va ainsi pour les changements climatiques, qui entraînent des modifications des conditions-cadres politiques et économiques. Des exemples à cet égard sont l'encouragement par l'Etat vers les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique ou le marché des émissions. Les conseillers en placements investissent dans les entreprises qui s'adaptent le mieux aux nouvelles conditions et qui en saisissent les chances en lançant de nouveaux produits.

Les technologies qui augmentent l'efficacité énergétique permettent de réduire les émissions et les dépenses énergétiques. Il y a de nombreux exemples d'entreprises qui ont économisé beaucoup d'argent en investissant dans l'efficacité énergé-

tique: le groupe BT (British Telecom) a économisé 214 millions d'USD entre 1991 et 2004, DuPont en gros 2 milliards d'USD depuis 1990. Malgré tout, le capital-risque n'est guère engagé dans la promotion de ces technologies.

Aujourd'hui, les fonds de placement qui investissent dans l'augmentation de l'efficacité énergétique choisissent leurs titres le plus souvent en fonction de critères relatifs. En règle générale, il suffit que les entreprises et les technologies présentent une efficacité énergétique supérieure à la moyenne. La question de savoir si elles satisfont à un objectif d'efficacité à long terme ne joue aucun rôle. Or pour que ces technologies contribuent à longue échéance à la protection du climat, elles doivent s'orienter sur des objectifs à long terme de protection du climat et d'efficacité énergétique:

- En matière de protection du climat, les nations industrialisées occidentales devraient abaisser leurs émissions de gaz à effet de serre de 60–80% jusqu'en 2050. Ceci correspond à une réduction annuelle de 2 à 3.5%.
- Dans l'hypothèse qu'un secteur industriel connaisse une croissance de X%, son efficacité devrait augmenter de (2+X) à (3.5+X)% par an.

Dans l'optique actuelle, seules de nouvelles technologies peuvent remplir cette condition.

*Dr Gerhard Wagner (UBS) et  
Simone Schärer (SAM)*

## Bibliographie et notes

- 1 H. Erb. Grundzüge des Versicherungswesens. Verlag des Schweizerischen Kaufmännischen Verbandes, Zürich: 1990.
- 2 ASA/SVV, Schweizerischer Versicherungsverband, Association Suisse d'Assurances.
- 3 Il y a des établissements cantonaux d'assurance dans les cantons suivants : ZH, BE, LU, NW, GL, ZG, FR, SO, BS, BL, SH, AR, SG, GR, AG, TG, VD, NE, JU
- 4 Les cantons sans établissements cantonaux d'assurance sont : GE, UR, SZ, TI, AI, VS, OW
- 5 [www.swissre.com](http://www.swissre.com)
- 6 [www.wrma.org](http://www.wrma.org)
- 7 Swiss Re (Hg.). Folgen der Klimaveränderung: Mehr Sturmschäden in Europa. 2006.
- 8 La fourchette dans laquelle se situent les résultats découle des différents modèles. Les fluctuations monétaires et l'inflation n'ont pas été prises en compte. Une étude antérieure pour l'Angleterre, la France et l'Allemagne indiquait en moyenne une augmentation des dommages dus aux tempêtes allant jusqu'à 20% pour la période 2070-2099 par rapport à la période de référence 1961-1990 et une augmentation de la variabilité des dommages annuels (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/mice/>)
- 9 C. Frei, R. Schöll, J. Schmidli, S. Fukutome, and P.L. Vidale. Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. In: J. Geophys. Res., 111, 2006, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- 10 OcCC (Hg.). Extremereignisse und Klimaänderung. Bern, 2003.
- 11 C. Schär, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M. A. Liniger, and C. Appenzeller. The role of increasing temperature variability for European summer heat waves. In: Nature, 427, 2004, 332-336.



# Synthèse

## 1. Introduction

Quels impacts les changements climatiques globaux auront-ils sur la Suisse en 2050? Bien que personne ne connaisse l'avenir, l'évaluation scientifiquement étayée des développements probables permet de réfléchir à temps à des stratégies d'adaptation intelligentes et de prendre des mesures de prévoyance. Les changements attendus dans différents secteurs ayant été décrits et examinés concrètement dans les chapitres précédents, le moment est venu d'effectuer la synthèse de ces réflexions et de les faire converger vers des conclusions. Dans le présent chapitre, nous prenons position dans cinq perspectives – les changements lents, les extrêmes, l'eau, le territoire et le bien-être humain – sur les questions que voici:

- Quels changements vont-ils nous arriver et pourquoi sont-ils importants?
- Quelles adaptations peut-on déjà discerner? Considérées dans leur contexte général, sont-elles opportunes ou seulement des pseudo-solutions superficielles ou même contre-productives? Vers quelles stratégies d'adaptation faut-il tendre à long terme?
- Qu'est-ce que cela implique pour une stratégie climatique responsable et abordant la situation dans son ensemble?

En tant qu'êtres humains, nous sommes impliqués à la fois dans les relations de cause à effet physiques (matière, énergie) du monde matériel et dans les interactions sociétales et sociales. Cette implication se manifeste de multiples façons: par exemple, le développement des techniques permettant d'utiliser des agents énergétiques fossiles a induit une transformation à long terme des systèmes économiques et sociaux aussi bien que des systèmes climatiques et écologiques – ces changements agissent en retour sur nous autres êtres humains et exigent de notre part des adaptations et des solutions.

En ce qui concerne les changements climatiques, nous savons que la contribution la plus importante à la solution du problème consiste à réduire drastiquement les rejets de gaz à effet de serre dans le monde entier. Cette approche qui s'attaque à la cause du problème est appelée mitigation. Elle ne comporte aucune alternative! Le système climatique est ainsi fait qu'il exige de nous des réductions substantielles des émissions, dont la radicalité nous met au défi. Aussi ne savons-nous pas encore au juste quand et comment nous parviendrons vraiment

à effectuer les grosses réductions qui s'imposent. Il est certain par contre que même si des progrès rapides sont obtenus en matière de mitigation, les changements climatiques dus aux concentrations anthropiques élevées de gaz à effet de serre dans l'atmosphère se poursuivront encore pendant les prochaines décennies (effets à retardement). C'est pourquoi nous devons nous préparer en même temps à faire face aux atteintes locales et régionales des changements climatiques. Une stratégie optimale d'adaptation implique de minimiser les dommages prévisibles et de tirer un bénéfice maximal des opportunités qui résultent de ces changements. Cette stratégie de limitation des dommages est appelée adaptation. Le présent rapport se concentre sur les impacts des changements climatiques aux environs de 2050 et sur la question de savoir quelles prestations en termes d'adaptations la Suisse devra fournir en plus des efforts nécessaires et urgents en matière de mitigation. Nombre de changements en cours ne se manifesteront pas encore de façon spectaculaire. Cependant, le système climatique réagit avec une certaine inertie. Même si nous entreprenons aujourd'hui des réductions massives, les changements climatiques se poursuivront dans un premier temps, alimentés encore par les gaz à effet de serre émis pendant le 20<sup>e</sup> siècle. Nos efforts doivent donc viser à atténuer ces impacts aussi pendant la période postérieure à 2050.

Les conclusions de ce rapport au sujet des changements moyens prévisibles du système climatique ainsi que de leurs impacts sur la société, l'économie et les écosystèmes ne semblent en partie pas particulièrement dramatiques, étant donné que sous nos latitudes, ils se situeront en 2050 encore en majorité dans les limites de la variabilité naturelle. La société peut réagir dans la plupart des cas par des mesures d'adaptation. Mais ceci ne doit masquer le fait que notre manière d'agir aujourd'hui déterminera l'avenir du climat et les énormes coûts économiques et sociaux qui en résulteront après 2050. Entre 2050 et 2100, les impacts des changements climatiques se feront sentir très lourdement aussi en Suisse et y causeront de gros dommages. Les conséquences seront alors beaucoup plus dramatiques pour la Suisse que ce rapport ne les présente. Agir en matière de mitigation et d'adaptation est donc aujourd'hui déjà urgent.

## 2. Changements lents

**Les scénarios pour 2050, qui sont à la base du présent rapport, portent principalement sur des valeurs moyennes. Ils prévoient que les températures augmenteront d'environ 1.8°C en hiver et de 2.7°C en été par rapport à 1990. Les changements climatiques moyens qui en résulteront auront des impacts sur différents systèmes. Seront concernés par exemple les glaciers, le pergélisol, le cycle hydrologique, la végétation, la faune, ainsi que les constructions et le bien-être humain.**

Les précipitations tendront à diminuer en été et à augmenter légèrement en hiver. En moyenne annuelle, il en résultera une légère baisse des précipitations comparé à aujourd'hui. Ces changements vont de pair avec des déplacements de la circulation atmosphérique. On s'attend notamment à ce que l'anticyclone des Açores s'étende plus souvent au-dessus de l'Europe pendant l'été, ce qui tendra à favoriser les vagues de chaleur et les périodes de sécheresse. Selon les pronostics, la zone du vent d'ouest se déplacera vers le nord en hiver et la pression sera probablement plus basse au cœur des systèmes dépressionnaires. Une conséquence possible est que les tempêtes d'ouest seront plus rares, mais plus violentes. Le réchauffement moyen qui en résulte et les changements des précipitations moyennes auront à eux seuls déjà des effets prononcés sur plusieurs systèmes. Cela concerne par exemple les glaciers, le pergélisol, le cycle hydrologique et la végétation. Nombre de changements se déroulent sur de longs intervalles de temps. Dans certains cas, la nature et l'être humain auront des possibilités suffisantes de s'adapter aux nouvelles conditions. Par exemple, certaines espèces pourront émigrer dans des régions où les conditions climatiques correspondent mieux à leurs exigences, pour autant qu'elles ne rencontrent aucun obstacle majeur et qu'elles disposent d'assez de temps. L'agriculture pourra s'adapter aux nouvelles conditions en choisissant des espèces, cultures et méthodes d'exploitation adéquates. D'autres changements causeront par contre des dommages irréversibles, même s'ils se déroulent lentement. Par exemple, de nombreux petits glaciers auront disparu d'ici le milieu du siècle, ce qui transformera nos paysages de montagne de façon durable. Des espèces qui ne pourront pas émigrer dans des zones au climat plus favorable disparaîtront également. Des espèces étrangères immigreront et prendront leur place, ce qui, en raison des latences prévisibles, conduira à long terme également à des changements durables du paysage. Des domaines skiables dans des régions

de basse altitude ne pourront plus être exploités rentablement, du fait de la diminution des chutes de neige. Mais certains changements, comme par exemple un adoucissement du climat, seront aussi perçus comme positifs et comporteront des chances pour l'être humain. Par exemple, des changements climatiques modérés rendront possibles une augmentation des rendements agricoles sous nos latitudes. Dans plusieurs régions, en particulier en montagne, le tourisme d'été profitera d'un climat plus chaud et plus sec (qui leur permettra de mettre en valeur „l'air frais des montagnes“). Les besoins de chauffage en hiver baisseront sensiblement.

La question de savoir si les changements climatiques auront, jusqu'en 2050, des effets locaux négatifs ou non pour les êtres humains, c'est-à-dire dans quelle mesure ceux-ci sont vulnérables, dépend de trois facteurs: d'une part de l'exposition d'un système aux changements climatiques (par exemple, une vague de chaleur se fait sentir beaucoup plus fortement en plaine qu'en montagne par les êtres humains), ensuite de la sensibilité d'un système à l'égard de l'impact considéré (en termes de santé, les personnes âgées sont par exemple plus sensibles aux canicules que les jeunes), et enfin de la faculté d'adaptation d'un système aux changements (des périodes de fortes chaleurs seront par exemple mieux supportées par des personnes sensibles si celles-ci peuvent se retirer dans des locaux frais). En tant que pays riche, politiquement stable, disposant d'un haut niveau d'éducation et de grandes possibilités techniques, financières et institutionnelles, la Suisse a une grande faculté d'adaptation à l'égard des impacts des changements climatiques. Mais les prestations nécessaires à ces adaptations ne seront pas fournies ni financées automatiquement, et leur acceptabilité devra être discutée en détail. Il est certain que notre pays sera d'autant moins vulnérable que nous aurons identifié plus tôt nos points sensibles et adopté des stratégies d'adaptation judicieuses.

Nous sommes habitués à des changements politiques, économiques et sociaux rapides, spectaculaires et parfois drastiques et nous disposons de nombreux mécanismes sociaux d'adaptation. En comparaison, nombre d'effets des changements climatiques s'établissent insensiblement, souvent avec retard et en arrière-plan, comme par exemple la transformation progressive de la composition en espèces d'une forêt, le réchauffement d'une rivière ou l'arrivée plus précoce du dernier gel au printemps. Ils nous mettent néanmoins particulièrement au défi. Car nos modes d'exploitation économique des écosystèmes et du territoire, notre architecture et notre technique du bâtiment, notre organisation quotidienne et saisonnière du travail et des loisirs etc., que nous avons développés au cours des décennies ou siècles passés, tablent sur un climat constant à l'horizon de temps humain, comportant des fluctuations plus ou moins connues et des événements extrêmes survenant à des fréquences prévisibles. Mais avec les changements climatiques, nous sommes confrontés à des modifications de ces conditions d'arrière-plan de notre économie et de notre vie sociale – des modifications difficilement prévisibles en détail, au sujet desquelles nous avons peu d'expérience et face auxquelles

nous avons besoin de mécanismes d'adaptation nouveaux et très souples.

Des adaptations spontanées, superficielles, ne suffiront pas ou seront contre-productives. Par exemple, nous tendrons peut-être à nous habituer à des températures plus élevées et à des canicules plus fréquentes, en installant toujours plus d'appareils individuels de climatisation dans des bâtiments existants. Une telle stratégie résoudra le problème superficiellement (les êtres humains supporteront mieux la chaleur et resteront productifs), mais donnera – si l'électricité supplémentaire est couverte parfois par des agents énergétiques fossiles (mix de courant de l'UE) – encore une nouvelle impulsion aux changements climatiques et ne constitue donc pas une forme d'adaptation conforme au développement durable. Une stratégie judicieuse à long terme implique une modernisation systématique du parc de bâtiments, dans le sens de la maison passive qui offre un climat agréable dans les locaux en minimisant l'apport extérieur de chaleur et de froid, et appelle à une réorganisation des horaires de travail journaliers. De telles adaptations sont certes plus ambitieuses et demandent plus de ténacité, mais elles sont à privilégier, parce qu'elles aident à prévenir de plus amples changements climatiques.

### 3. Événements extrêmes

**Des étés secs et caniculaires, comme en 2003, pourraient être en 2050 déjà nettement plus fréquents et encore plus extrêmes. Il est prévisible qu'il pleuvra davantage en hiver et moins en été, mais il faut s'attendre à une plus grande variabilité et à une augmentation de l'intensité des précipitations. Le risque de dommages affectant les voies de transport, les installations touristiques et l'habitat augmentera.**

Les adaptations au réchauffement moyen et les modifications des précipitations moyennes se font relativement lentement. Or les adaptations aux changements ayant trait aux événements extrêmes et aux dangers naturels y relatifs doivent être effectuées rapidement et sont en outre difficiles à évaluer. Comme exposé dans un rapport antérieur de l'OcCC sur les événements extrêmes et les changements climatiques,<sup>1</sup> il est difficile, dans une optique scientifique, de fournir des données sûres et concrètes sur les modifications affectant les événements extrêmes. Les discussions en groupes et ateliers d'experts ont permis néanmoins

de conclure que les impacts les plus importants dans les secteurs examinés ici proviennent de deux types d'événements climatiques extrêmes: la forte chaleur combinée avec la sécheresse, et des précipitations intenses combinées avec des températures élevées. A ces situations s'ajoutent des événements naturels dont elles sont la cause, tels que glissements de terrain, crues, etc.

#### **Forte chaleur et sécheresse**

Des étés secs et caniculaires, comme en 2003, pourraient être en 2050 déjà nettement plus fréquents et encore plus extrêmes (cf. le chapitre Données

fondamentales). A part un réchauffement notable, il faut s'attendre à une variabilité croissante du climat d'été et à une forte augmentation des vagues de chaleur extrêmes. L'agriculture, les écosystèmes naturels terrestres et aquatiques, la navigation sur le Rhin et la production d'énergie seront fortement touchés (cf. paragraphe 4). Il faudra mettre au point des mesures pour maîtriser les conflits issus de la situation de concurrence que suscitera le manque d'eau.

Les conséquences pour la santé humaine seront particulièrement sensibles, notamment en ce qui concerne les personnes âgées et nécessitant des soins ainsi que les malades, mais aussi pour la productivité de la population active. Une mesure d'adaptation aussi simple qu'importante consiste en une bonne information sur le comportement à avoir au domicile et sur la manière d'organiser la vie quotidienne et d'encadrer les personnes nécessitant des soins. Un mode de construction adapté s'impose pour les appartements et les immeubles de bureau, mais sa mise en œuvre prend du temps (cf. paragraphe 5). Des mesures d'adaptation accroissant la consommation d'électricité semblent dans tous les cas inappropriées, car il est prévisible que le marché européen de l'électricité sera particulièrement sous pression lors de tels étés.

La production des centrales au fil de l'eau sera fortement réduite, étant donné d'une part que la sécheresse régnera et d'autre part que les glaciers moins nombreux et les maigres réserves estivales de neige ne fourniront que peu d'eau de fonte. Les centrales thermiques dont le refroidissement est tributaire de l'eau, comme nos centrales nucléaires par exemple, devront limiter leur production de courant, car elles n'auront d'une part pas assez d'eau de refroidissement à disposition et seront tenues d'autre part d'éviter un réchauffement artificiel excessif des cours d'eau. Par ailleurs, l'électricité éolienne ne sera disponible qu'en quantité très limitée lors d'une situation stable de haute pression au-dessus de l'Europe.

Le tourisme dans les régions de montagne pourrait bénéficier d'un afflux de clients à la recherche de fraîcheur. Nombre de citoyens passeront l'été au bord de l'eau ou à l'air frais des montagnes pour échapper à la chaleur accablante des villes. La chaleur et la sécheresse accroîtront en outre la

probabilité de feux de forêts, ceci non seulement sur le versant sud des Alpes et en Valais, mais, fait nouveau, aussi sur le versant nord.

### **Précipitations plus intenses et hausse des températures**

Le régime des précipitations se modifiera dans toute la Suisse. Selon les modélisations, il pleuvra davantage en hiver et moins en été. La courbe annuelle sera ainsi plus égale. La quantité annuelle moyenne de précipitations devrait diminuer d'environ 5% (soit de 75 mm au nord et 120 mm au sud). Les fluctuations d'année en année et de mois en mois pourront toujours être importantes et se renforcer même en partie. Ce qui signifie que des périodes plus sèches ou plus humides qu'aujourd'hui seront en augmentation. L'intensité des précipitations devrait se renforcer en hiver et probablement aussi en été.

Ainsi, la fréquence des fortes précipitations augmentera surtout en hiver. Les données sont moins univoques pour l'été. Les modélisations montrent que des fortes précipitations, telles qu'elles se produisent aujourd'hui seulement tous les huit à vingt ans, pourraient survenir en moyenne tous les cinq ans d'ici la fin du siècle. Des précipitations plus intenses ne signifient pas automatiquement de plus fortes crues ou des inondations. Le danger de crues pourrait augmenter sur le Plateau et dans le Jura, ainsi que dans les Préalpes au-dessous d'environ 1500 m d'altitude, où l'hiver et le printemps sont aujourd'hui déjà les saisons des hautes eaux. Ceci vaut tout particulièrement aussi pour nos voisins en aval sur le Rhin. L'élévation de la limite moyenne des chutes de neige, conséquence du réchauffement, aura aussi des répercussions sur le régime d'écoulement des cours d'eau et le potentiel de ces derniers en matière de crues.

### **Dangers naturels: éboulements, glissements de terrains et laves torrentielles**

En se retirant, les glaciers laisseront derrière eux de grandes masses de matériaux pierreux meubles. En outre, le sol se réchauffera: le pergélisol notamment dégèlera en partie, si bien que des glissements et de petits et grands éboulements pourront s'y produire. Ces matériaux pierreux meubles s'accumuleront dans des ravins et lits de ruisseaux, d'où ils pourront être entraînés par les crues consécutives à des précipitations plus intenses et tombant déjà à plus

haute altitude sous forme de pluie; ils donneront lieu alors à des laves torrentielles qui pourront descendre jusque dans les vallées et les régions habitées. L'érosion, le charriage et les alluvionnements sont souvent responsables de gros dommages lors des crues. Le potentiel de tels événements augmentera nettement en montagne.

Des sols mouillés sur des pentes raides pourront glisser lors de précipitations intenses. Etant donné qu'à l'avenir il pleuvra davantage en hiver, et éventuellement plus fort et à plus haute altitude, davantage de pentes raides seront concernées, ce qui signifie qu'il y aura aussi des glissements de terrain plus nombreux. Les Préalpes sont particulièrement concernées. Dans l'ensemble, le risque de dommages aux infrastructures, telles que les voies de transport et les installations touristiques, augmentera en montagne. En outre, les êtres humains pourront être touchés aussi dans leur santé, ce qui se manifestera le cas échéant par des blessés et des morts, mais aussi par des atteintes psychiques consécutives à l'augmentation des risques ou à la perte de biens ou de proches.

Cette dynamique accrue pourra faire perdre temporairement leur fonction protectrice à des écosystèmes naturels tels que les forêts. Toutefois,

ces atteintes aux fonctions d'un écosystème ne représenteront en général pas encore un danger fondamental pour l'écosystème lui-même, mais concerneront avant tout la sécurité de l'habitat humain et des voies de transport.

Dans les zones climatiques limites des montagnes notamment, subissant le dégel du pergélisol ou la sécheresse, des chaînes d'action impliquant des invasions de parasites pourront conduire à un affaiblissement des écosystèmes. Une composition en espèces adaptée au site et diverse accroîtra la résistance et de ce fait la sécurité des espaces vitaux humains en montagne.

Des mesures d'adaptation propres à protéger l'être humain impliquent une prévention en profondeur faisant appel à un aménagement du territoire évitant les sites dangereux, à des mesures biologiques telles que l'entretien des forêts et à des ouvrages et mesures techniques de protection. A part la prévention, les mesures organisationnelles avant et immédiatement après l'événement prennent une grande importance. Celles-ci comprennent l'introduction et l'entretien de systèmes d'alarme ainsi que le bon fonctionnement de l'évacuation et de l'aide immédiate.

## 4. Cycle hydrologique et ressources en eau

**En hiver, jusqu'à moyenne altitude, la neige fera plus souvent place à la pluie. Ceci aura des répercussions sur le tourisme d'hiver. De plus, environ 75% de l'eau stockée dans les glaciers disparaîtra. Il faut s'attendre à ce que la concurrence pour l'eau devienne plus vive pendant les périodes de sécheresse. Les modifications prévisibles du régime d'écoulement accroîtront le potentiel de crues, avant tout en hiver et au printemps.**

Les impacts des changements climatiques sur le cycle hydrologique et l'économie des eaux jusqu'en 2050 sont discutés aux chapitres Données fondamentales et Economie des eaux. Les principaux changements sont résumés encore une fois ci-dessous:

En hiver, jusqu'à moyenne altitude, la neige fera plus souvent place à la pluie et la couverture neigeuse diminuera. A haute altitude (à partir de 2000 m environ), où il neigera en général en hiver, la couverture neigeuse deviendra en

revanche plus épaisse du fait de l'augmentation attendue des précipitations.

Les trois quarts des réserves d'eau stockées à long terme dans les glaciers auront probablement disparu en 2050: ce sont environ 40 kilomètres cube d'eau.

L'évaporation – le segment du cycle hydrologique qui entraîne des pertes d'eau – continuera de croître avec la température. En été, des périodes de sécheresse plus fréquentes empêcheront les

réserve d'eau d'augmenter et, dans le cas des glaciers par exemple, contribueront même à accélérer la disparition de la glace. Les ressources en eau disponibles en Suisse diminueront donc dans l'ensemble.

En hiver et au printemps, le débit des cours d'eau, à moyenne et basse altitude notamment, sera plus important. L'intensité des fortes précipitations étant en hausse, le niveau des crues sera plus haut, ceci avant tout sur le Plateau et dans le Jura ainsi que dans les Préalpes au-dessous d'environ 1500 m. Les niveaux des eaux souterraines seront élevés partout. Mais en été et en automne, les débits seront par contre plus faibles en moyenne qu'aujourd'hui. Sur le Plateau et dans le Jura, et en partie aussi en montagne, le débit des cours d'eau sera nettement moins important, ceci avant tout pendant les périodes de sécheresse qui seront plus fréquentes. Les lits de petits cours d'eau pourront se trouver presque ou même entièrement à sec. La baisse du niveau des eaux vers la fin de l'été et en automne sera particulièrement prononcée sur le cours inférieur des grands fleuves et extrême dans les pays voisins situés en aval. L'évolution en matière de crues est incertaine. La combinaison de circonstances météorologiques défavorables pourra conduire en été aussi à des crues de grande ampleur. Mais en général, la nappe phréatique souffrira de la pénurie d'eau, avant tout dans les petits aquifères.

### Conséquences pour différents utilisateurs d'eau

La canicule de 2003 a mis clairement en évidence combien l'utilisation de l'eau est un point sensible en Suisse lors d'un été sec.<sup>2,3</sup> Les changements affectant le cycle hydrologique exercent les impacts suivants sur les différents secteurs considérés:

Dans le secteur de l'énergie, moins d'eau sera à disposition de la production hydroélectrique; la perte pourrait atteindre en moyenne jusqu'à environ 7% de la production actuelle. Cependant, la disponibilité en eau au cours de l'année sera plus égale. Pendant les périodes de sécheresse, l'eau nécessaire à l'industrie ou aux centrales thermiques, nucléaires notamment, pour leur refroidissement (en circuit ouvert) sera disponible en moindre quantité et relativement

chaude. Il faudra donc s'attendre à une diminution de la production d'électricité. Des mesures d'adaptation sont difficiles à définir. Il ne faudrait pas compenser les pertes hydroélectriques par des énergies fossiles, car un mécanisme de rétroaction indésirable du point de vue de la politique climatique serait alors mis en marche, qui saperait les efforts de mitigation.

Dans l'agriculture, la production annuelle potentielle des prairies augmentera sous l'action de changements climatiques modérés, en raison du prolongement de la période de végétation. Cependant, il y aura à l'avenir davantage de situations critiques d'humidité du sol et de sécheresses estivales en Suisse. En maints endroits, l'irrigation deviendra nécessaire. Au vu de la disponibilité en eau limitée pendant les années sèches, la culture d'espèces végétales demandant moins d'eau sera à préférer à l'irrigation.

Parmi les écosystèmes naturels, les bas-marais seront probablement particulièrement sous pression et diminueront de surface du fait d'apports d'eau insuffisants. Aussi le nombre d'espèces devrait y diminuer. D'autres zones humides seront moins touchées. Les surfaces libérées par le recul des glaciers et des champs de neige seront lentement colonisées. De façon générale, la flore et la faune se rapprochera des conditions méditerranéennes. La productivité de la forêt commencera à baisser du fait du manque d'eau. La forêt comme écosystème agissant jusqu'alors comme puits de carbone deviendra de plus en plus souvent et pendant des périodes toujours plus longues une source de carbone. C'est ainsi qu'à long terme moins de carbone sera stocké dans le sol et que par moment les sols en question commenceront à dégager de la substance organique en quantités notables, ce qui aura aussi des impacts sur les mesures de mitigation. Des contre-mesures possibles consisteraient à accroître la surface de forêt et à gérer les peuplements forestiers de manière à favoriser leur fonction de puits de carbone.

La navigation sur le Rhin sera en partie fortement entravée dans sa capacité de transport en été et en automne. Il faudra se rabattre sur des moyens de transport plus chers et consommant davantage

d'énergie, ce qui est en contradiction avec les mesures de mitigation en matière de transports.

Les cours d'eau petits et moyens du Plateau feront l'objet, avant tout pendant les sécheresses, d'une nouvelle situation de concurrence pour l'eau: l'agriculture voudra y pomper de l'eau pour l'irrigation, la demande en eau de refroidissement croîtra, le taux d'exfiltration des cours d'eau augmentera en raison de la baisse du niveau des eaux souterraines, l'adduction d'eau potable devra augmenter ses prélèvements pour faire face à des besoins accrus en eau potable et d'irrigation et des écosystèmes tels que les cours d'eau auront besoin pour survivre d'eau relativement fraîche en quantité suffisante. A part cela, les pays riverains situés en aval des cours d'eau peuvent légitimement prétendre à un approvisionnement en eau suffisant. Il est fort possible que des pays

voisins émettent des prétentions portant sur le niveau des eaux en période de faible débit (gestion des lacs et réservoirs) et sur la livraison de plus grandes quantités d'eau potable.

Des impacts sur la politique de mitigation ont été identifiés dans tous les secteurs. Influencer sur eux est en partie possible, et en partie pas. Des stratégies en accord avec le développement durable doivent être élaborées à cette fin à temps. Des points importants sont de savoir qui a droit à l'eau, et qui paie et combien. Il faut tenir compte à cet égard des consommateurs (irrigation, eau potable), des utilisateurs (eau de refroidissement, production d'énergie hydraulique) et de la nature. La décision de livrer davantage d'eau potable à un Etat voisin est-elle du ressort de cantons isolés ou de la Confédération? Qui négocie avec les Etats riverains au sujet de prétentions portant sur l'ensemble de la gestion des eaux?

## 5. Territoire

**L'aménagement du territoire et le secteur des constructions doivent se préparer aux changements attendus, agir à temps et procéder à des adaptations. Du fait des changements climatiques, les réseaux de transport et les infrastructures seront exposés à des dangers grandissants.**

La structure territoriale de la Suisse détermine les conditions cadres pour la société et leur robustesse ou sensibilité à l'égard de futurs changements climatiques. Les modifications dans le secteur de l'habitat, des bâtiments et des infrastructures sont assujetties à de très grandes échelles de temps (de l'ordre de trente à cent ans). Pour le secteur des constructions et l'aménagement du territoire, cette longue échéance est non seulement un défi spécifique, mais aussi une chance de mettre l'accent dans le sens du développement durable.

### Structure de l'habitat

La structure de l'habitat en Suisse a aujourd'hui déjà le caractère d'une ville-réseau dense. Son développement est déterminé en premier lieu non pas par les changements climatiques, mais par des facteurs tels que la démographie, l'économie et les exigences s'appliquant à la surface urbanisée. Inversement, une orientation écologique de l'urbanisation peut contribuer substantiellement à la réalisation d'objectifs d'adaptation et de

mitigation. Une décentralisation comprise comme création de centres régionaux forts offrant la possibilité de satisfaire des besoins matériels et immatériels à l'échelon régional permet de diminuer les besoins en voies de transport et d'accroître le degré d'auto-alimentation pour des ressources de base telles que l'énergie, les denrées alimentaires et les matériaux de construction.

### Bâtiments

Le confort dans l'habitat et au travail est compromis les jours de grande chaleur dans les bâtiments correspondant au standard actuel sans climatisation. Une bonne isolation de l'enveloppe du bâtiment permet d'abaisser sensiblement non seulement les besoins de chaleur, mais surtout ceux d'énergie de climatisation. Cependant, les accumulations de chaleur dans les locaux, avant tout dans les bâtiments de bureau, seront toujours plus considérables en été, étant donné que la plupart des bâtiments actuels n'évacuent pas suffisamment la chaleur que les personnes, les appareils et l'éclairage dégagent aussi lors

des journées chaudes. Dans le cas des maisons d'habitation, un mode de construction adéquat permet en général de renoncer aux appareils de climatisation. Dans les bureaux, des systèmes de free cooling, combinés p.ex. avec la climatisation solaire, permettent, à moindre consommation d'énergie, de maintenir la température dans les limites nécessaires pour que le travail reste productif. Les besoins en chaleur devraient être couverts sans énergies fossiles, au moyen de pompes à chaleur combinées avec le captage de chaleur solaire. Des sondes géothermiques permettent de rejeter en été les excédents de chaleur de façon efficace dans le sous-sol. Par ailleurs, il faudra protéger les locaux contre le rayonnement solaire direct et l'enveloppe du bâtiment contre les événements météorologiques extrêmes et éviter aussi de construire dans des sites très exposés.

### Réseaux de transport et infrastructures

Du fait des changements climatiques, les réseaux de transport et les infrastructures seront exposés à des dangers grandissants. A mentionner à cet égard, dans les transports ferroviaires, la mise en danger de la stabilité des sillons, les dégâts causés aux lignes de contact par des intempéries ou encore la déformation des voies. Dans ce secteur, comme dans celui du trafic routier, il faudra compter avec des entraves au trafic causées par l'eau, des glissements de terrain et des avalanches. A part les dommages immédiats, les pertes économiques augmenteront dans les régions touchées, de même que les coûts dus à la coupure des voies de communication et aux grands détours qu'il faudra alors faire pour atteindre une destination. A côté des mesures de protection, une importante disposition en matière de mitigation consiste à combattre de façon générale l'augmentation des prestations de transport par habitant, en recherchant pour cela une meilleure coordination avec l'évolution de la structure de l'habitat, ou d'assurer ces prestations par un système efficace de transport multimodal, aussi écologique que possible et produisant un minimum d'émissions. Les précipitations extrêmes ne causeront pas seulement des dommages par le fait des inondations dans les zones manifestement les plus exposées, mais auront aussi des impacts

indirects dus par exemple à de plus fréquents refoulements des égouts.

### Forêt et économie du bois

La forêt remplit de multiples fonctions en Suisse, allant des zones de protection et de la conservation de la biodiversité à la production forestière, en passant par les espaces de détente. Le consensus règne sur le fait qu'il serait judicieux et souhaitable pour une gestion de la forêt compatible avec le développement durable d'exploiter davantage le bois que cela n'est le cas aujourd'hui. Le bois d'énergie peut fournir un apport à l'approvisionnement de la Suisse en électricité et carburants à partir d'énergies indigènes renouvelables. Cette possibilité devrait être exploitée pour accroître le taux d'autosuffisance, la diversification et la sécurité d'approvisionnement du pays. Ceci aurait encore plus de poids du point de vue quantitatif si l'on augmentait simultanément l'efficacité énergétique en général. Le recours à du bois de haute qualité comme matériau de construction et pour l'artisanat permettrait en outre d'éviter une partie des émissions des combustibles fossiles, ce qui aurait quantitativement encore plus d'importance. C'est pourquoi il incombe à l'aménagement du territoire, d'une part de délimiter des zones de protection et de détente, et d'autre part de rendre possible l'exploitation du bois dans le reste des forêts, partout où cela est économiquement et écologiquement judicieux.

### Agriculture

Un rôle important incombe à l'agriculture dans l'aménagement de « l'écosystème suisse » selon les principes du développement durable. La production des denrées alimentaires de base subira en premier lieu l'influence de l'ouverture des marchés, mais aussi celle du changement des conditions climatiques (périodes de sécheresse estivale). Les grandes cultures deviendront plus difficiles, tandis que la production fourragère, importante pour la Suisse, sera avantagée. La culture extensive de plantes énergétiques de deuxième génération, peu exigeantes en matière de sols, engrais et eau, restera une production de niche. La sélection de plantes utiles adaptées au climat prendra une grande importance.

## 6. Changements pour l'être humain

**Les vagues de chaleur plus nombreuses auront une influence négative pour la santé. Il faudra compter en outre, notamment pendant les canicules, avec une diminution notable des performances et de la productivité humaines.**

Quels sont les changements les plus importants pour l'être humain? Quels impacts les changements climatiques auront-ils sur la vie en Suisse en 2050? Sans prétendre à l'exhaustivité, ce paragraphe mentionne quelques-uns des changements prévisibles:

Le climat a une influence sur l'humeur. L'expérience de l'été 2003 a montré que le style de vie de la population suisse devient plus méditerranéen par les journées torrides et les nuits tièdes. Durant la journée, la population voudra toujours plus se tenir à l'ombre ou dans des locaux frais. La vie en plein air se déroulera davantage en soirée. Les personnes aimant l'été en auront d'abord pour leur compte, mais il faut aussi s'attendre à ce que des étés caniculaires toujours plus fréquents soient perçus comme accablants par une part croissante de la population.

Les sports d'hiver devront s'accommoder d'une dégradation des conditions. L'augmentation simultanée des précipitations et des températures implique qu'il pleuvra davantage sur le Plateau. La pratique régulière des sports d'hiver ne sera encore possible que dans des régions de haute altitude. Les infrastructures coûteuses et la longueur des trajets feront du surf des neiges et du ski des plaisirs encore plus onéreux.

A partir d'une certaine température, les performances sont entravées. Il faudra donc s'attendre à une diminution notable des performances humaines et

donc de la productivité économique lors des canicules. Le monde du travail s'adaptera à l'augmentation des vagues de chaleur. Dans le secteur des services, on travaillera probablement toujours plus dans des bureaux climatisés. Peut-être faudra-t-il interrompre le travail en plein air lors des grandes chaleurs du milieu de la journée (sieste). Nombre d'entreprises pourraient fixer les vacances annuelles en été et s'efforcer de déplacer certains travaux vers des périodes plus fraîches.

L'augmentation des vagues de chaleur aura des effets négatifs sur la santé. Mais la hausse des températures favorisera aussi les maladies transmises par des denrées alimentaires. Cela concernera avant tout les individus atteints dans leur santé physique et mentale, les personnes âgées, les malades chroniques ainsi que les économiquement faibles.

Nombre d'anciens logements (dans les immeubles à toit plat des années 1970) n'ont pas la qualité requise pour faire face, pendant les mois d'été, aux effets du réchauffement et à des canicules plus fréquentes et plus intenses. La demande de logements modernes offrant un bon confort et un climat intérieur agréable augmentera. Les personnes habitant dans d'anciens immeubles seront toujours plus nombreuses à s'équiper d'appareils de climatisation mobiles, ce qui fera monter la consommation d'électricité. En même temps, la hausse des prix de l'énergie et des pénuries d'eau locales et temporaires inciteront à un usage économe des ressources.

## 7. Remarques finales

**La plupart des changements décrits dans le présent rapport semblent au premier abord peu spectaculaires et sans grande importance. Ceci ne doit pas masquer le fait que nombre de ces changements doivent être examinés de près pour révéler leur véritable ampleur, qu'ils s'additionnent, sont en partie irréversibles et ne constituent que des signes avant-coureurs de changements encore à venir. De plus, ils ne représentent pas un état stable, mais seulement un instantané dans une évolution qui se poursuit vers des changements beaucoup plus drastiques.**

Du fait de son inertie, le climat ne change en général que lentement. Les effets retardés ne sont pas encore manifestes, ne font encore que s'ébaucher. Un exemple illustratif est l'écoulement dans

des bassins versants où la fonte estivale des glaciers joue aujourd'hui un rôle déterminant. A moyen terme, l'écoulement s'amplifiera en raison de la fonte accélérée des glaciers, en dépit de pré-

cipitations en baisse en été. Mais dans la seconde moitié de ce siècle, de nombreux glaciers petits et moyens auront déjà disparu, si bien que certaines vallées et bassins versants seront totalement privés d'eau de glaciers. Combinée avec la baisse des précipitations d'été, cette évolution conduira à une diminution substantielle des débits en été. Un été 2050 avec les mêmes températures que celui de 2003 entraînerait une pénurie d'eau bien plus grave que cela ne fut le cas en 2003. Sans protection efficace du climat, la plupart des grands glaciers fondront aussi vers la fin de ce siècle, si bien que même le „château d'eau de l'Europe" souffrira régulièrement du manque d'eau.

La Suisse possède une longue tradition d'adaptation aux dangers naturels. Les inondations, glissements de terrain et éboulements ont modelé notre paysage et influencé notre comportement à son égard. Au cours des siècles, nous nous sommes établis dans les vallées et le long des cours d'eau là où la menace est la plus faible. Des ouvrages de protection ont été édifiés pour mettre l'habitat et les voies de communication à l'abri des crues, des chutes de pierres et des avalanches. La situa-

tion en matière de dangers, stable en apparence, évoluera avec les changements climatiques. Aussi faudra-t-il la réexaminer périodiquement dans les zones urbanisées et le long des voies de communication, tout particulièrement en montagne.

Notre pays disposera à l'avenir aussi des moyens financiers et du savoir-faire technologique pour s'adapter aux nouvelles conditions pour autant que les changements de ces dernières ne dépassent pas une certaine ampleur. Ces coûts d'adaptation croîtront au cours des années à venir. Nous pouvons à cet égard choisir différentes stratégies et il importera d'examiner ces diverses possibilités sur l'arrière-plan de l'ensemble des impacts. Une stratégie à long terme, laquelle inclue des objectifs de protection du climat (par des réductions d'émissions) aussi bien que d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques et de protection contre des dangers naturels en changement, est indispensable pour mener une politique climatique cohérente.

La Suisse sera aussi touchée par les impacts globaux des changements climatiques. D'une

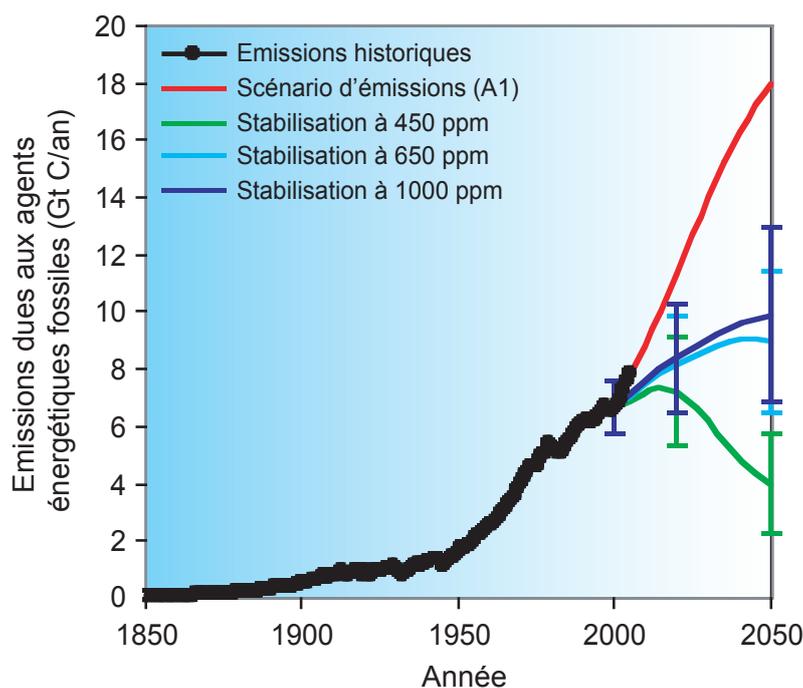


Figure 1: Evolution des émissions selon différents scénarios. A1 décrit approximativement la croissance rapide de l'économie mondiale actuelle recourant à un ensemble mixte de sources d'énergie. La température continue de monter très rapidement pendant des siècles. Les autres scénarios partent d'une stabilisation des gaz à effet de serre à 450 ppm, 650 ppm et 1000 ppm; les hausses de températures sont respectivement d'environ 2°C, >3°C et >5°C (concentration préindustrielle de CO<sub>2</sub>: ~280 ppm). (Source: M.R. Raupach, 2006<sup>4</sup>)

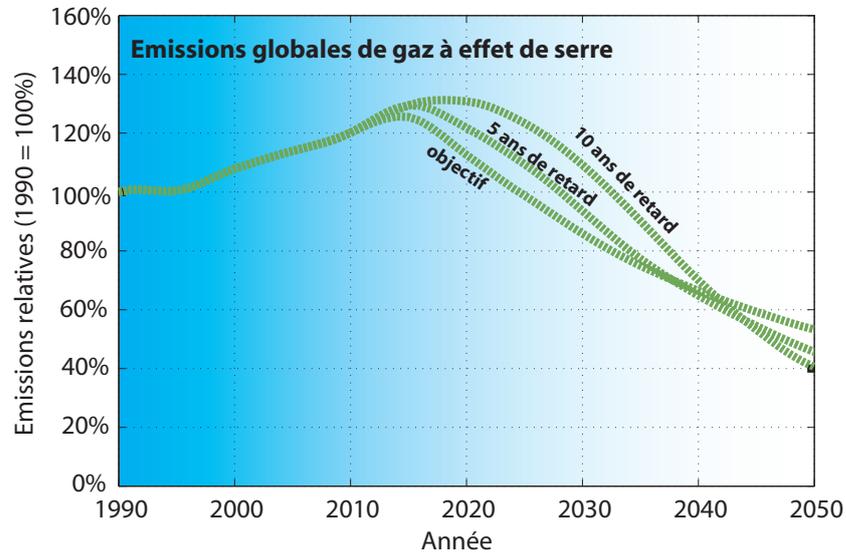


Figure 2: La stabilisation de la température globale à +2°C (jusqu'en 2100) requiert une réduction des émissions globales de gaz à effet de serre de 50% (par rapport à 1990) jusqu'en 2050. Il y a donc tout lieu d'agir sans plus attendre. Si l'on tarde à appliquer les mesures de réduction, il faudra ensuite abaisser davantage et plus rapidement les émissions pour atteindre l'objectif. Les taux de réduction annuels devront être augmentés d'env. 1% par cinq ans de retard dans la mise en œuvre des mesures de réduction. [Source: von Meinhausen et al.<sup>5</sup> et den Elzen & Meinhausen,<sup>6</sup> modifié].

part, nous sommes directement concernés du fait de nos relations commerciales et de notre dépendance à l'égard de fournisseurs de matières premières dans les différentes régions du monde, où les dommages dus au climat seront en partie lourds de conséquences. D'autre part, notre pays est concerné en tant que partie intégrante du système économique mondial qui pourrait subir des dommages considérables. Des études internationales (p.ex. Stern Review)<sup>7</sup> estiment les dommages économiques des changements climatiques jusqu'en 2100 à 3–20% du PIB global. Des dommages de cette ampleur déstabiliseraient le système économique global. Ceci conduirait probablement aussi à des bouleversements sociaux, à d'énormes flux migratoires et à des conflits géopolitiques (entre autres concernant l'eau), qui pourraient aussi toucher la Suisse de façon sensible.

La seule possibilité de limiter durablement l'ampleur des impacts relatifs au climat consiste à combattre le problème à la source, c'est-à-dire au niveau des changements climatiques. A cet égard, la communauté internationale s'efforce de faire un premier pas vers un avenir climatique plus favorable avec le Protocole de Kyoto. Cependant, il était évident dès le début et il apparaît maintenant tout à fait clairement que ces efforts ne vont

pas assez loin. Les émissions globales croissent actuellement de 3.2% par an et évoluent selon le scénario A1 (figure 1, ensemble mixte d'énergies fossiles). Malheureusement, il y a peu d'indices d'un véritable tournant vers une amélioration de la politique climatique. Or des progrès en la matière sont nécessaires et urgents, s'il s'agit d'atteindre un objectif de stabilisation selon la convention des Nations Unies sur le climat de 1992, lequel vise à empêcher des perturbations anthropiques dangereuses du système climatique. Plus tôt on agira, plus faibles seront les impacts sur le système climatique et l'économie globale auxquels il faudra faire face. Mais si les mesures d'atténuation des émissions sont remises à plus tard, les réductions nécessaires devront être réalisées en un temps plus court. De plus, il faudra alors compenser d'énormes dommages. Ceci pourrait devenir alors une tâche insoluble, étant donné que l'économie devrait opérer, en un laps de temps très bref, une conversion vers des moyens de production à faibles émissions. La figure 2 montre clairement cet état de chose.

Il reste donc à espérer que tant au niveau national qu'international les décideurs politiques et économiques reconnaîtront toute l'ampleur du problème et parviendront à une action concertée

efficace. Dans quelle mesure des considérations économiques joueront un rôle à cet égard, ou si des aspects éthiques seront également pris en compte, est une question ouverte à laquelle on répondra différemment selon le point de vue adopté. Mais que le sentiment de responsabilité à l'égard de l'être humain et de l'environnement

doit, aujourd'hui et à l'avenir, prendre une place plus centrale dans nos actes est universellement reconnu sous la forme du principe de précaution; c'est là un aspect essentiel en matière de protection du climat. Ce n'est qu'en faisant preuve de prévoyance que nous réagirons à temps et de façon appropriée aux changements climatiques.

## Bibliographie et notes

- 1 OcCC (Hg.). *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, 2003.
- 2 BUWAL (Hg.). *Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer*. Bern, 2004.
- 3 ProClim (Hg.). *Hitzesommer 2003 – Synthesebericht*. Bern, 2005.
- 4 M.R. Raupach. UNESCO-SCOPE: The Global Carbon Cycle. UNESCO-SCOPE Policy Briefs, Oct. 2006. No.2, Paris.
- 5 M. Meinhausen, B. Hare, T.M.L. Wigley, D. van Vuuren, M.G.J. den Elzen, and R. Swart. Multi-gas emissions pathways to meet climate targets. In: *Climatic Change*, 75(1-2), 2006, 151–194.
- 6 M. den Elzen, M. Meinhausen. Multi-gas emission pathways for the EU 2°C Climate target. In: H.J. Schellnhuber (Hg.). *Avoiding dangerous climatic change*. Cambridge University Press, 2006. 299–311.
- 7 *The Economics of Climate Change – The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007.

## Les auteurs de la synthèse

### Les membres de l'OcCC

Kathy Riklin (présidente; Conseillère nationale, Zurich)  
Charlotte Braun-Fahrländer; Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Université de Bâle  
Lucas Bretschger, Institut für Wirtschaftsforschung, EPF de Zurich  
Thomas Bürki, Energie Ökologie Politikberatung, Bengelen  
Andreas Fischlin, Institut für Terrestrische Ökologie, EPF de Zurich  
Pamela Heck, Swiss Re, Dangers naturels, Zurich  
Gabi Hildesheimer, Ökologisch bewusste Unternehmen, Zurich  
Ruth Kaufmann-Hayoz, Centre interfacultaire pour l'écologie générale, Université de Berne  
Christian Körner, Botanisches Institut, Université de Bâle  
Hansruedi Müller, Institut de recherche sur les loisirs et le tourisme, Université de Berne  
Ulrich Niederer, UBS Global Asset Management, Zurich  
Christian Pfister, Institut d'histoire, Université de Berne  
Christoph Schär, Atmospheric and Climate Science, EPF de Zurich  
Thomas Stocker, Institut de physique, Université de Berne  
Hubert van den Bergh, Institut des sciences et technologies de l'environnement, EPF de Lausanne  
Heinz Wanner, Institut de géographie, Université de Berne  
Alexander Wokaun, Energie non-nucléaire, PSI Villigen

### Experts avec voix consultative

Roger Biedermann, Conférence des chefs de service et offices de protection de l'environnement en Suisse, Schaffhouse  
Reto Burkard, Office fédéral de l'agriculture, Berne  
Claudia Guggisberg, Office fédéral du développement territorial, Berne  
Lukas Gutzwiller, Office fédéral de l'énergie, Berne  
Bernd Hägele, Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche, Berne  
Anton Hilber, Direction du développement et de la coopération, Berne  
Daniel K. Keuerleber-Burk, MétéoSuisse, Zurich  
Christian Preiswerk, Académie suisse des sciences naturelles, Berne  
José Romero, Office fédéral de l'environnement, Berne  
Thomas Roth, Secrétariat d'Etat à l'économie, Berne  
Bruno Schädler, Office fédéral de l'environnement, Berne  
Ursula Ulrich-Vögtlin, Office fédéral de la santé publique, Berne

### Secrétariats

Roland Hohmann, OcCC, Berne  
Christoph Ritz, ProClim-, Académie suisse des sciences naturelles, Berne  
Christoph Kull, OcCC, Berne



# Impressum

## Direction du projet

Roland Hohmann

## Rédaction

Roland Hohmann, Esther Thalmann, Gabriele Müller-Ferch, Urs Neu, Christoph Ritz, Christoph Kull

## Mise en page

Esther Thalmann

## Lectrice

Barbara Maey, Zurich; Chantal Kunz-Bagros, Riedholz

## Traduction française

Jean-Jacques Daetwyler, Sciencepress, Berne

Langue de l'édition originale: allemand

## Experts

Reto Burkard	Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne
Jürg Beer	Eaux de surface, SURF, EAWAG, Dübendorf
Michael Kreuzer	Institut für Nutztierwissenschaften, EPF de Zurich
Nino Künzli	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Université de Bâle, Bâle
Conradin Burga	Geographisches Institut, Université de Zurich, Zurich
Matthias Finger	Collège du management de la technologie, EPFL Lausanne
Martin Schnebeli	Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, Davos
Michael Sturm	Eaux de surface, SURF, EAWAG, Dübendorf
Fortunat Joos	Physikalisches Institut, Université de Berne, Berne
Hans Rudolf Keusen	Geotest AG, Zollikofen
Christoph Hegg	Dangers naturels, WSL, Birmensdorf
Rita Gosh	Evaluation des biotopes, WSL, Birmensdorf
Martin Grosjean	PRN Climat, Université de Berne, Berne
Marco Baumann	Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld
Roman Zweifel	Ecosystèmes forestiers, WSL, Birmensdorf
Martine Rebetez	Ecosystèmes forestiers et risques écologiques, WSL Antenne Romande, Lausanne
Martin Kamber	Union intercantonale de réassurance, Berne
Thomas Jankowski	Ressources en eaux et eau potable, EAWAG, Dübendorf
Michel Rossi	Institut des sciences et technologies de l'environnement, EPFL, Lausanne
Werner Eugster	Institut für Pflanzenwissenschaften, EPF de Zurich, Zurich
Angelo Bernasconi	Dipartimento Ambiente Costruzioni e Design, SUPSI, Canobbio
Peter Hofer	Département Mobilité, énergie et environnement, EMPA, Dübendorf
Fred Baumgartner	Section Urbanisation et paysage, ARE, Berne
Leonardo Barreto	Analyse des systèmes énergétiques, PSI, Villigen
Monika Frehner	ingénieure forestière, Sargans
Reto Knutti	Climate and Global Dynamics, NCAR, Boulder, USA
Michele Baettig	Institut für Biogeochemie u. Schadstoffdynamik, EPF de Zurich
Sabine Perch-Nielsen	Institut für Biogeochemie u. Schadstoffdynamik, EPF de Zurich
Katrin Frese	Reinsurance Analytics, Group Reinsurance, Zurich Financial Services, Zurich
Alfred Baumgartner	architecte REG A/SIA, Schinznach-Bad
Thomas Egli	Egli Engineering, Saint-Gall

## Impression

Vögeli AG Druckzentrum, 3550 Langnau

## Sources des illustrations

### Pages de titre des chapitres

Page 11	Données fondamentales	modifié d'après: Wigley et S. C. B. Raper, 2001: Interpretation of High Projections for Global-Mean Warming, Science 293; pp.451-454
Page 25	Ecosystèmes terrestres	Botanisches Institut, Université de Bâle
Page 41	Agriculture	Christoph Kull, OcCC, Berne
Page 55	Economie des eaux	Christoph Kull, OcCC, Berne
Page 67	Santé	<a href="http://www.bigfoto.com">www.bigfoto.com</a>
Page 79	Tourisme	Christoph Kull, OcCC, Berne
Page 95	Energie	Christoph Kull, OcCC, Berne
Page 109	Constructions et infrastructures	Christoph Ritz, ProClim-, Berne
Page 123	La Suisse urbaine	Mark Michaeli, Institut für Städtebau, EPF de Zurich
Page 137	Assurances	Christoph Kull, OcCC, Berne

