

# Systeme National d'Observation du Climat

Global Climate Observing System – GCOS Suisse

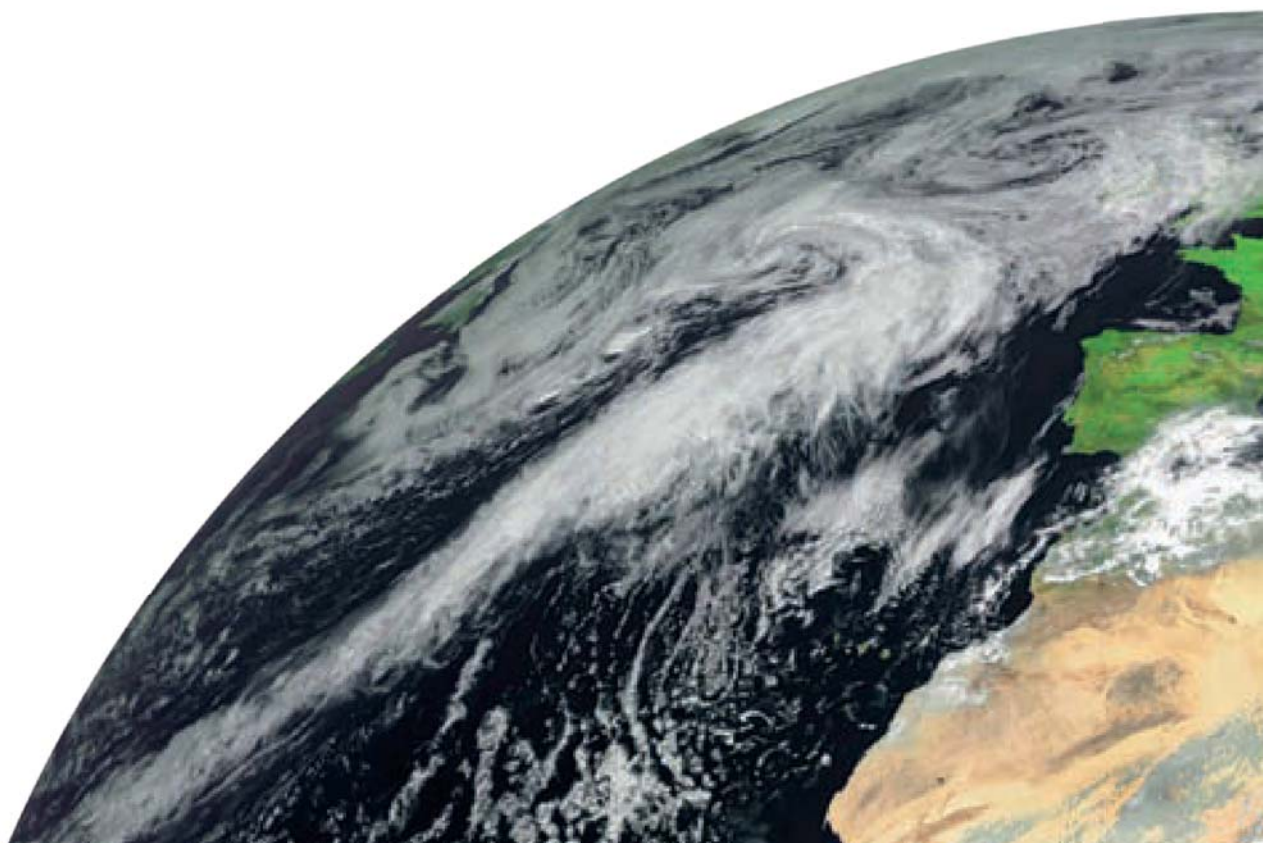


Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI  
Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse

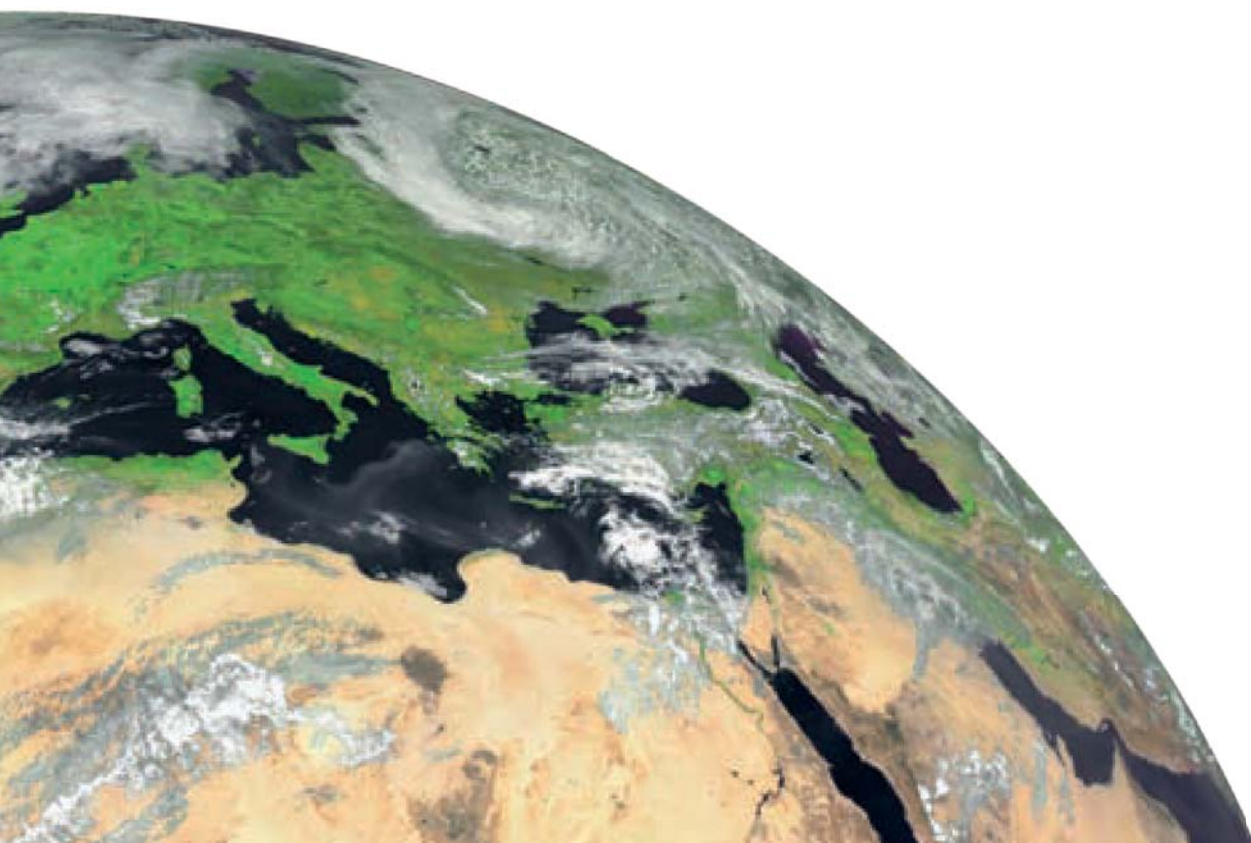
sc | nat 

ProClim–  
Forum for Climate and Global Change  
Forum of the Swiss Academy of Sciences



# Systeme National d'Observation du Climat

Global Climate Observing System – GCOS Suisse



## **Impressum**

### **Éditeur**

Swiss GCOS Office  
Gabriela Seiz, Nando Foppa

Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse  
Krähbühlstrasse 58  
CH-8044 Zurich

<http://www.gcos.ch>

### **Proposition de citation**

Seiz, G., Foppa, N., 2007. Système national d'observation du climat (GCOS Suisse),  
Publication de MétéoSuisse et de ProClim, 92 p.

### **Conception et réalisation**

BBG Werbung AG, Thalwil

### **Impression**

Schellenberg Druck AG, Pfäffikon ZH

### **Traduction**

Bernard Clot, Martine Collaud Coen, Jean-Jacques Daetwyler, Gérard Decrouy, Erika Guyard,  
Pierre Jeannet, Stéphane Rigault, Lise Scherrer, René Stübi, Laurent Vuilleumier

© MétéoSuisse, octobre 2007


# Préface

Les relevés de données scientifiques ont besoin de continuité. Il n'est pas possible de déceler des tendances et développements à partir d'un instantané. Ainsi, c'est seulement grâce à des mesures régulières et standardisées de différentes grandeurs environnementales que l'on peut se prononcer de façon fondée sur l'évolution de notre climat. Le 4<sup>e</sup> Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) montre de façon saisissante que les principaux résultats et conclusions, au sujet de l'état de notre climat, ne peuvent être obtenus que si l'on ordonne correctement dans le temps les changements. Si, dans l'évolution des cinquante dernières années, nous ne pouvions pas situer sans lacunes les concentrations élevées actuelles de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ou le recul dramatique des glaciers alpins, alors les véritables relations de ce système complexe nous resteraient cachées.

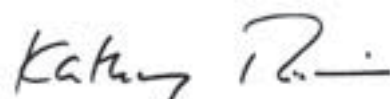
Dans un milieu dont les changements sont déterminants pour la vie, les observations systématiques sont une tradition. C'est ainsi que la Suisse dispose de nombreuses longues séries temporelles qui font partie aujourd'hui des informations de base sur le système climatique et sont utilisées tant par les scientifiques que par les autorités. La compétence que ce travail a permis de constituer fait de la Suisse un partenaire important dans les programmes internationaux d'observation du climat.

Ce rapport met à disposition, pour une première fois, une ample information sur les variables climatiques qui sont mesurées depuis de nombreuses années en Suisse. Il constitue ainsi un point de départ pour formuler une stratégie financière et législative, ce qui doit permettre d'assurer l'avenir de ce système national d'observation du climat.

Berne, en octobre 2007



Thomas Stocker  
Président de ProClim



Kathy Riklin  
Présidente de l'OcCC





# Summary

Switzerland has a long tradition of climate observation. Temperature and precipitation series of more than 150 years, the world's longest total ozone series, glacier measurements dating back to the end of the 19<sup>th</sup> century and the 100-year anniversary of the Physical Meteorological Observatory Davos are only a few of the highlights of Switzerland's contribution to global and regional climate monitoring.

The value of Swiss climate measurement series lies in their long-term continuity, systematic acquisition and remarkable quality. It should be borne in mind that if measurement series are interrupted, the loss of continuity is irrevocable. This report, prepared by the Swiss GCOS Office at the Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, provides, for the first time, a comprehensive overview of the most valuable long series of essential climate variables. For each variable, the report identifies any gaps regarding the legal basis, definition of responsibilities or availability of financial resources for the continuation of observations.

There is a clear need for action with regard to the cryosphere observations (glaciers, permafrost, snow): there is no legal basis and consequently, the funding of measurement series is not assured in the long term. In addition, funding is required for the CO<sub>2</sub> measurement series on the Jungfraujoch, for observations of lakes and phenology, and for three international data centres in Switzerland. The presented long-term measurement series of the National Climate Observing System (GCOS Switzerland) are crucial to our understanding of climate change, and for the planning and implementation of appropriate measures.

La Suisse a une longue tradition en matière d'observation du climat. Des séries de plus de 150 ans de mesures de la température et des précipitations, la plus longue série de l'ozone total dans le monde, des mesures glaciologiques depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle et cent ans d'activité de l'Observatoire physico-météorologique de Davos ne sont que quelques-uns des grands jalons de la contribution suisse au monitoring mondial et régional du climat.

La grande valeur des séries suisses de mesure climatiques tient à leur continuité, à des relevés systématiques et à une remarquable qualité. L'interruption de telles séries est donc irrévocable. Par ce rapport, le Swiss GCOS Office à l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse donne pour la première fois un large aperçu des plus précieuses des longues séries de variables climatiques essentielles. Cette synthèse examine pour chacune d'elles si des bases légales, des compétences ou des ressources financières font défaut pour assurer leur continuation.

Des dispositions sont requises notamment pour l'observation de la cryosphère (glaciers, pergélisol, neige): il n'existe aucune base légale à ce sujet, ainsi le financement de ces séries de mesure n'est-il pas assuré à long terme. Un besoin de financement existe aussi pour la série de mesure du CO<sub>2</sub> au Jungfraujoch, pour des séries d'observation des lacs et de la phénologie, ainsi que pour trois centres internationaux de données en Suisse. Les longues séries de mesure du système national d'observation du climat (GCOS Suisse) ici présentées, sont primordiales pour la compréhension du changement climatique et pour la planification et réalisation de mesures adéquates.

# Table des matières



## 1 Introduction 6 – 11

Situation de départ	6
Motivation	10
Procédure	11
Structure	11



## 2 Observations atmosphériques 12 – 39

Mesures au sol		
2.1	Température	12
2.2	Précipitations	14
2.3	Pression de l'air	16
2.4	Durée d'insolation	18
2.5	Rayonnement	20

Atmosphère libre		
2.6	Nuages	22
2.7	Vapeur d'eau	24

Composition de l'atmosphère		
2.8	Ozone	26
2.9	Dioxyde de carbone	30
2.10	Gaz à effet de serre	32
2.11	Polluants	34
2.12	Aérosols	36
2.13	Pollen	38



## 3 Observations terrestres 40 – 67

Hydrosphère		
3.1	Écoulement	40
3.2	Lacs	42
3.3	Eaux souterraines	44
3.4	Utilisation de l'eau	46
3.5	Isotopes	48

Cryosphère		
3.6	Couverture neigeuse	50
3.7	Glaciers	54
3.8	Pergélisol	58

Biosphère		
3.9	Utilisation du sol	60
3.10	Écosystème forestier	62
3.11	Feux de forêt	64
3.12	Phénologie	66





## 4 Centres internationaux 68 – 75

4.1	GEBA	68
4.2	BSRN	70
4.3	WGMS	72
4.4	Autres centres	74



## 5 Séries de mesure à l'étranger 76 – 79

Ozone (Kenya)	77
Gaz traces (Kenya, Indonésie, Algérie)	78
Glaciers	79



## 6 Conclusions et perspectives 80 – 92

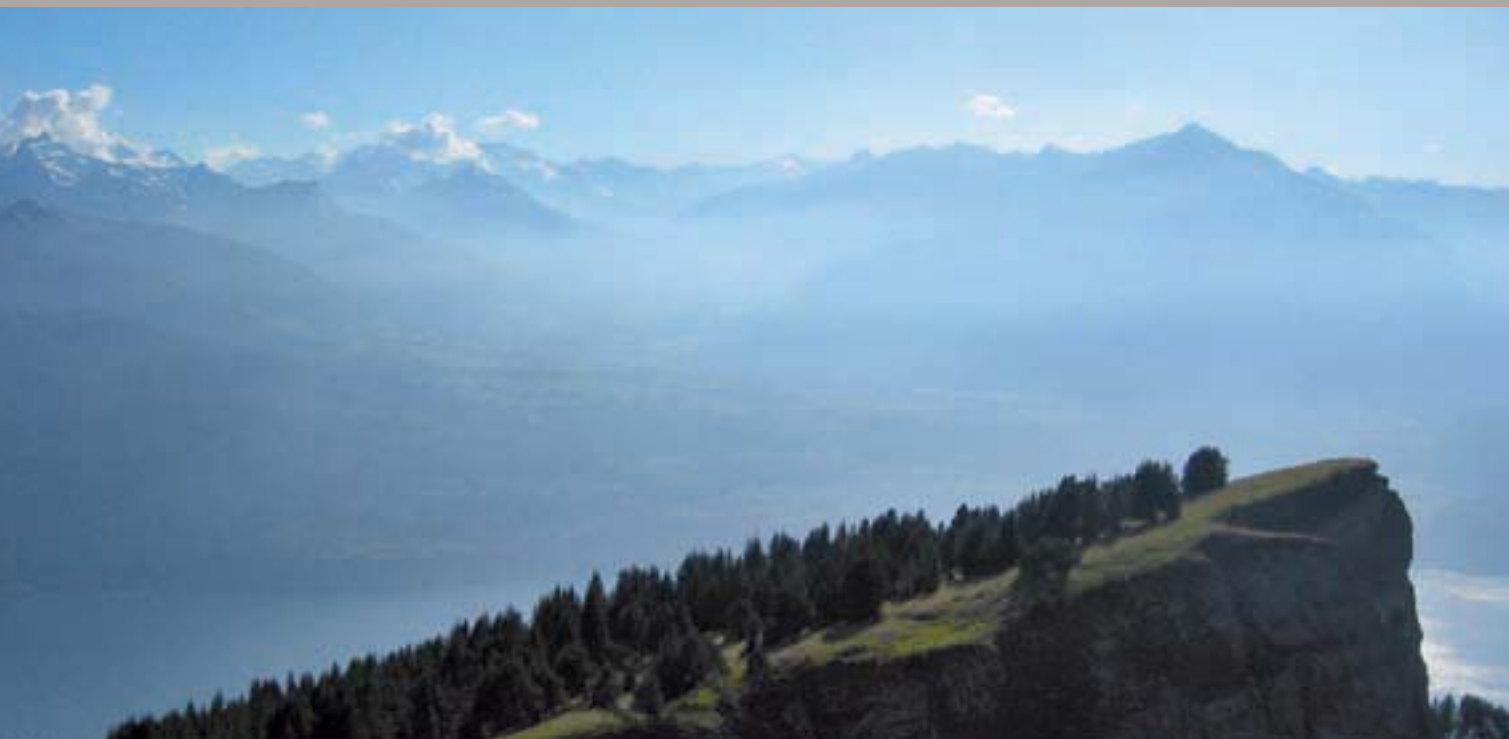
Conclusions	80
Perspectives	83

### Annexe

Auteurs et lectorat	84
Bibliographie	86
Photos	90
Abréviations	92

# 1.0 Introduction

L'observation du climat et de ses changements pendant les décennies passées a fortement gagné en importance, surtout depuis l'approbation, en 1992, de la Convention sur le climat. Des séries de mesure de longue durée et de haute qualité sont nécessaires pour se prononcer sur les changements climatiques, l'influence anthropique et les futurs scénarios climatiques.

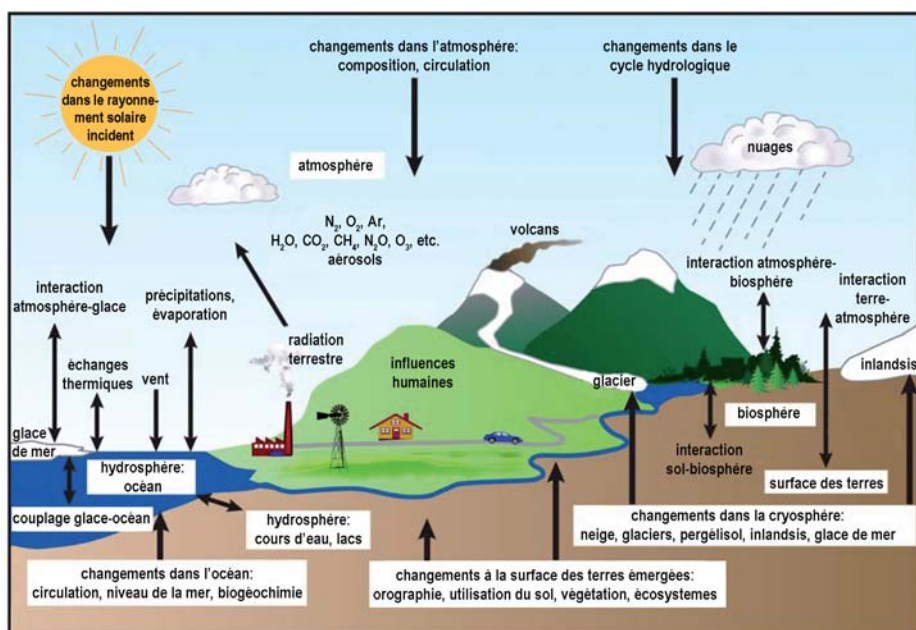


## Situation de départ

Le 4<sup>e</sup> rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) résume l'état des connaissances sur les changements climatiques et ses impacts dans le monde (GIEC, 2007). A cet égard, la Suisse est touchée plus fortement par les changements climatiques que la moyenne internationale. Selon le rapport « Les changements climatiques et la Suisse en 2050 » (OcCC, 2007), il faut compter d'ici 2050 en Suisse avec un réchauffement d'environ 2°C en automne,

hiver et printemps et de presque 3°C en été. L'estimation en matière de précipitations prévoit une augmentation de 10% en hiver et une diminution de 20% en été. Par ailleurs, il faut s'attendre à davantage de précipitations extrêmes, surtout en hiver, ce qui peut conduire dans certaines régions à des crues et laves torrentielles plus fréquentes. Les changements climatiques constituent ainsi un défi considérable dans le présent et le futur.

## Le système climatique



Le système climatique et ses composants (d'après le GIEC, 2007).

Depuis le précédent rapport du GIEC, en 2001, la recherche a fait beaucoup de progrès dans la compréhension du système climatique, des changements climatiques actuels et de leurs impacts sur l'être humain et la nature. Une part considérable de cette évolution de la compréhension scientifique tient à une amélioration substantielle de la base de données.

L'avantage de la combinaison d'observations du climat et de recherches/modélisations climatiques a été reconnu par le GIEC dès le début de ses travaux dans les années 1980. Ceci a conduit à l'établissement du Système Mondial d'Observation du Climat (SMOC ; Global Climate Observing System GCOS), en relation avec l'approbation, en 1992, de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Sous le titre « Observation

systématique », les exigences et objectifs de l'observation systématique sont ancrés à l'article 5 de ladite convention et à l'article 10d du Protocole de Kyoto, lequel est fondé sur cette dernière.

Le SMOC est une initiative commune de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), de la Commission océanographique de l'UNESCO, du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et du Conseil international pour la science (ICSU). Le SMOC doit veiller à la saisie systématique des observations et informations climatiques utiles et à leur mise à disposition de tous les utilisateurs potentiels. Les activités du SMOC portent sur l'ensemble du système climatique : les propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'atmosphère, de l'océan et des terres émergées (voir la figure).

Les résultats tirés des séries d'observations climatiques effectuées dans le cadre du SMOC constituent une base importante pour les travaux de synthèse des experts internationaux du climat (p.ex. les rapports du GIEC et les « Ozone Assessment Reports » de l'OMM). Le 4<sup>e</sup> Rapport du GIEC mentionne plusieurs travaux se référant à des séries suisses d'observation du climat, concernant entre autres les précipitations (Schmidli et Frei, 2005), le rayonnement (Philipona et al., 2005; Wild et al., 2005), la neige (Scherrer et al., 2004), les glaciers (Zemp et al., 2005), le pergélisol (Vonder Mühll et al., 2004) et la phénologie (Defila et Clot, 2001).

Selon le 2<sup>e</sup> rapport sur l'adéquation du SMOC (OMM, 2003), le système mondial d'observation du climat doit remplir les exigences scientifiques suivantes:

**a) décrire l'état du système climatique planétaire et sa variabilité.**

À cet égard, la précision, l'homogénéité et la continuité des séries de mesure ont une haute priorité, afin que les signaux climatiques ne soient pas masqués par des perturbations, dues par exemple aux modifications des conditions de mesure au cours des ans. La caractérisation du système climatique nécessite un ensemble de variables observées et mesurées simultanément.

**b) suivre de près le forçage du système climatique, qu'il soit d'origine naturelle ou anthropique.**

Durant des siècles, les variations du rayonnement solaire et les aérosols volcaniques étaient les paramètres naturels déterminants à la base de la variabilité du climat, à distinguer des causes anthropiques, telles que les gaz à effet de serre, les aérosols et les changements d'utilisation du territoire.

**c) corroborer les hypothèses concernant les causes des changements climatiques.**

En complément aux observations systématiques des grandeurs décrites sous (a) et (b), caractérisant l'état et la dynamique du système climatique, il faut des modèles appropriés permettant d'établir des relations entre les changements attendus des variables d'état et l'influence des grandeurs dynamiques.

**d) étayer la prévision des changements climatiques planétaires.**

Les prévisions ne devraient pas considérer seulement les grandeurs dynamiques selon (b) et leur histoire, mais aussi l'état momentané du système climatique. Les longues séries d'observations climatiques jouent aussi un rôle essentiel dans l'étalonnage et la validation de modèles du climat.

**e) réduire aux échelles continentales et nationales les prévisions climatiques mondiales.**

Ceci est d'autant plus important que les impacts se produiront et les mesures d'adaptation se prendront avant tout à l'échelon national et local. De longues séries d'observation sont essentielles pour développer des modèles climatiques régionaux et comprendre le mode d'action du climat et de ses variations sur les systèmes naturels (p.ex. les glaciers, les écoulements, les écosystèmes). Il existe donc un besoin spécifique de données locales des variables d'état selon (a) et de densification des mesures mondiales au niveau national.

**f) définir les caractéristiques des phénomènes extrêmes et évaluer les risques et la vulnérabilité.**

Les données mesurées caractérisant les événements extrêmes (p.ex. les crues, les tempêtes, les canicules) sont particulièrement importantes pour analyser les impacts, fixer des directives et élaborer des stratégies d'adaptation.

Pour pouvoir remplir ces tâches, le SMOC a défini un choix de variables climatiques essentielles (tableau 1). À part les exigences scientifiques, ce choix prend aussi en considération la mesurabilité des variables climatiques au niveau mondial. Cependant, pour comprendre le système climatique dans son ensemble et ses interactions, d'autres variables sont également importantes, qui n'étaient pas encore disponibles comme mesures systématiques sur le plan mondial lors du choix arrêté en 2003. En conséquence, il peut y avoir des variables climatiques importantes qui font déjà l'objet de mesures systématiques en Suisse et que l'on devrait inclure dans le système national d'observation du climat (GCOS Suisse).

Les réseaux de mesure mondiaux du SMOC ne peuvent pas, à eux seuls, satisfaire aux exigences décrites plus haut. Une densification des réseaux opérationnels d'observation du climat doit être réalisée par une coordination au niveau continental et surtout national. Ceci a été retenu dans le plan d'exécution correspondant du SMOC (OMM, 2004). L'exploitation des réseaux continentaux et nationaux d'observation du climat devrait autant

que possible correspondre aux principes de surveillance du climat du SMOC (tableau 2). Il convient d'accorder à cet égard une attention particulière aux métadonnées (principe #3), à l'assurance de qualité (#4) et à l'archivage des données (#10). Il existe en outre plusieurs anciennes séries de mesure qui ne sont pas encore sous forme numérique et devraient être encore digitalisées pour prolonger les séries de mesure les plus significatives.

Domaine		Variables climatologiques essentielles
Atmosphérique	Mesures au sol	Température de l'air, précipitations, pression atmosphérique, bilan du rayonnement en surface, vitesse et direction du vent, vapeur d'eau
	Atmosphère libre	Bilan radiatif de la Terre, température en altitude, vitesse et direction du vent, vapeur d'eau, nuages
	Composition	Dioxyde de carbone, méthane, ozone, autres gaz à effet de serre, aérosols, <i>pollen</i>
Océanique	Variables de surface	Température de surface de la mer, salinité, niveau de la mer, état de la mer, glaces de mer, courants, activité biologique, pression partielle en CO <sub>2</sub>
	Variables sub-superficielles	Température, salinité, courants, nutriments, carbone, traceurs océaniques, phytoplancton
Terrestre		Écoulement, lacs, eaux souterraines, utilisation de l'eau, <i>isotopes</i> , couverture neigeuse, glaciers et calottes glaciaires, pergélisol, albédo, couverture terrestre (y compris le type de végétation), indice de surface foliaire, activité photosynthétique, biomasse, perturbation par le feu, <i>phénologie</i>

Tableau 1. Variables climatologiques essentielles d'après le 2<sup>e</sup> rapport sur l'adéquation des systèmes mondiaux d'observation du climat dans le contexte de la CCNUCC (OMM, 2003). En outre, des variables significatives pour la Suisse sont comprises (italique).

La Suisse a une longue tradition en matière d'observation du climat. Des institutions suisses ont instauré des programmes systématiques d'observation qui constituent une contribution notable au système mondial d'observation du climat. Les plus importantes de ces observations systématiques ont trait au climat à proximité du sol et dans les couches supérieures de l'atmosphère, au bilan radiatif, aux gaz traces et aérosols dans l'atmosphère, à l'hydrologie, à la neige, aux glaciers et au pergélisol, ainsi qu'à des paramètres climatiques de la biosphère

(utilisation du sol, écosystème forestier, feux de forêt, phénologie). Les données ainsi acquises sont contrôlées selon des critères de qualité sévères et transmises à des centres mondiaux de données où elles sont à disposition de la communauté scientifique internationale pour des évaluations intégrales. Les centres de données et d'étalonnage exploités par des institutions suisses jouent à cet égard un rôle important dans la standardisation des données mesurées et le renforcement des réseaux internationaux.

A la suite de la ratification du Protocole de Kyoto par les Chambres fédérales en été 2003, l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse a renforcé le service national de coordination. Le GCOS Focal Point a été transféré depuis le 1<sup>er</sup> février 2006 au Swiss GCOS Office.

La tâche du Swiss GCOS Office consiste à coordonner toutes les mesures climatiques effectuées en Suisse par des offices fédéraux, des instituts de recherche et des hautes écoles. Ceci implique la planification à long terme

des mesures continues et représentatives, la détection précoce des problèmes affectant la poursuite de ces mesures et la recherche de solutions à ces derniers. Le système d'observation intégré s'ouvre autant que possible aux nouvelles techniques de mesure. Le Swiss GCOS Office identifie en outre des problèmes de ressources concernant l'exploitation des centres internationaux de données et d'étalonnage en Suisse et apporte à l'étranger un appui financier et technologique à la mesure de grandeurs choisies.

## Principes élaborés par le SMOC pour la surveillance du climat

1. Évaluer, avant le stade de la mise en œuvre, l'incidence des nouveaux systèmes ou des éventuelles modifications des systèmes existants.
2. Lors de la transition entre les anciens et les nouveaux systèmes, prévoir une période d'exploitation en parallèle d'une durée suffisante.
3. Recueillir et traiter avec soin non seulement les données elles-mêmes, mais aussi les renseignements et l'historique relatifs aux conditions locales, aux instruments, aux modalités d'exploitation, aux algorithmes de traitement des données et aux autres facteurs entrant en ligne de compte dans l'interprétation des données (c'est-à-dire les métadonnées).
4. Procéder à l'évaluation systématique de la quantité et de l'homogénéité des données.
5. Tenir compte, en fixant les priorités nationales, régionales et mondiales en matière d'observation, des besoins en produits et en évaluations concernant la surveillance du climat et de l'environnement (par exemple les évaluations du GIEC).
6. Maintenir en service les stations et systèmes d'observation dont l'exploitation n'a jamais été interrompue.
7. En matière d'observations additionnelles, donner un degré élevé de priorité aux régions déficitaires en données, aux paramètres faisant l'objet d'observations insuffisantes, aux régions particulièrement sensibles aux changements et aux mesures de première importance présentant une résolution temporelle peu satisfaisante.
8. Dès la phase initiale de la conception et de la mise en œuvre des nouveaux systèmes, préciser les besoins à long terme, notamment en matière de fréquence d'échantillonnage, à l'intention des concepteurs/exploitants de réseaux et des spécialistes des instruments.
9. S'agissant des systèmes d'observation, préparer soigneusement le passage de la phase expérimentale à la phase d'exploitation prolongée.
10. Veiller à ce que les systèmes de gestion des données qui facilitent l'accès aux données ainsi que leur utilisation et leur interprétation fassent partie intégrante des systèmes de surveillance du climat.

Tableau 2. Les dix principes de base ont été adoptés par la Conférence des Parties (COP) à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), à sa cinquième session (COP 5), en novembre 1999 (Décision 5/CP.5). L'ensemble complet de principes présenté ci-dessous a été adopté par le Quatorzième Congrès de l'OMM en mai 2003. (Source : OMM, 2006a)

## Motivation

Comme mentionné au début, la Suisse dispose d'une longue tradition en matière d'observation du climat. Les longues séries de mesures climatiques ont une importance historique dans les institutions qui en ont la charge et une grande portée scientifique pour la Suisse et le monde. Néanmoins, la poursuite de ces précieuses séries est périodiquement remise en question. À ceci s'ajoute que les monitorages de longue durée ne sont en général pas financés par les crédits de recherche.

Le but du présent rapport est de rassembler toutes les séries de mesure climatiques de la Suisse et d'identifier les problèmes de ressources affectant la poursuite des principales d'entre elles.

Ce rapport est d'abord un état des lieux de la situation actuelle. Les variables pour lesquelles une base légale claire ou une définition des compétences fait défaut, nécessiteront l'élaboration d'un concept de mesure.



## Procédure

Au printemps 2006, ProClim et le Swiss GCOS Office ont effectué une enquête auprès de hautes écoles, d'instituts de recherche et d'offices fédéraux pour inventorier les séries de mesures climatiques et identifier les problèmes éventuels que poserait leur continuation. Les critères ont été définis en s'inspirant d'études similaires servant à la sélection de stations climatologiques (OMM, 1997; Müller, 1980). L'exigence selon laquelle la série doit (a) compter plus de cinquante ans, (b) être plus

longue que des séries comparables à l'étranger ou (c) concerner des paramètres/techniques de mesure qui ne sont utilisés que depuis peu de temps a été définie comme critère principal. Des critères secondaires sont entre autres le lien avec des centres de données internationaux, la représentativité géographique, la qualité de la série de mesure et la disponibilité de métadonnées. À la fin, les ressources financières nécessaires pour la poursuite des activités des stations sont élaborées.

## Structure

Le rapport présente aux chapitres 2 et 3 les variables climatiques mesurées en Suisse, classées par observations atmosphériques (chapitre 2) et terrestres (chapitre 3). L'enquête a couvert toutes les variables climatiques essentielles selon le tableau 1 et les a complétées par trois autres variables importantes pour la Suisse (« pollen », « isotopes », « phénologie »).

Le chapitre 4 présente les centres de données internationaux accueillant des variables climatiques essentielles. Ces centres sont gérés par

des institutions suisses. D'autres centres internationaux de grande importance (p.ex. des centres de calibration internationaux) qui opèrent en Suisse sont aussi présentés.

Le chapitre 5 est consacré à de longues séries de mesures à l'étranger, financées et/ou exécutées par des institutions suisses.

Le chapitre 6 conclut en résumant les principaux résultats du rapport et en jetant un regard vers l'avenir du système national d'observation du climat (GCOS Suisse).

# 2.1 Température

La température est un indicateur essentiel des changements climatiques. Les longues séries de mesure de la température au sol effectuées en Suisse depuis le milieu du 19<sup>e</sup> siècle permettent d'analyser la tendance sur une longue période. Ces évaluations constituent une base importante pour étudier la contribution des activités humaines au réchauffement global.



## § Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. Elle prend aussi part à la saisie, à l'échange et à l'exploitation de données météorologiques et climatologiques internationales. En outre, elle s'emploie à fournir des informations climatologiques et à mettre en œuvre des mesures contribuant à garantir durablement un environnement sain. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable de ces tâches (OMét, RS 429.11).

## Mesures effectuées en Suisse

Actuellement, la température de l'air au sol est mesurée par MétéoSuisse dans près de 130 stations. Ces mesures systématiques remontent en partie jusqu'à 1863, année de l'entrée en service du premier réseau d'observations météorologiques couvrant l'ensemble du territoire suisse. Des valeurs mensuelles sur papier existent en partie pour des temps plus reculés, p. ex. à Bâle (dès 1755), Genève (1768) au Grand St-Bernard (1817). A partir de 1980, une partie des stations ont été automatisées (ANETZ). Les quelque 70 stations ANETZ sont renouvelées en ce moment selon les développements technologiques les plus récents et le reste du total de quelque 130 stations sera également transformé en stations automatiques d'ici 2012 environ (projet SwissMetNet). A part les stations de MétéoSuisse, il existe d'innombrables autres stations météorologiques d'exploitants canto-

nau, communaux et privés. Les stations de MétéoSuisse ne couvrent pas seulement des besoins climatologiques, mais servent aussi à d'autres groupes d'utilisateurs, entre autres pour des alarmes, la météo aéronautique, la protection de la population, l'agriculture et le tourisme. Le réseau de stations a été régulièrement réexaminé sur la base d'analyses des besoins (concepts de mesures de 1980 et 2010) et réparti de façon optimale sur l'ensemble du territoire suisse et à différentes altitudes.

Dans chaque station automatique de MétéoSuisse, des mesures sont enregistrées avec une résolution temporelle de dix minutes. Les moyennes horaires, journalières, mensuelles et annuelles des températures, de même que les extrêmes et de nombreux autres paramètres, comme p. ex. les jours de gel ou de canicule, sont dérivés des mesures de température.

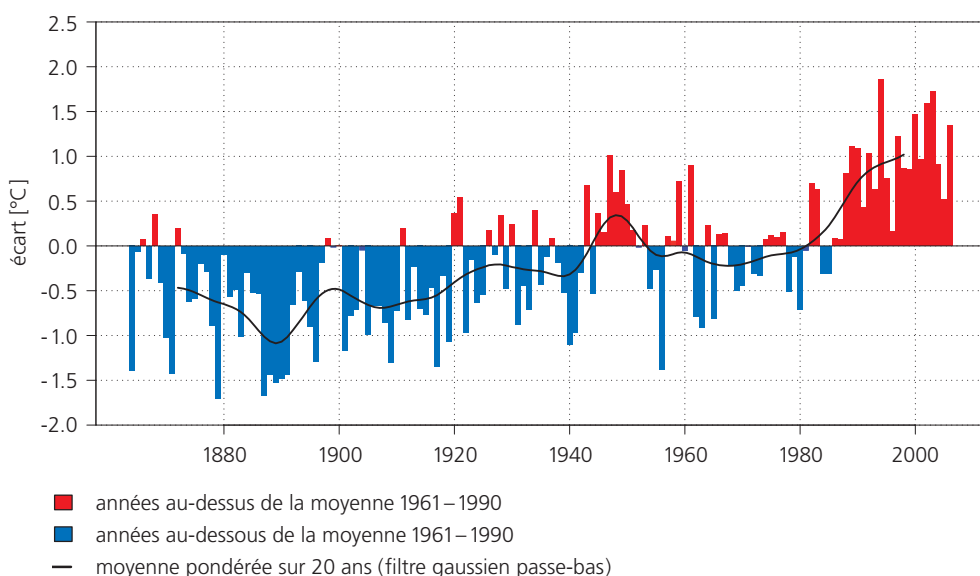
## Les séries de mesure et leur portée

De nombreux sites de stations choisis en 1863 sont aujourd'hui encore utilisés. Dans chacune des douze grandes régions climatiques du pays, une station dans laquelle des mesures sont effectuées depuis au moins 1900 a été sélectionnée pour le projet NORM90. Ces longues séries ont fait l'objet d'un examen portant sur des interruptions et tendances artificielles et ont été homogénéisées. Le choix des stations

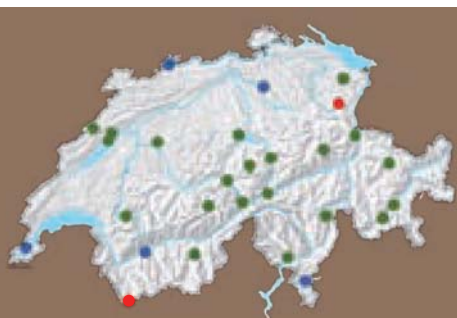
a été densifié, notamment dans l'espace intra-alpin où les différences d'altitude sont importantes, par 16 stations supplémentaires disposant de longues séries de mesure depuis au moins 1900 (exception: le Jungfraujoch seulement à partir de 1930). Il en résulte au total 28 stations importantes du point de vue climatologique, qui constituent le Réseau climatologique national de base (NBCN).

## Température en Suisse 1864 – 2006

Écart annuel par rapport à la moyenne 1961 – 1990



L'écart annuel de la température en Suisse par rapport à la norme 1961–1990 est un exemple impressionnant du changement climatique. La tendance linéaire de 1864 à 2005 s'élève à  $+1.1^{\circ}\text{C}$  par siècle, ce qui représente un réchauffement total de  $+1.5^{\circ}\text{C}$  entre 1864 et 2005 (Begert et al., 2005). Considérée globalement, la température est la grandeur mesurée pour laquelle l'influence anthropique sur le système climatique est la mieux étayée. C'est pourquoi de longues séries de mesure de la température sont déterminantes en matière d'observation, d'analyse et de quantification des changements climatiques.



28 stations du Réseau climatologique national de base NBCN. 2 stations font partie du Réseau de SMOC (GSN, rouge) et 7 du Réseau climatologique régional de base (RBCN, rouge+bleu).

À part les stations au sol, des radiosondages sont effectués plusieurs fois par jour pour étudier les changements des conditions de température dans l'atmosphère. Ces profils verticaux de température sont de plus en plus complétés par des télémessures à partir du sol et de satellites et au moyen de capteurs à bord d'avions de ligne (→ 2.7 Vapeur d'eau).

## Intégration internationale

Dans le Réseau d'observation au sol du SMOC (GSN), la température et les précipitations sont mesurées dans quelque mille stations dans le monde. Ces données sont transmises à un rythme mensuel aux centres de monitoring du GSN auprès de l'Agence météorologique japonaise (JMA, température) et au Service météorologique allemand (DWD,

précipitations). En outre, les données du quart environ de ces stations sont quotidiennement à disposition. En Suisse, 2 stations NBCN ont été choisies comme stations GSN : Säntis et Grand St-Bernard. Les 7 stations NBCN du Säntis, du Grand St-Bernard, de Genève, Sion, Bâle, Zurich et Lugano font partie du Réseau climatologique régional de base (RBCN) de l'OMM.

## Ressources nécessaires

Le fonctionnement des stations du réseau suisse NBCN peut être considéré comme assuré dans le contexte du mandat légal de MétéoSuisse. Par contre, il est apparu, lors de renouvellements de stations, que le financement des mesures

parallèles de trois ans, exigées par les standards GSN, n'a en partie pas été planifié. Des réserves financières supplémentaires sont à prévoir à chaque fois pour ce genre de dépenses exceptionnelles.

## 2.2 Précipitations

Les précipitations constituent un indicateur majeur des changements climatiques. Les longues séries de mesures pluviométriques effectuées en Suisse depuis le milieu du 19<sup>e</sup> siècle permettent des évaluations sur de nombreuses années. Ceci présente un intérêt notamment pour les impacts des changements climatiques sur le cycle de l'eau et sur le bilan hydrologique.



### §

#### Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. Elle prend aussi part à la saisie, à l'échange et à l'exploitation de données météorologiques et climatologiques internationales. En outre, elle s'emploie à fournir des informations climatologiques et à mettre en œuvre des mesures contribuant à garantir durablement un environnement sain. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable de ces tâches (OMét, RS 429.11).

#### Mesures effectuées en Suisse

Actuellement, les précipitations sont mesurées par MétéoSuisse dans plus de 400 stations, dont une partie est en service depuis décembre 1863. Les séries de mesure de quelques stations remontent même jusqu'au 18<sup>e</sup> siècle. Dès 1980, une partie des stations a été automatisées (ANETZ). En ce moment, la septantaine de stations ANETZ sont renouvelées et une soixantaine d'autres (KLIMA, ENET) également automatisées (projet SwissMetNet). Le reste des stations pluviométriques (NIME, totalisateurs) n'est pour l'heure pas automatisé; leur répartition sera examinée et remaniée en détail au cours des prochaines années dans le cadre d'un concept relatif aux précipitations. Chacune des stations automatiques de MétéoSuisse mesure toutes les dix minutes la somme des précipitations tombées pendant cet intervalle de temps. La somme horaire, journalière, mensuelle et annuelle des précipi-

tations est déduite de ces mesures. Dans les stations NIME, la somme des précipitations est relevée une fois par jour et transmise par poste une fois par mois. Les mesures NIME ne sont donc pas disponibles en temps réel.

Des totalisateurs sont utilisés pour mesurer les précipitations en haute montagne. Ils déterminent la précipitation annuelle de façon standardisée à compter du 1<sup>er</sup> octobre. Des relevés supplémentaires en cours d'année sont possibles. Pour les totalisateurs qui sont difficilement accessibles, ils sont toutefois limités à un relevé supplémentaire au printemps, afin de pouvoir déterminer au moins les parts respectives des précipitations d'hiver et d'été à la précipitation totale.

A part les mesures in situ, les précipitations sont calculées de façon indirecte à partir de la réflectivité radar déterminée au moyen de trois radars, situés à La Dôle, à l'Albis et au



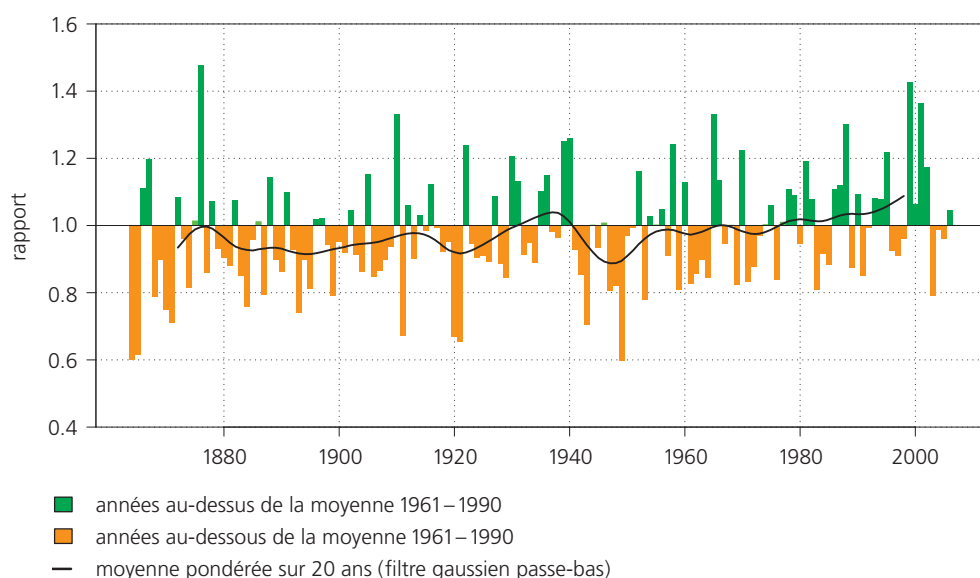
## Les séries de mesure et leur portée

La mesure systématique des précipitations a commencé en Suisse en 1863, année de l'entrée en service de 70 stations météorologiques équipées d'un pluviomètre. Les années suivantes, le nombre de stations a fortement augmenté, si bien qu'en 1900 les quantités de précipitations faisaient l'objet de relevés quotidiens déjà dans plus de 300 points de mesure. Nombre des sites choisis à l'époque sont encore utilisés aujourd'hui. Les stations les plus importantes sont les 27 du réseau

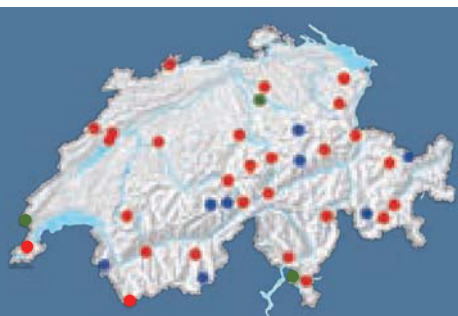
NBCN (→ 2.1 Température) effectuant des mesures pluviométriques (sauf la station du Jungfrauoch). En complément du NBCN, il est prévu de sélectionner les stations NIME les plus importantes pour des mesures quotidiennes dans le cadre du concept relatif aux précipitations. En haute montagne, les totalisateurs fournissent des séries de mesures pluviométriques à faible résolution temporelle. Les totalisateurs à protéger incluent 8 stations de priorité 1 et 27 stations de priorité 2.

## Précipitations à Zurich 1864 – 2006

Rapport de la somme annuelle à la moyenne 1961–1990



Rapport de la somme annuelle des précipitations de Zurich à la moyenne à long terme (norme 1961–1990), de 1864 à 2006. La série de données met en évidence une tendance linéaire significative correspondant à une augmentation d'environ 10% en cent ans. Une croissance est observée notamment pour les précipitations d'hiver (Begert et al., 2005). Les longues séries de mesure permettent de se prononcer sur les tendances et la période de récurrence d'événements extrêmes (fortes précipitations, sécheresses). Elles sont utiles aussi aux mesures de protection contre les crues et à l'élaboration de scénarios climatiques régionaux.



Stations du Réseau climatologique national de base NBCN (en rouge); radars de MétéoSuisse (en vert); les huit plus importants totalisateurs (en bleu).

Monte Lema. Ces stations sont en service depuis 1961 (La Dôle, Albis) et 1993 (Monte Lema). Les données fournies par ces radars sont archivées sous forme digitale depuis 1991 et constituent ainsi de longues séries potentielles qui pourront être utilisées à l'avenir pour des évaluations climatologiques.

## Intégration internationale

Les données pluviométriques des stations du Säntis et du Grand St-Bernard du Réseau d'observation en surface du SMOC (GSN) sont transmises au centre de monitoring du GSN au DWD, et celles des stations du Säntis, du Grand St-Bernard, de Genève, Sion, Bâle, Zurich et Lugano du Réseau climatologique régional de base (RBCN) à l'OMM. En outre, les données de précipitations de toutes les stations de MétéoSuisse sont communiquées au centre de données pluviométriques d'Offenbach.

En Europe, les radars de précipitations sont coordonnés par le programme Eumetnet «Operational Programme for the Exchange of weather Radar information (OPERA)». Les trois radars de précipitations suisses sont intégrés dans ce programme OPERA. D'autre part, la couverture des radars de précipitations est améliorée à travers les projets Interreg VERBANO et Franche-Comté dans les régions frontalières avec l'Italie respectivement la France.

## Ressources nécessaires

L'exploitation des 27 stations NBCN et des stations NIME est assurée dans le contexte du mandat légal de MétéoSuisse. Le financement des mesures parallèles de trois ans, exigées par les standards GSN, n'est en partie pas planifié.

L'exploitation des totalisateurs n'est assurée qu'à court terme, étant donné que la moitié environ des stations sont financées par des tiers et que l'importance commerciale du réseau est en diminution.

## 2.3 Pression de l'air

La pression atmosphérique est un élément essentiel pour caractériser la circulation de l'air tant localement qu'à grande échelle. Elle compte parmi les grandeurs les plus importantes pour la réanalyse de longues séries de données météorologiques globales. Cette observation permet, entre autres, d'analyser les variations des situations météorologiques.



### Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. Elle prend aussi part à la saisie, à l'échange et à l'exploitation de données météorologiques et climatologiques internationales. En outre, elle s'emploie à fournir des informations climatologiques et à mettre en œuvre des mesures contribuant à garantir durablement un environnement sain. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable de ces tâches (OMét, RS 429.11).

### Mesures effectuées en Suisse

Actuellement, la pression atmosphérique au sol est mesurée dans 90 stations par MétéoSuisse. Les mesures systématiques de la pression atmosphérique ont commencé en 1864, lors de l'entrée en service du réseau d'observation météorologique national suisse. Les premiers relevés de cette grandeur dans quelques sites en Suisse remontent en fait au 18<sup>e</sup> siècle; mais ces données n'ont jamais été mises à jour et n'existent donc pas sous forme digitale. Les moyennes mensuelles de quelques stations ont été élaborées sous forme numérique, p. ex. celles enregistrées à Bâle depuis 1755 ou à Genève depuis 1768.

La pression atmosphérique était mesurée autrefois au moyen de baromètres à mercure. Depuis son automatisation, le réseau de mesure fait appel à de nouvelles techniques de mesure. Dans ses stations, la pression atmosphérique est mesurée au moyen de baromètres anéroïdes,

dont le mécanisme est une sorte de boîte en tôle qui se dilate ou se contracte en fonction de la pression atmosphérique. Les changements de type d'appareil ont provoqué moins d'inhomogénéités dans les séries de mesure que les déplacements des sites. La pression atmosphérique diminuant avec l'altitude, les mesures effectuées dans une station dépendent fortement de l'altitude de cette dernière. Pour rendre les mesures des différentes stations comparables entre elles, les valeurs mesurées sont converties en pressions réduites au niveau de la mer.

Les stations automatiques mesurent la pression atmosphérique toutes les dix minutes. Ces mesures permettent ensuite de calculer des moyennes horaires, journalières, mensuelles et annuelles. Ces données ont non seulement une grande importance en matière d'observation du climat, mais sont essentielles aussi à



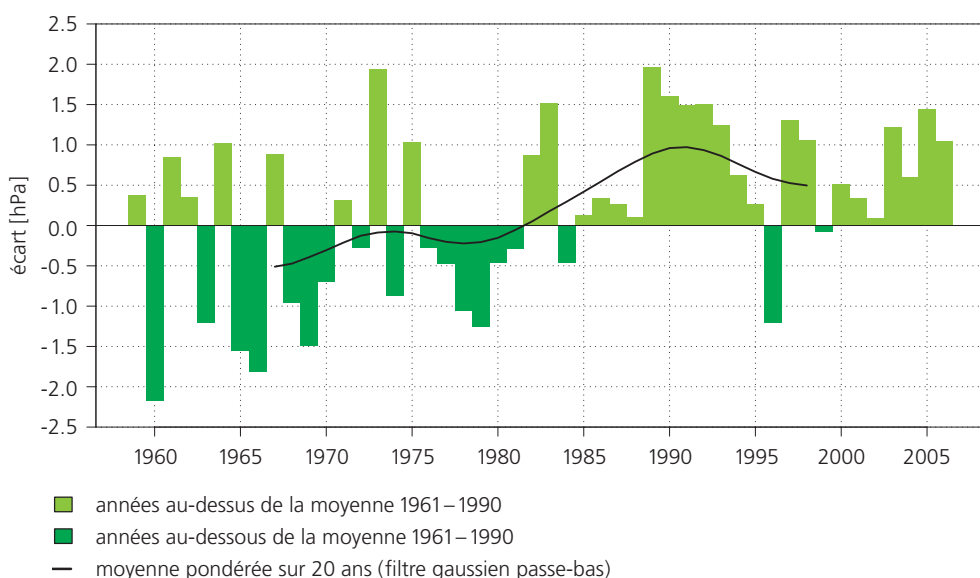
## Les séries de mesure et leur portée

Dans le réseau suisse de mesure météorologique, mis en place à partir de 1863, 28 stations importantes du point de vue climatologique ont été choisies pour représenter et caractériser le mieux possible le climat de la Suisse (→ 2.1 Température). Ce Réseau climatologique national de base (Swiss NBCN) est important aussi en relation avec les longues séries de mesure de la pression atmosphérique, car

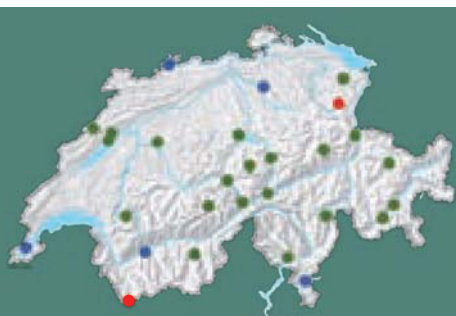
la majorité de ces stations fournissent des séries continues depuis 1863. Il n'est toutefois pas prévu d'homogénéiser les 28 séries de la pression atmosphérique, car celle-ci est fortement corrélée dans l'espace, si bien que le traitement de quelques-unes de ces séries suffit pour décrire l'évolution en Suisse au cours des ans.

## Pression atmosphérique à Zurich 1959 – 2006

Écart de la moyenne annuelle par rapport à la norme 1961–1990



Écart de la moyenne annuelle de la pression atmosphérique à Zurich par rapport à la norme 1961–1990, de 1959 à 2006. Cette évolution est corrélée à celle de la température et fait ressortir le lien entre les fréquences des situations météorologiques et la variabilité régionale du climat. Les longues séries de la pression atmosphérique sont utiles pour décrire les variations à long terme de la fréquence des situations météorologiques. Elles sont de surcroît la grandeur de départ centrale pour les réanalyses globales et régionales, servant à valider des modèles climatiques.



28 stations du Réseau climatologique national de base SMOC. 2 stations font partie du Réseau de SMOC (GSN, rouge) et 7 du Réseau climatologique régional de base (RBCN, rouge+bleu).

la description de l'état actuel de l'atmosphère, aux prévisions météorologiques et à la modélisation. A part MétéoSuisse, quelques stations privées, cantonales et communales mesurent également la pression atmosphérique.

## Intégration internationale

Les stations NBCN du Grand St-Bernard, du Säntis, de Genève, Sion, Bâle, Zurich et Lugano font partie du Réseau climatologique régional de base (RBCN) de l'OMM, qui comprend 2 600 stations au sol dans le monde. Les stations du Säntis et du Grand St-Bernard font aussi partie du GSN, le Réseau d'observation en surface du SMOC, auquel appartiennent 980 stations dans le monde. Les mesures de la pression atmosphérique n'entrent pas dans les exigences minimales du GSN (telles que la température et les précipitations). La pression atmosphérique

est néanmoins un paramètre souhaité, dont la saisie est envisagée.

L'OMM travaille à l'élaboration d'une base de données internationale de la pression atmosphérique. Les mesures de la pression atmosphérique au sol (y compris les mesures suisses RBCN) des années 1850–2004 sont archivées dans un premier jeu de données global. Ce set est mis à disposition à la totalité du globe sur une base mensuelle et à une résolution spatiale de 500 km.

## Ressources nécessaires

L'exploitation des stations NBCN peut être considérée comme assurée dans le cadre du mandat légal de MétéoSuisse. Par contre, il est apparu, lors de renouvellements de stations,

que le financement des mesures parallèles de trois ans, exigées par les standards GSN, n'a en partie pas été planifié.

## 2.4 Durée d'insolation

A part la température, les précipitations et la pression atmosphérique, il faut encore d'autres mesures météorologiques au sol comme indicateurs des changements climatiques. La direction et la vitesse du vent, l'humidité, la durée d'ensoleillement, le rayonnement global, la nébulosité et la neige font partie des paramètres les plus importants saisis dans une station climatologique.



### § Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. Elle prend aussi part à la saisie, à l'échange et à l'exploitation de données météorologiques et climatologiques internationales. En outre, elle s'emploie à fournir des informations climatologiques et à mettre en œuvre des mesures contribuant à garantir durablement un environnement sain. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable de ces tâches (OMét, RS 429.11).

### Mesures effectuées en Suisse

Les paramètres climatologiques les plus importants sont mesurés par MétéoSuisse dans près de 130 stations. Ces mesures systématiques remontent en partie jusqu'à décembre 1863, date de l'entrée en service du réseau national suisse d'observation météorologique. Dès 1980, une partie de ces stations ont été transformées en stations de mesure automatiques (ANETZ). En ce moment, les quelque 70 stations ANETZ sont renouvelées selon les développements technologiques les plus récents; le reste du total de 130 stations sera également automatisé d'ici 2012 environ. A part les stations de MétéoSuisse, il existe d'innombrables autres stations météorologiques d'exploitants cantonaux, communaux et privés, dans lesquelles quelques-uns des paramètres climatologiques sont mesurés.

La température (→ 2.1 Température), les précipitations (→ 2.2 Précipitations) et la pression

atmosphérique (→ 2.3 Pression de l'air) ayant été abordées, le présent chapitre décrit les autres mesures météorologiques importantes au sol: la direction et la vitesse du vent, l'humidité et la durée d'insolation. Le rayonnement global sera traité avec d'autres mesures au chapitre → 2.5 Rayonnement, la nébulosité au chapitre → 2.6 Nuages et les mesures de la neige au chapitre → 3.6 Couverture neigeuse. Les 70 stations ANETZ mesurent toutes les dix minutes une valeur momentanée de l'humidité, ainsi que la durée d'ensoleillement pendant les dix dernières minutes. La vitesse et la direction du vent sont continuellement mesurées et leurs valeurs moyennes de 10 minutes transmises ainsi que la vitesse des rafales. Les moyennes (direction et vitesse du vent, humidité) ou sommes (durée d'ensoleillement) horaires, journalières, mensuelles et annuelles sont calculées à partir de ces mesures.

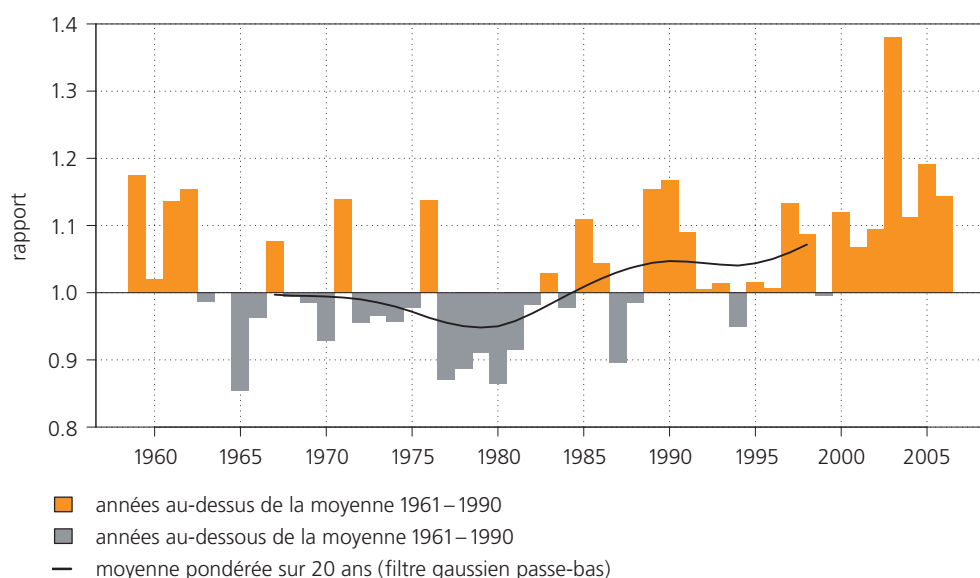
## Les séries de mesure et leur portée

Un réseau permanent de mesure a vu le jour en Suisse pendant la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle. Les 28 stations les plus importantes du point de vue climatologique forment le Réseau climatologique national de base NBCN (→ 2.1 Température). Pour la plupart des stations, les plus anciennes séries de mesure de l'humidité remontent jusqu'en 1863. Seulement quelques années plus tard, les mesures de durée d'ensoleillement ont été établies et cela uniquement pour des stations sélectionnées.

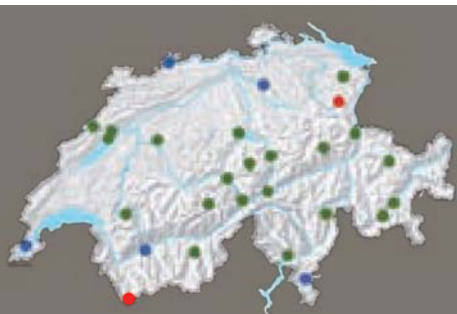
Avant l'automatisation du réseau de mesures (à partir de 1981), la direction et la vitesse du vent n'ont été mesurées que trois fois par semaine. A part les douze séries homogènes de la température et des précipitations à partir de 1864, des séries homogènes sont disponibles à partir de 1959 pour la pression atmosphérique, la durée d'ensoleillement, la pression de vapeur et la nébulosité, et à partir de 1981 pour le rayonnement global et la vitesse du vent.

## Durée d'ensoleillement à Zurich 1959 – 2006

Rapport de la somme annuelle à la moyenne 1961 – 1990



Rapport de la durée annuelle d'ensoleillement de Zurich à la norme 1961–1990, de 1959 à 2006 (données homogénéisées). L'homogénéisation est nécessaire, car le plus souvent les longues séries de mesure n'ont pas été obtenues dans des conditions de mesure constantes. Des changements des conditions de mesure peuvent entraîner des augmentations ou diminutions, abruptes ou lentes, des mesures, ce qui fausse l'analyse des tendances de la série dans le temps. Par des procédés statistiques et en examinant l'histoire des stations, on essaie de détecter ces inhomogénéités et de les corriger (Begert et al., 2003).



28 stations du Réseau climatologique national de base NBCN. 2 stations font partie du Réseau de SMOG (GSN, rouge) et 7 du Réseau climatologique régional de base (RCN, rouge+bleu).

Les mesures au sol sont complétées par des mesures verticales in situ (radiosondages, avions) et, de plus en plus, par des mesures au moyen d'instruments de télédétection au sol et à bord de satellites (→ 2.7 Vapeur d'eau).

## Intégration internationale

Les stations NBCN du Grand St-Bernard, du Säntis, de Genève, Sion, Bâle, Zurich et Lugano font partie du Réseau climatologique régional de base (RBCN) de l'OMM.

Dans le cadre du projet ENSEMBLES de l'UE, un jeu de données européen provenant de quelque 2000 stations et comprenant différentes mesures (température minimale, maximale et

moyenne, précipitations, pression atmosphérique, hauteur de neige, durée d'ensoleillement, humidité relative et nébulosité) a été constitué et examiné quant à ses inhomogénéités. L'influence des différentes conditions de mesure peut ainsi être réduite pour les analyses tendanciennes.

## Ressources nécessaires

L'exploitation des 28 stations NBCN est assurée dans le cadre du mandat légal de MétéoSuisse. Par contre, il est apparu, lors de renouvellements

de stations, que le financement des mesures parallèles de trois ans, exigées par les standards GSN, n'a en partie pas été planifié.

## 2.5 Rayonnement

Le rayonnement est le principal facteur déterminant le climat et a une influence prépondérante sur ses variations spatiales et saisonnières. L'effet de l'évolution des gaz à effet de serre et des aérosols anthropogènes sur le climat se produit par des modifications du bilan de rayonnement. Cela est mesurable et permet une étude détaillée du changement climatique.



### §

#### Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. Elle encourage aussi la météorologie et la climatologie théoriques et réalise des projets de recherche-développement. Ces tâches sont remplies par l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse (OMét, RS 429.11). En outre, la Suisse est membre de l'Organisation météorologique mondiale OMM (RS 0.429.01) et participe, suivant une décision du Conseil fédéral du 25 novembre 1994, au programme OMM de Veille de l'Atmosphère Globale (VAG).

#### Mesures effectuées en Suisse

En plus de la mesure du rayonnement global aux stations du réseau automatique (ANETZ, SwissMetNet), MétéoSuisse poursuit, à quatre stations, un programme de mesures spécialisées pour la détermination des flux de rayonnement de l'ultraviolet à l'infrarouge incluant la partie visible du spectre. Les stations du Jungfrauoch et de Davos sont dans le massif alpin, alors que les stations de Payerne et Locarno-Monti se trouvent à basse altitude au nord et au sud des Alpes. Ce réseau de mesure appelé CHARM (Swiss Atmospheric Radiation Monitoring) a été complété en 1995 par 10 stations du réseau Alpine Surface Radiation Budget (ASRB). A toutes les stations CHARM et ASRB, le rayonnement solaire (rayonnement court) et le rayonnement infrarouge thermique de l'atmosphère (rayonnement long) sont mesurés. En plus, on mesure à trois stations le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement

infrarouge thermique du sol. Les réseaux CHARM et ASRB sont rattachés au programme OMM de Veille de l'Atmosphère Globale (VAG).

La station de Payerne fait en outre partie du Baseline Surface Radiation Network (BSRN) pour l'étude du bilan de rayonnement à la surface terrestre (→ 4.2 BSRN). En conséquence, les flux de rayonnement court direct, diffus et global y sont mesurés conformément aux directives BSRN et VAG. D'autre part, des mesures complémentaires de haute précision et haute résolution temporelle sont faites dans des bandes spectrales sélectionnées permettant de déterminer l'épaisseur optique des aérosols (AOD) et la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère. Plusieurs institutions collaborent dans le cadre de CHARM: MétéoSuisse, le PMOD/WRC, l'EPF de Zurich et l'Université de Berne. Les mesures CHARM/



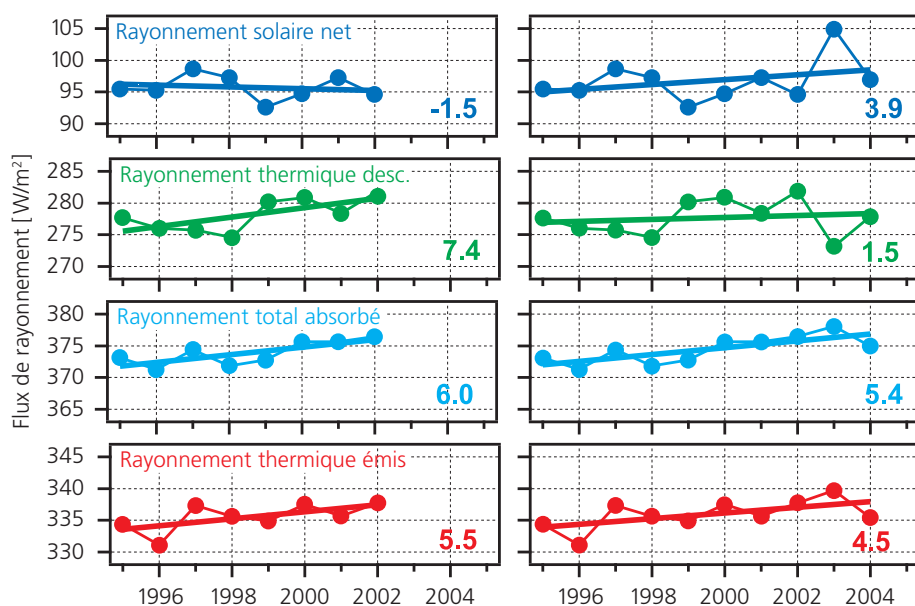
## Les séries de mesure et leur portée

Les premières mesures de rayonnement CHARM ont débutées à Davos en 1991 et à Payerne (BSRN) en 1992. Les stations du Jungfrauoch et de Locarno-Monti ont été établies en 1996 et 2001. De plus, les flux de rayonnement sont mesurés depuis 1995 aux dix stations ASRB. Les réseaux de mesure CHARM et ASRB sont destinés à une surveillance au long terme et livrent des observations fiables qui permettent d'étudier l'évolution temporelle du bilan de rayonnement, spécialement dans les Alpes.

Les composantes du rayonnement court sont mesurées séparément aux quatre stations CHARM (cela est assez récent à certaines stations). Les stations CHARM de Payerne, Locarno, Davos et du Jungfrauoch, ainsi que deux stations ASRB (Cimetta, Weissfluhjoch) sont co-localisées avec des stations ANETZ (ou SwissMetNet), ce qui permet une comparaison avec d'autres grandeurs mesurées. Enfin, depuis 1995 le rayonnement UV est mesuré aux stations CHARM (→ 2.8 Ozone).

## Bilan de rayonnement dans les Alpes 1995 – 2004

Flux de rayonnement en  $W/m^2$



Les mesures du bilan de rayonnement du réseau ASRB montrent une augmentation du rayonnement total absorbé à la surface qui provoque une hausse de la température et du rayonnement thermique émis. Le rayonnement solaire net et le rayonnement thermique descendant sont fortement dépendants des nuages. Les mesures sans couverture nuageuse permettent d'examiner le rayonnement thermique descendant et les changements possibles de l'effet de serre (Philippona et al., 2005).



Les stations des réseaux CHARM (rouge) et ASRB (bleu) mesurent les différentes composantes du bilan de rayonnement à la surface. Les stations CHARM sont également des stations ASRB.

BSRN et ASRB sont en outre utilisées à la validation de produits satellite. Dans le cadre du Satellite Application Facilities for Climate Monitoring (CM-SAF) d'EUMETSAT, différents produits de rayonnement dérivés de mesures par satellite sont validés pour l'Europe et plus spécifiquement pour le massif alpin.

## Intégration internationale

Les données sont livrées au World Radiation Data Centre (WRDC) à St. Petersburg, un des cinq centres de données mondiaux VAG, et au World Radiation Monitoring Centre (WRMC) du BSRN à Zurich. Avec l'action COST-726, une climatologie UV pour l'Europe est établie dans une collaboration paneuropéenne avec la participation de MétéoSuisse et du PMOD/WRC. Pour SMOC, le BSRN est le réseau de

référence mondial de mesure du rayonnement à la surface terrestre. La station de Payerne est une des 38 stations BSRN (→ 4.2 BSRN) et est aussi une station officielle de validation des produits CM-SAF. Au travers de CM-SAF, dans le cadre de la collaboration EUMETSAT, les services météorologiques européens visent une surveillance du climat au moyen des données satellitiques.

## Ressources nécessaires

Avec leur intégration au sein du réseau automatique SwissMetNet, la continuité des mesures CHARM et ASRB à été consolidée

dans le cadre du mandat légal de MétéoSuisse et de la contribution suisse au programme VAG de l'OMM.

## 2.6 Nuages

L'interaction entre le rayonnement et les nuages reste l'une des plus grandes incertitudes dans les modèles du climat. La mesure de la couverture nuageuse, de sa répartition spatiale et de ses propriétés microphysiques a par conséquent une haute priorité. Les données satellitaires forment un complément idéal aux radiosondages et aux observations au sol.



### §

#### Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. La saisie des nuages dans l'atmosphère et le bilan de radiation à la limite supérieure de l'atmosphère, en font également partie. Elle prend aussi part à la saisie, à l'échange et à l'exploitation de données météorologiques et climatologiques internationales. En outre, la Suisse est membre de l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques EUMETSAT (RS 0.425.43). L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable de ces tâches (OMét, RS 429.11).

#### Mesures effectuées en Suisse

Dans les stations de mesure de MétéoSuisse (à l'exception des aéroports), les paramètres relatifs aux nuages ne sont pas mesurés au moyen d'instruments, mais évalués à intervalles réguliers par des observateurs. A l'heure actuelle, cinquante-quatre stations font partie de ce réseau d'observations visuelles (OBS). Les paramètres observés sont notamment le degré de couverture nuageuse, le type de nuages, l'altitude des nuages, la distance de visibilité, la météo actuelle et passée. Les observations sont effectuées au moins trois fois par jour et transmises par ordinateur portable. Dans les aéroports, des capteurs («present weather sensors») sont en service en complément des observateurs pour mesurer certains paramètres relatifs aux nuages (p.ex. des ceilomètres pour l'altitude de la base des nuages) et aux conditions de visibilité (p.ex. des transmissomètres pour la distance de visibilité).

Une observation exhaustive de l'extension spatiale et de la grande variabilité temporelle des nuages, propriétés microphysiques incluses, n'est possible que depuis le lancement des premiers satellites météorologiques dans les années 1950. Les mesures satellitaires permettent d'obtenir plusieurs données macroscopiques – le degré de couverture nuageuse, la classification des nuages selon diverses propriétés spectrales, l'altitude de la limite supérieure des nuages et le vent des nuages – et de déterminer aussi des propriétés microphysiques telles que l'épaisseur optique, la distribution de taille des gouttes, la phase de la limite supérieure des nuages et la teneur en eau liquide. AVHRR (sur NOAA), MODIS et MISR (sur Terra), et MERIS (sur Envisat) comptent parmi les plus importants capteurs servant à l'observation des nuages au-dessus de l'Europe à partir de satellites circumpolaires,



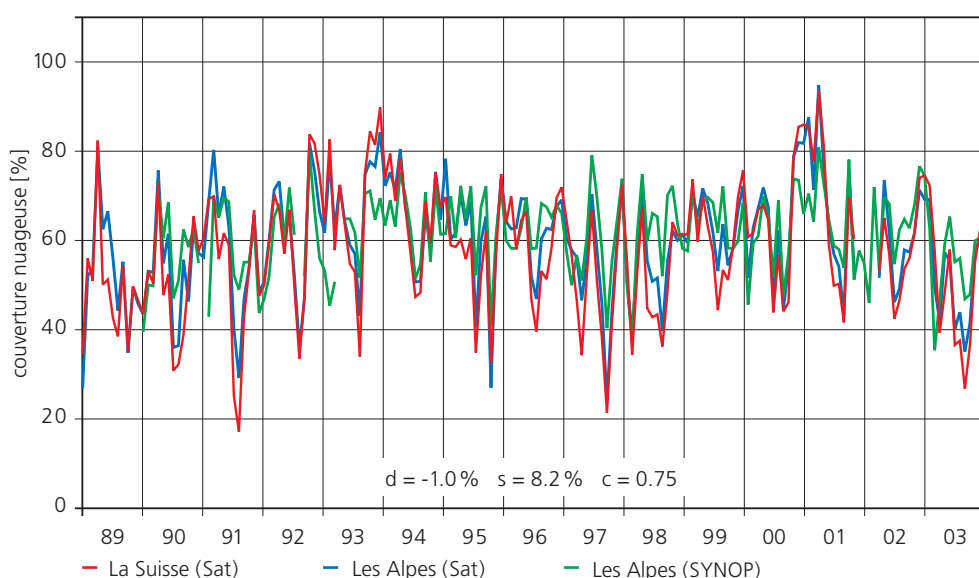
## Les séries de mesure et leur portée

Des observations visuelles dans les 28 stations NBCN suisses (→ 2.1 Température) remontent jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle, au même titre que les mesures des grandeurs météorologiques. Mais la plupart de ces données n'ont pas encore été homogénéisées, c'est-à-dire qu'elles peuvent contenir des inhomogénéités dues p.ex. à des différences entre observateurs, à des modifications des périodes d'observation

ou au déplacement de stations. Dans le projet NORM90, la couverture nuageuse de huit stations conventionnelles NBCN (Andermatt, Bad Ragaz, Chaumont, Château d'Ex, Elm, Grächen, Meiringen, Sils Maria) a été homogénéisée dès 1961, en complément de la durée d'ensoleillement. La continuité des observations visuelles sur quelques stations NBCN (p.ex. Engelberg, Davos) n'est pas assurée.

## Couverture nuageuse dans les Alpes 1989 – 2003

Moyenne mensuelle spatiale déduite des données au sol et des données satellite



Couverture nuageuse déduite des données au sol (SYNOP) et des données satellite (NOAA/AVHRR), de 1989 à 2003. Le diagramme représente les valeurs moyennes spatiales pour la région des Alpes (bleu; 46 – 47.8 N, 8 – 14 E) et le territoire suisse (rouge; 46 – 47.5 N, 6.5 – 10 E). Sont indiqués en outre la différence moyenne  $d$  (mesure satellitaire moins SYNOP), l'écart type  $s$  des différences et le coefficient de corrélation  $c$ . Cette évaluation est tirée de l'European Cloud Climatology (ECC) du Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (Meerkötter et al., 2004).



Les 28 stations du Réseau climatologique national de base NBCN, avec des observations de la nébulosité.

tandis que MVIRI (sur les satellites Météosat de première génération) et SEVIRI (sur les satellites Météosat de seconde génération) figurent parmi les principaux de ces capteurs placés sur des plates-formes géostationnaires. Les mesures du bilan radiatif de la Terre sont décrites au chapitre → 4.1 GEBA.

## Intégration internationale

A part la couverture nuageuse, les paramètres suivants ont été également déduits des données NOAA/AVHRR pour l'European Cloud Climatology (ECC): la «couverture nuageuse, subdivisée en nuages de basse, de moyenne et de haute altitude et nuages ténus», la «teneur en eau liquide et gelée», la «température à la limite supérieure des nuages» et l'«émissivité infrarouge». Les résultats de l'International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) représentent la plus vaste évaluation climatologique des nuages réalisée dans le monde

à partir de données satellitaires depuis 1983 (Schiffer et Rossow, 1983; Rossow et Schiffer, 1999). Les données collectées au-dessus de l'Europe pendant les années initiales contiennent cependant quelques grandes inhomogénéités.

Dans le cadre des projets CLOUDMAP et CLOUDMAP2 de l'UE, divers paramètres relatifs aux nuages, dérivés de données satellitaires, ont été étudiés en détail et leur utilité testée quant à leur assimilation dans des modèles météorologiques numériques régionaux.

## Ressources nécessaires

Les observations visuelles dans les stations NBCN sont assurées sur le plan financier; dans quelques cas, la poursuite des observations pourrait être menacée par des problèmes de personnel. Des ressources financières sup-

plémentaires sont nécessaires en revanche pour le dépouillement systématique des données satellitaires concernant les paramètres des nuages et le bilan radiatif pour la Suisse.

## 2.7 Vapeur d'eau

En complément aux mesures effectuées près du sol, les profils verticaux des principaux paramètres atmosphériques (température, pression, vent, vapeur d'eau) sont indispensables à la surveillance du climat, en permettant l'analyse des indicateurs climatiques dans les différentes couches de l'atmosphère. La vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre naturel.



### § Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. Elle prend aussi part à la saisie, à l'échange et à l'exploitation de données météorologiques et climatologiques internationales. En outre, elle s'emploie à fournir des informations climatologiques et à mettre en œuvre des mesures contribuant à garantir durablement un environnement sain. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable de ces tâches (OMét, RS 429.11).

### Mesures effectuées en Suisse

Depuis 1942, la Suisse dispose d'une station aérologique permanente à Payerne, qui est exploitée par MétéoSuisse. Depuis 1948, un sondage par ballon-sonde météorologique y est effectué chaque jour de l'année. En 1954, cette cadence a été doublée. Actuellement, le programme journalier comporte quatre sondages: deux avec le programme complet de mesure (pression, température, humidité relative, vitesse et direction du vent), et deux uniquement avec le vent. Ces mesures sont acquises de manière continue jusqu'à env. 33 km d'altitude, à l'exception de l'humidité qui est limitée à 12 km. En plus, une sonde d'ozone est couplée à la sonde météorologique 3 fois par semaine (→ 2.8 Ozone). Enfin, un sondage avec un hygromètre à miroir est effectué une fois par mois pour des mesures plus précises de l'humidité dans la troposphère.

Depuis 2000, un profileur de vent est aussi en fonction à Payerne et mesure le vent jusqu'à environ 5 km de manière automatique et continue. Il fait partie du réseau européen de windprofilers CWINDE. Actuellement, de nouveaux systèmes de mesure de profils verticaux par télédétection passive et active depuis le sol sont testés en vue d'une surveillance opérationnelle de la troposphère. Il s'agit d'un radiomètre à micro-ondes pour la température et la vapeur d'eau, ainsi que d'un lidar pour la vapeur d'eau.

Un centre de compétence pour la recherche sur la vapeur d'eau atmosphérique se trouve à l'Institut de physique appliquée (IAP) de l'Université de Berne. Depuis 2006, il dispose aussi du nouvel observatoire construit à Zimmerwald près de Berne, où il exploite des radiomètres micro-ondes, des récepteurs GPS et des photomètres solaires. Depuis quelques

## Les séries de mesure et leur portée

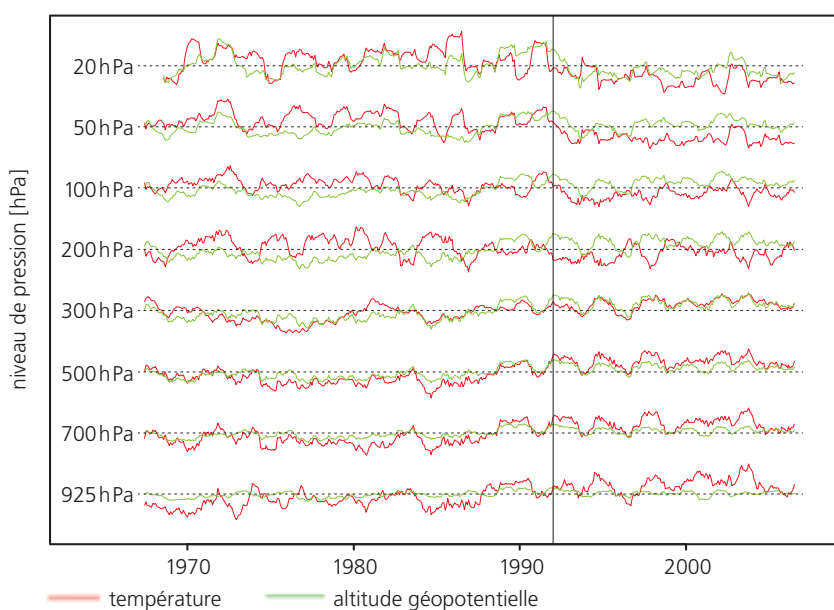
Les radiosondages de Payerne constituent une longue série de données documentant avec une haute qualité le climat des couches élevées de l'atmosphère et leur dynamique. Cette série est déjà utilisable depuis 1948 (un sondage par jour), ou encore mieux depuis 1954 (deux sondages par jour).

L'IAP a constitué une série de données de la colonne de vapeur d'eau atmosphérique basée sur ces différents systèmes de télédétection dès 1994 qui est unique au monde. Depuis

2003, l'IAP mesure aussi la vapeur d'eau stratosphérique dans le cadre des réseaux VAG et NDACC. Pour le programme NCCR-Climat, l'IAP a développé une banque des données suisses de vapeur d'eau atmosphérique (STARTWAVE). La colonne de vapeur d'eau atmosphérique est déterminée à partir des signaux GPS depuis 1999 (COST-716), et depuis 2006 de manière opérationnelle pour les stations du réseau AGNES de swisstopo.

## Radiosondages de Payerne 1967 – 2006

Température et altitude géopotentielle à huit niveaux standards de pression



Températures et altitudes géopotentielles des radiosondages de minuit de Payerne. La première année de ce graphique correspond au début des sondages d'ozone ( $\rightarrow$  2.8 Ozone). Les moyennes glissantes des écarts à la moyenne 1967–2006 sont représentées sans unités pour huit niveaux standards de pression entre 800m et 26 500m d'altitude. Ces séries temporelles sont homogènes depuis 1992 (ligne verticale) (Aschwanden et al., 1996). Les résultats de l'homogénéisation peuvent être trouvés dans les publications de Häberli (2006) et Haimberger (2007), qui montrent un refroidissement de longue durée de la stratosphère, ainsi qu'un réchauffement de la troposphère. Ces résultats complètent ceux des tendances obtenues à partir des stations suisses au sol et sont cohérents avec ceux des observations par satellites. Le réseau aérologique mondial est le seul système d'observation de l'atmosphère libre en service depuis plus de 60 ans.



Stations de mesure de l'atmosphère libre. Rouge : Payerne. Bleu : Berne et Zimmerwald.

années, la plupart des avions de ligne sont équipés avec des capteurs météorologiques (température, vent et partiellement humidité) dans le cadre du système « Aircraft Meteorological Data Reporting (AMDAR) ». Par ailleurs, les satellites d'observation de l'atmosphère délivrent des profils de température et d'humidité appliquant des techniques infrarouge et/ou micro-ondes.

## Intégration internationale

Le radiosondage de Payerne fait partie du Reference Basic Climatological Network (RBCN), dont les stations transmettent les données de sondage et leurs moyennes mensuelles à l'OMM. Environ 150 des 800 stations du réseau aérologique mondial appartiennent au GCOS Upper-Air Network (GUAN) et satisfont des critères de qualité plus sévères permettant de surveiller à long terme le climat de l'atmosphère terrestre. Payerne sera intégrée à ce réseau dès 2008. Il a été prévu d'exploiter certaines stations GUAN, disposant d'un large éventail

de systèmes de mesure, comme référence (GCOS Reference Upper Air Network GRUAN). Payerne est candidate pour ce réseau. Les données des radiosondages de Payerne sont transmises au centre de monitoring du GUAN à l'ECMWF, et archivées dans les bases de données mondiales du Hadley Center, UK et du NCDC d'Asheville, USA (Integrated Global Radiosonde Archive, IGRA). Les profils stratosphériques de vapeur d'eau de l'IAP sont intégrés aux jeux de données mondiales du NDACC, avec celles des 70 stations de ce réseau.

## Ressources nécessaires

Le financement de l'exploitation des sondages aérologiques de Payerne peut être considéré comme assuré dans le cadre du mandat légal

de MétéoSuisse. Quant à l'exploitation des systèmes de télédétection, son financement est assuré à moyen terme par des projets.

## 2.8 Ozone

La couche d'ozone stratosphérique filtre une grande partie des rayons ultra-violet nuisibles du soleil. Sa surveillance est donc primordiale, surtout en raison de la diminution de l'ozone stratosphérique constatée au cours des dernières décennies. Grâce aux accords internationaux, cette diminution s'est toutefois ralentie ces dernières années.



### § Bases légales

Depuis 1985, l'appauvrissement de la couche d'ozone dû à la présence de substances nuisibles à cette couche, telles que les chlorofluorocarbones (CFC), est suivi de près par la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone (RS 0.814.02) et le Protocole de Montréal (RS 0.814.021). Les mesures globales de l'ozone atmosphérique sont coordonnées par le programme de Veille de l'Atmosphère Globale (VAG) de l'Organisation météorologique mondiale OMM (RS 0.429.01). La Suisse est membre de l'OMM et participe au programme VAG. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est chargé du pilotage de la contribution suisse au VAG.

### Mesures effectuées en Suisse

MétéoSuisse surveille l'ozone atmosphérique au-dessus de la Suisse avec différents instruments.

Au Lichtklimatisches Observatorium (LKO) d'Arosa, la quantité totale d'ozone présente dans toute l'épaisseur de l'atmosphère est mesurée depuis 1926 avec des photospectromètres solaires Dobson, puis Brewer. Ces instruments mesurent la transparence de l'atmosphère dans différentes longueurs d'onde UV du rayonnement solaire. Ceci permet de calculer l'ozone total contenu dans la colonne atmosphérique au-dessus d'Arosa. De plus, des profils verticaux de l'ozone peuvent être obtenus avec ces mêmes instruments au moyen de méthodes spéciales de mesure et d'analyse. Ainsi, les quantités d'ozone contenues dans 6 à 9 différentes couches de l'atmosphère sont déterminées à Arosa depuis 1956 avec cette méthode appelée «Umkehr».

À Payerne, les profils verticaux de l'ozone sont directement mesurés au moyen de radiosondes (→ 2.7 Vapeur d'eau), qui fournissent une très haute résolution verticale entre le sol et environ 33 km d'altitude.

Depuis novembre 1994, l'Institut de physique appliquée (IAP) de l'Université de Berne exploite le radiomètre micro-ondes GROMOS (Ground-Based Millimeter-Wave Ozone Spectrometer) qu'il a spécialement développé pour la mesure de l'ozone stratosphérique et mésosphérique. Une deuxième génération de cet instrument de télédétection depuis le sol (Stratospheric Ozone Monitoring Radiometer SOMORA) est exploitée de manière opérationnelle par MétéoSuisse à Payerne depuis 2002.

Les mesures par satellites jouent un rôle très important pour déterminer la distribution de l'ozone total sur tout le globe terrestre. Leur utilisation pour la Suisse requiert une bonne



## Ozone total Les séries de mesure et leur portée

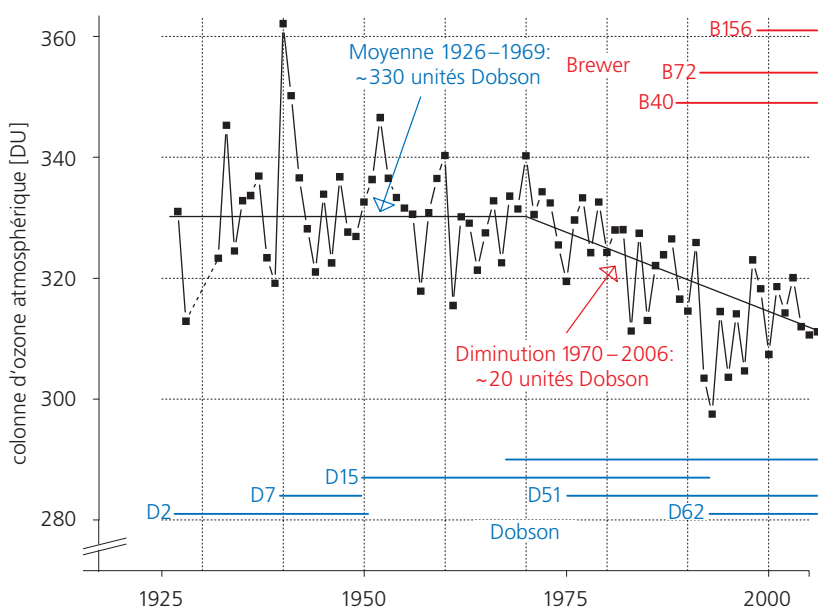
Les mesures d'ozone ont une longue tradition en Suisse; les premières ont débuté en 1926 à Arosa. L'ozone total y a été mesuré depuis lors chaque jour ensoleillé, presque sans interruption. Le même type d'instrument Dobson a été utilisé pratiquement depuis le début. Le réseau mondial de surveillance de la couche d'ozone est du reste toujours largement basé sur les mesures Dobson. Dans les années 1980, un deuxième type d'instrument, Brewer,

a été développé au Canada et MétéoSuisse a mis en service un premier Brewer (B40) à Arosa en 1988. Dans les années suivantes, deux instruments Brewer supplémentaires y ont été installés. Actuellement, deux photomètres Dobson et trois Brewer mesurent l'ozone total à Arosa.

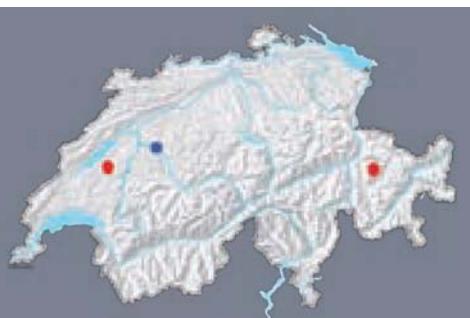
Les réseaux mondiaux de Brewer et de Dobson ont maintenu jusqu'à présent des procédures indépendantes de calibration. Le premier se

### Ozone total à Arosa 1926 – 2006

Moyennes annuelles en unités Dobson (DU)



Des photomètres Dobson sont exploités à Arosa depuis 80 ans pour la mesure de l'ozone total. Cette série de mesures se base principalement sur les trois Dobson No 2, 15 et 101, ainsi que sur les appareils redondants D7 et D62. La série des données représentée ici a été homogénéisée avec grand soin à partir des données de ces instruments (Staehelin et al., 1998; Zanis et al., 2006; MétéoSuisse, 2007). Le Dobson doit encore être manuellement exploité, tandis que le Brewer fonctionne automatiquement (Komhyr, 1980). La série de mesure Dobson d'Arosa est la plus longue au plan mondial. Elle permet d'analyser l'état de la couche d'ozone avant et après le début des influences anthropogènes, ainsi que les interactions entre l'ozone et le climat.



Mesures de l'ozone total et du profil vertical d'ozone. Rouge: mesures opérationnelles par MétéoSuisse à Payerne et Arosa; bleu: mesures de recherche à l'Université de Berne.

résolution horizontale. Celle-ci est de 13x24 km pour l'ozone total dérivé des données de l'OMI (Ozone Monitoring Instrument). Les mesures effectuées depuis le sol en Suisse (Dobson/Brewer à Arosa, radiosondages à Payerne, radiomètre micro-ondes à Berne et à Payerne) peuvent contribuer de manière déterminante à la validation des données satellitaires.

base sur l'instrument de référence américain D083 et le second sur un groupe de trois références de Toronto. Les deux réseaux délivrent des valeurs presque identiques, avec cependant de petites différences de 1 à 3% selon la saison et la latitude. Ces différences font actuellement l'objet de recherche, et les 20 ans de mesures parallèles avec ces deux types d'instruments à Arosa y jouent un rôle très important.



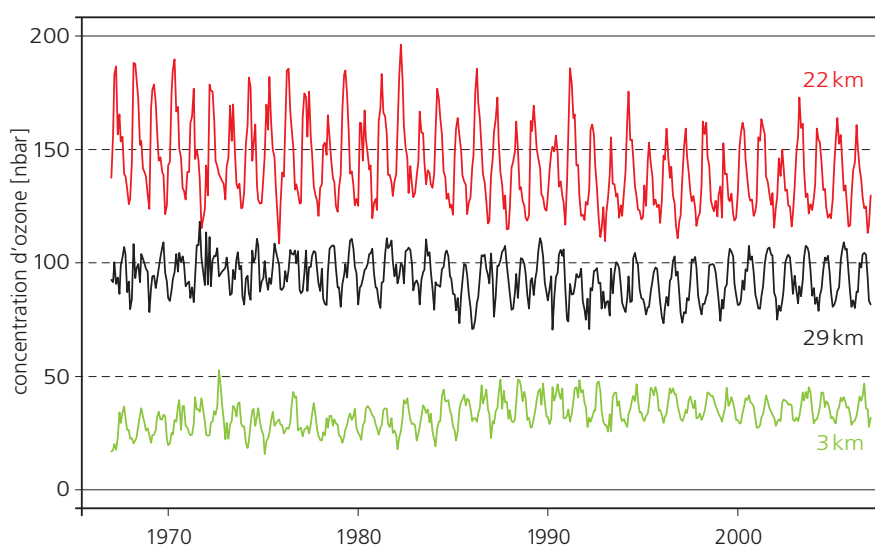
## Profil vertical d'ozone 0 – 50km Les séries de mesure et leur portée

Des informations sur la distribution verticale de l'ozone sont importantes, car les processus de sa formation et de sa destruction se différencient fortement entre la troposphère et la stratosphère. Les premières estimations du profil d'ozone ont été obtenues au moyen de mesures spéciales Dobson dans les années 1930. Cette méthode appelée « Umkehr » est toutefois très fastidieuse, puisqu'elle débute avant le lever de soleil, respectivement finit

après le coucher du soleil. Cette méthode de mesure ne permet de distinguer que 6 à 9 couches entre 5 et 50 km d'altitude. En outre, elle fait appel à un traitement mathématique très complexe. Par conséquent, l'exécution opérationnelle de ces mesures a dû attendre les années 1950. La série de profils d'ozone Umkehr a débuté à Arosa avec le Dobson D15. En 1980, le Dobson D51 automatisé a été mis en service.

## Sondage d'ozone à Payerne 1967 – 2006

Concentrations mensuelles de l'ozone à trois altitudes différentes



Séries des concentrations mensuelles de l'ozone mesuré de 1967 à 2006 à trois altitudes différentes au moyen de radiosondes (Jeannot et al., 2007). La concentration maximale d'ozone en unités absolues (nbar) est située vers 22 km d'altitude et correspond au maximum de la couche d'ozone sous nos latitudes. Les mesures Umkehr d'Arosa fournissent des séries chronologiques similaires débutant en 1956. Pour la radiométrie micro-ondes, la série débute en 1995. La complémentarité de ces différentes séries de mesure est unique et permet des analyses comparatives très importantes, destinées à assurer la qualité optimale des longues séries d'ozone, y compris celles des satellites.

La série Umkehr d'Arosa est aussi la plus longue au plan mondial et constitue une des rares sources d'information sur la distribution verticale de l'ozone dans les années 1955 à 1970, avant le début des observations par satellite. Depuis 1988, le Brewer B40 entièrement automatique livre aussi de tels profils d'ozone. Ces longues séries de mesure parallèles font actuellement l'objet d'importants travaux d'homogénéisation. A la fin des

années 1960, les profils d'ozone ont pu être mesurés directement avec de petites radiosondes d'ozone. Après une année de mesure depuis Thalwil (1967), un radiosondage d'ozone est effectué à Payerne trois fois par semaine (lundi, mercredi, vendredi midi) en combinaison avec une radiosonde météorologique. Ces profils d'ozone sont caractérisés par une très bonne résolution verticale (actuellement environ 50 m) du sol à 30 – 35 km d'altitude.



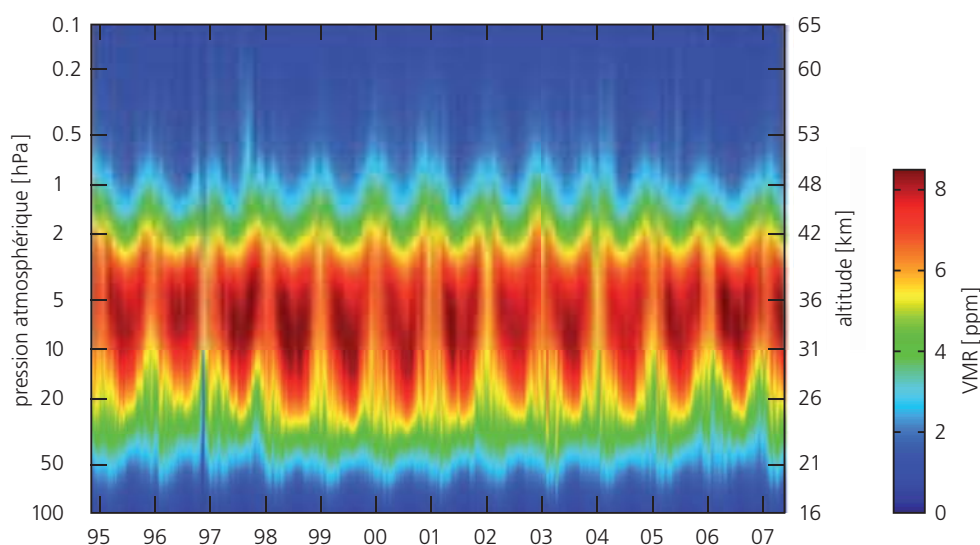
## Profil vertical d'ozone 20 – 70 km Les séries de mesure et leur portée

Au début des années 1990, l'Institut de physique appliquée (IAP) de l'Université de Berne a développé le radiomètre micro-ondes GROMOS (Ground-Based Millimeter-Wave Ozone Spectrometer). Depuis 1994, GROMOS mesure le profil d'ozone toutes les 30 minutes environ. Son successeur, SOMORA (Stratospheric Ozone Monitoring Radiometer), a fonctionné parallèlement au GROMOS à Berne de janvier 2000 à mi-2002,

date de son déménagement à Payerne pour exploitation opérationnelle par MétéoSuisse. De par son domaine de mesure de 20 à 70 km d'altitude et sa haute résolution temporelle, cette série de plus de dix années complète celle des radiosondages, puisqu'elle permet des analyses sur les altitudes au-dessus de celle de l'éclatement du ballon du radiosondage, ainsi que sur les processus stratosphériques de courte durée de vie.

## Profil d'ozone du radiomètre micro-ondes 1995 – 2007

Série homogénéisée de Berne et Payerne



Série homogénéisée du profil d'ozone mesuré par radiométrie micro-ondes à Berne et à Payerne dans le cadre du NDACC. Les concentrations volumiques relatives (VMR) de l'ozone montrent un maximum vers 35 km pendant le semestre d'été. Les maxima atteignent 8 parties par million (ppm). Les profils d'ozone varient en outre sur des échelles de temps allant du jour au mois, qui correspondent aux processus de transports stratosphériques. La variation annuelle de la répartition verticale est clairement visible.

## Intégration internationale

Les mesures d'Arosa (Dobson et Brewer) et de Payerne (radiosondages d'ozone) sont régulièrement transmises au World Ozone and UV Radiation Data Center (WOUDC) à Toronto. Les données des deux radiomètres micro-ondes GROMOS et SOMORA sont transmises au NDACC. Ces séries de mesure sont fréquemment utilisées dans les publications scientifiques internationales, p.ex. dans les «Scientific Assessments of Ozone Depletion» publiés tous les quatre ans par l'OMM et le PNUE. Elles ont toutes une grande importance dans la poursuite de la surveillance

de l'ozone. A l'avenir, elles seront de plus en plus assimilées dans les modèles numériques en même temps que celles des satellites, ceci conformément à la stratégie «Integrated Global Atmospheric Chemistry Observation (IGACO)». Dans le cadre de l'initiative commune de l'UE et de l'ESA «Global Monitoring for Environment and Security (GMES)», des cartes globales et régionales de l'ozone sont déjà produites tous les jours de manière pré-opérationnelle par le GMES Service Element PROMOTE (PROtocol MOniToring for GMES Service Element on Atmospheric Composition).

## Ressources nécessaires

L'exploitation des mesures d'ozone à Payerne et à Arosa est assurée dans le cadre du mandat légal de MétéoSuisse, ainsi que par

l'intermédiaire de la contribution suisse au programme de la Veille de l'Atmosphère Globale (VAG) de l'OMM.

## 2.9 Dioxyde de carbone

Les gaz à effet de serre anthropiques sont la cause principale de la hausse de la température globale. Dès le début de l'industrialisation, on constate une augmentation de la concentration de ces gaz dans l'atmosphère. La concentration du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, le principal gaz à effet de serre à part la vapeur d'eau, est aujourd'hui de bien 35 % supérieure à son niveau préindustriel.



### § Bases légales

Pour la politique climatique suisse, les objectifs de la loi fédérale sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (Loi sur le CO<sub>2</sub>, RS 641.71) est d'importance centrale au niveau national, de même que, au niveau international, les objectifs en matière d'émissions selon le Protocole de Kyoto (RS 0.814.011), lequel est fondé sur la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (Convention du climat, RS 0.814.01). Dans le contexte de ces lois nationales et internationales, la Suisse est tenue de réunir chaque année les chiffres les plus récents sur les émissions de gaz à effet de serre. Cette tâche incombe à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

### Mesures effectuées en Suisse

La Loi sur le CO<sub>2</sub> se limite aux émissions de CO<sub>2</sub> attribuables à l'utilisation énergétique de combustibles et carburants fossiles. Elle stipule que ces émissions de CO<sub>2</sub> doivent être abaissées en Suisse de 10 % d'ici 2010 par rapport à leur niveau de 1990. Les émissions de CO<sub>2</sub> selon la loi sur le CO<sub>2</sub> représentent en Suisse à peu de chose près 80 % des gaz définis par le Protocole de Kyoto comme ayant un effet sur le climat, ce qui souligne l'importance de la loi sur le CO<sub>2</sub> pour remplir les exigences dudit Protocole.

Pour établir la statistique annuelle du CO<sub>2</sub> pour la loi sur le CO<sub>2</sub> et l'inventaire des gaz à effet de serre pour le Protocole de Kyoto, les émissions ne sont pas mesurées directement, mais déterminées entre autres à partir de la statistique de la consommation de combustibles et carburants (statistique globale suisse de l'énergie de l'Office fédéral de l'énergie).

Les émissions de CO<sub>2</sub> dues aux combustions sont calculées pour chaque agent énergétique en multipliant les quantités consommées par les facteurs d'émission correspondants.

La teneur de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> est mesurée en Suisse par l'Institut de physique de l'Université de Berne depuis fin 2000 au Jungfraujoch et depuis octobre 2003 à Berne. Des échantillons d'air sont prélevés le matin entre 6h30 et 7h30 dans des bouteilles en verre de 1 litre. Ceci garantit que l'on mesure bien la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère libre (« background air ») et évite la pollution des échantillons par advection verticale à partir des couches d'air plus polluées situées à plus basse altitude. A part la proportion de CO<sub>2</sub>, ces échantillons servent à déterminer aussi le rapport O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> et la part de <sup>13</sup>C. Le CO<sub>2</sub> est mesuré avec une précision supérieure à ± 0.5 parties par million (ppm).

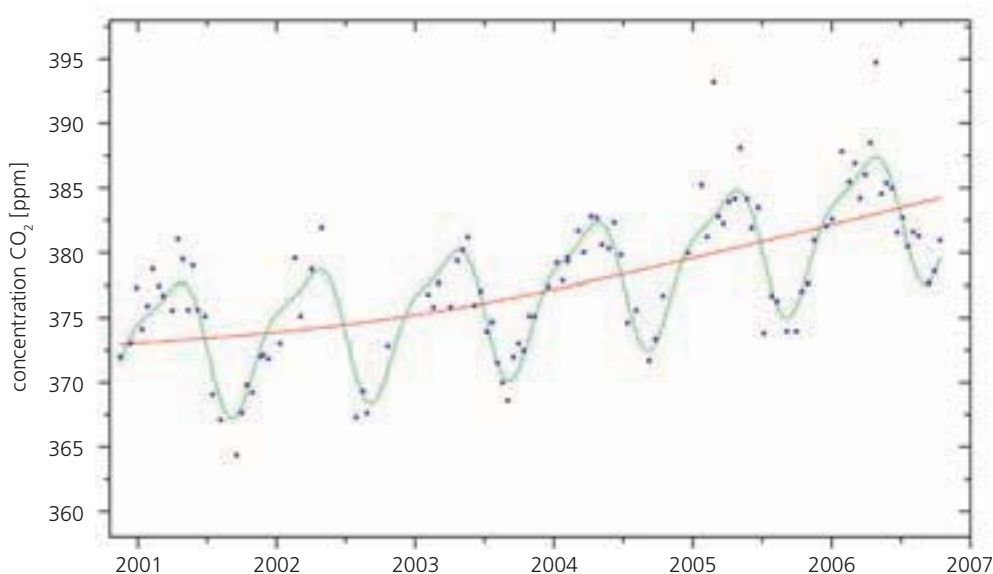
## Les séries de mesure et leur portée

L'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique est le résultat de l'accroissement des émissions anthropiques provenant de la combustion d'agents énergétiques fossiles et de changements dans l'utilisation des sols. L'équilibre entre émission et absorption par la biosphère terrestre et les océans détermine la proportion de CO<sub>2</sub> mélangé à l'atmosphère. Environ la moitié des émissions est absorbée par les océans et la biosphère terrestre. La détermination des puits de carbone océaniques et terrestres ainsi que

de leur variabilité temporelle est importante pour mieux comprendre le rôle des écosystèmes comme réservoir de carbone et l'absorption de CO<sub>2</sub> par les océans. Le niveau de l'absorption du carbone par la biosphère terrestre et les océans peut être obtenu par des mesures combinées de l'O<sub>2</sub> (ou de O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>) et du CO<sub>2</sub>. C'est pourquoi la série de mesure de CO<sub>2</sub> et de O<sub>2</sub> commencée en 2000 au Jungfraujoch prend une très grande importance pour le SMOC.

## Dioxyde de carbone au Jungfraujoch 2000 – 2007

Concentration en parties par million (ppm)



Mesures du dioxyde de carbone au Jungfraujoch. Elles font apparaître une variation saisonnière du CO<sub>2</sub> de 11 ppm (ligne verte). Une comparaison avec d'autres stations indique une tendance à l'accroissement du CO<sub>2</sub> (ligne rouge) pendant les trois dernières années (2003–2006) (Sturm et al., 2005; Valentino et al., in press). Le taux d'augmentation durant ces années fut nettement supérieur à 2ppm annuels. Le dioxyde de carbone est le plus important gaz à effet de serre de la terre à part la vapeur d'eau.



Mesures du dioxyde de carbone en Suisse, aux stations Jungfraujoch et Berne.

Jungfraujoch et Berne sont aussi importantes dans le contexte mondial. Des stations de mesure du CO<sub>2</sub> supplémentaires, notamment continentales, sont nécessaires pour réduire les incertitudes dans la détermination des flux terrestres de carbone. Des mesures simultanées de l'O<sub>2</sub> atmosphérique sont peu nombreuses, même au-dessus du continent européen.

## Intégration internationale

Les mesures du CO<sub>2</sub> en Europe sont ou seront intensifiées dans le cadre des projets « Airborne European Regional Observations of the Carbon Balance (AEROCARB) », CarboEurope et CarboEurope-IP de l'UE. La station du Jungfraujoch était l'une des six « flask sampling stations » au sol qui ont effectué des mesures combinées de précision du CO<sub>2</sub> et d'O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

pour AEROCARB. Le réseau de mesure de CarboEurope-IP est composé de mesures continues au sol et sur des mâts, de mesures « flask sampling » et de profils verticaux aéronautiques. La station du Jungfraujoch fait partie des 12 stations de mesures au sol et des 24 stations « flask sampling ».

## Ressources nécessaires

Les mesures du CO<sub>2</sub> au Jungfraujoch sont assurées sur le plan financier jusqu'en 2008 par le projet CarboEurope-IP de l'UE. Ensuite, le

financement du monitoring à long terme devrait être assuré par le GCOS Suisse.

## 2.10 Gaz à effet de serre

D'autres gaz que le dioxyde de carbone contribuent également à l'effet de serre: le méthane, l'oxyde nitreux et certains gaz synthétiques. La concentration de ces gaz à effet de serre ne cesse d'augmenter, ce qui renforce encore le réchauffement de la terre. Le monitoring à long terme de ces gaz climatiques est d'une grande importance dans le contexte de la législation.



### § Bases légales

Le Protocole de Kyoto (RS 0.814.011), qui est fondé sur la Convention du climat (RS 0.814.01), inclut, à part le  $\text{CO}_2$ , également le méthane ( $\text{CH}_4$ ), l'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et trois gaz synthétiques halogénés (HFC, PFC,  $\text{SF}_6$ ). La Suisse s'est engagée dans le Protocole de Kyoto à abaisser de 8 % la somme des émissions des six gaz à effet de serre entre 2008 – 2012 (1<sup>re</sup> période d'engagement) par rapport à 1990. Le Protocole de Montréal, relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (RS 0.814.021), traite des substances qui dégradent l'ozone (HCFC) et leurs succédanés. L'utilisation de ces substances est réglementée par l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim, RS 814.81).

### Mesures effectuées en Suisse

L'Empa et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) mesurent les concentrations de méthane ( $\text{CH}_4$ ), de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et d'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ) dans l'atmosphère depuis février 2005, à la station du Jungfraujoch, dans le cadre du réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL). Dans cette même station, ils mesurent également les gaz halogénés à effet de serre tels que les hydrofluorocarbones (HFC) et hydrocarbures perfluorés (PFC), depuis l'an 2000, pour le «System for Observation of Halogenated Greenhouse Gases in Europe (SOGE)». C'est aussi au Jungfraujoch que sont mesurées les concentrations de  $\text{CO}_2$  (→ 2.9 Dioxyde de carbone).

Ces mesures continues permettent d'indiquer les tendances des différentes substances et font partie d'un système de monitoring global. Combinées avec des modèles météorologiques,

elles peuvent également être utilisées pour évaluer les émissions suisses et européennes de ces substances. On peut ainsi contrôler en toute indépendance les estimations que chacun des pays fait de ses émissions dans le cadre du Protocole de Kyoto.

C'est également au Jungfraujoch qu'on mesure les chlorofluorocarbones et les hydrochlorofluorocarbones (CFC, HCFC), destructeurs de la couche d'ozone stratosphérique. Ces mesures peuvent servir à identifier les émissions diffuses de ces substances interdites par le Protocole de Montréal qui subsistent encore, et à localiser leurs applications en Europe.

On mesure aussi les gaz climatiques halogénés (CFC, HCFC, HFC) à Dübendorf, lors de campagnes réalisées à intervalles de quelques années, afin d'évaluer les émissions à proximité de leur source et de les comparer avec les mesures du Jungfraujoch.



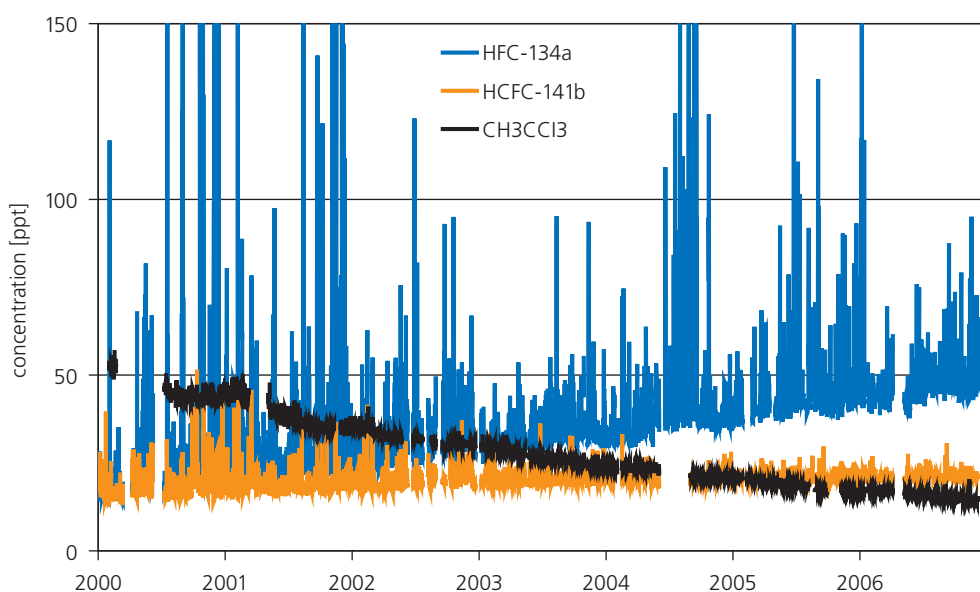
## Les séries de mesure et leur portée

La station du Jungfraujoch se prête idéalement aux travaux de recherche sur les émissions de polluants en raison de sa situation élevée, au milieu des Alpes, et centrale, au cœur de l'Europe industrialisée, et de la faible pollution locale. Les mesures de gaz à effet de serre ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) au Jungfraujoch ne sont effectuées que depuis 2005, mais représentent le début d'une série qui sera très importante à l'avenir

pour le SMOC. Les mesures des gaz climatiques synthétiques, effectuées au Jungfraujoch dans le cadre du SOGE, ne sont, elles aussi, opérationnelles que depuis 2000, mais font néanmoins apparaître déjà les premiers signes des efforts internationaux menés en conformité avec le Protocole de Montréal pour réduire les substances qui dégradent l'ozone.

## Gaz à effet de serre au Jungfraujoch 2000 – 2006

Concentration en parties par milliard (ppt)



Concentration de trois gaz à effet de serre au Jungfraujoch depuis le début des mesures en l'an 2000. La courbe en baisse du trichloroéthane solvant ( $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ , noir), interdit par le Protocole de Montréal, montre nettement le succès de cette interdiction (Reimann et al., 2005). L'agent moussant de la 2<sup>e</sup> génération interdit depuis 2003 (HCFC-141b, orange) affiche également des émissions en baisse (Derwent et al., 2007). En revanche, les produits de substitution tels que le réfrigérant à effet de serre HFC-134a (bleu) sont en nette hausse (Reimann et al., 2004).



Stations dans lesquelles sont mesurés les gaz à effet de serre autres que le  $\text{CO}_2$ . Rouge : Station globale VAG Jungfraujoch ; bleu : Dübendorf.

## Intégration internationale

La station du Jungfraujoch, en tant que station globale de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) a un rôle extrêmement important en matière de monitoring de la composition atmosphérique. Toutes les stations VAG de mesure du  $\text{CO}_2$  et du  $\text{CH}_4$  font également partie du SMOC. Les données sont transmises régulièrement au World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG) au Japon. Il

existe en outre une collaboration étroite entre la station du Jungfraujoch et le célèbre réseau de mesures «Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE)». Les mesures se fondent sur la même échelle de calibrage et une technique de mesure analogue, aboutissant à des résultats très précis, comparables et présentant la même résolution dans le temps.

## Ressources nécessaires

Les mesures des gaz à effet de serre à la station du Jungfraujoch sont financées dans le cadre de projets de recherche limités dans le temps.

Elles seront reprises ensuite dans le programme de mesure du NABEL (→ 2.11 Polluants).



## 2.11 Polluants

Des gaz traces à effet de serre indirect (dits précurseurs), tels que le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et les composés organiques volatils (COV sans méthane), n'absorbent que faiblement le rayonnement infrarouge, mais sont néanmoins chimiquement actifs dans l'atmosphère. Ils favorisent la formation de gaz traces à effet de serre et en prolongent la durée de vie.



### §

#### Bases légales

La politique suisse de protection de l'air est fondée sur la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01). Cette loi oblige la Confédération et les cantons à effectuer des relevés sur la pollution de l'environnement et de contrôler le succès des mesures de la LPE. Selon l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair, RS 814.318.142.1), l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a la tâche de procéder à des relevés sur l'état et l'évolution de la pollution atmosphérique dans l'ensemble de la Suisse. Par cela, la politique suisse de protection de l'air satisfait aussi à des accords internationaux (Convention de Genève, RS 0.814.32) et à leurs protocoles additionnels.

#### Mesures effectuées en Suisse

Le réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL), un projet commun de l'OFEV et de l'Empa, est un élément important de la protection de l'air en Suisse; il constitue l'épine dorsale des mesures d'immission dans le pays. Le NABEL mesure la pollution de l'air en seize sites représentatifs des principales situations en matière de pollution: (a) centre ville, trafic dense (Berne, Lausanne), (b) centre ville (Lugano, Zurich), (c) banlieue (Bâle-Binningen, Dübendorf), (d) région rurale près d'une autoroute (Härkingen, Sion), (e) région rurale, au-dessous de 1000 m d'alt. (Chaumont, Davos, Rigi-Seebodenalp), (g) haute montagne (Jungfraujoch).

Le programme de mesures du NABEL porte, selon les stations, sur des polluants gazeux (ozone  $\text{O}_3$ , monoxyde d'azote NO, dioxyde d'azote  $\text{NO}_2$ , oxydes d'azote  $\text{NO}_x$ , dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$ , monoxyde de carbone CO), la

poussière fine et les retombées de poussière, les composés organiques volatils (COV), l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), les poussières fines (PM10, PM2, PM1, le nombre de particules, la distribution de la taille des particules et la composition) ainsi que les retombées de poussières et les substances contenues dans la pluie. Le programme de mesure est continuellement adapté aux exigences nouvelles et complété par de nouvelles grandeurs.

Les longues séries de mesure précises permettent à la fois d'évaluer l'évolution de la qualité de l'air et de contrôler le succès des mesures prises pour diminuer la pollution atmosphérique. Grâce aux séries de mesure, on peut évaluer l'effet des polluants gazeux et des particules d'aérosol sur l'homme et sur l'environnement. Les données relevées permettent également d'en savoir plus sur les sources, les puits et les processus chimico-atmosphériques.

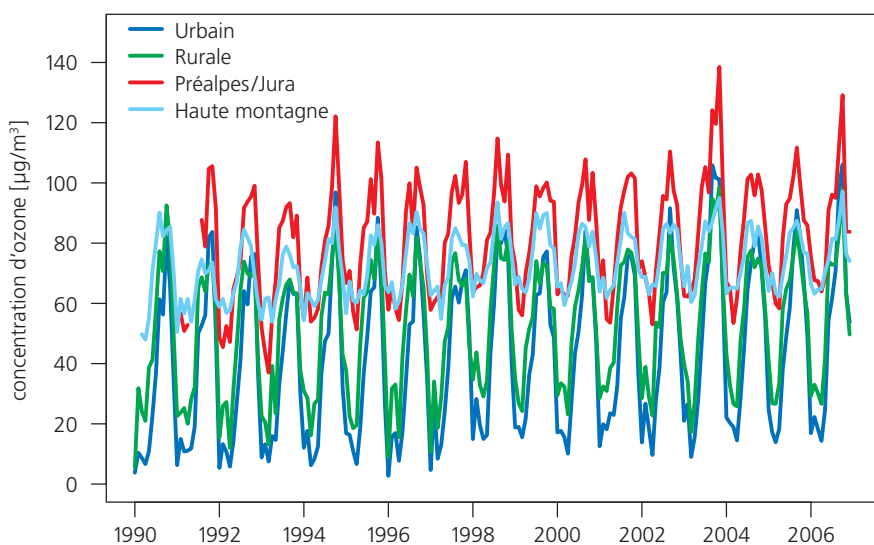
## Les séries de mesure et leur portée

L'Empa a commencé à mesurer les polluants atmosphériques en Suisse en 1969, dans trois stations (Dübendorf, Payerne, Locarno-Monti), dans le cadre d'une collaboration internationale entre onze pays. Au cours des années suivantes, ces mesures ont été complétées par la station du Jungfrauoch. Le NABEL est entré en service par étapes en 1979. De 1989 à 1991, le réseau de mesure a été modernisé et le nombre de ses stations a passé de huit à seize. La plus

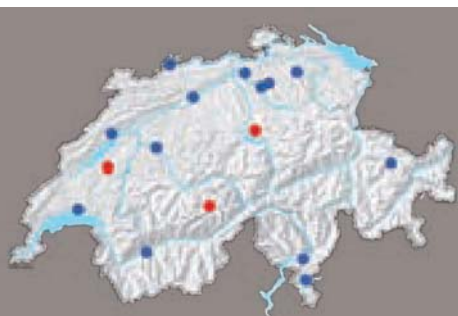
longue des séries de mesure qui se poursuivent encore aujourd'hui est celle du SO<sub>2</sub> à Payerne (depuis 1969); les mesures de la poussière en suspension dans les stations de Dübendorf et de Payerne (depuis 1973) et celles du SO<sub>2</sub> et de la poussière en suspension dans la station de haute montagne du Jungfrauoch (également depuis 1973) comptent aussi parmi les longues séries.

## Ozone près du sol en Suisse 1990 – 2006

Concentration en microgrammes par m<sup>3</sup> d'air pour différentes situations d'exposition



L'ozone est le troisième en importance des gaz à effet de serre sous influence anthropique. La figure montre l'évolution de la concentration d'ozone dans l'air depuis 1990 (moyennes mensuelles) dans différentes situations d'exposition. La médiane et les quantiles inférieurs augmentent durant la période considérée pour toutes ces situations. Dans les régions urbaines, cette augmentation est attendue du fait de la réduction des oxydes d'azote. L'accroissement des concentrations d'ozone dans les stations rurales et préalpines dénote une hausse de l'ozone anthropique de fond dans l'hémisphère Nord. Les valeurs horaires maximales dans les sites fortement pollués diminuent légèrement depuis 1990. Ceci est observé de façon particulièrement nette sur le versant sud des Alpes (Ordóñez et al., 2005, 2007; Brönnimann et al., 2002).



**Stations NABEL. Rouge: stations NABEL intégrées au programme de Veille de l'Atmosphère Globale (VAG) et/ou au European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP).**

La mesure des polluants atmosphériques effectuée à l'aide d'instruments satellitaires (p.ex. SCIAMACHY sur Envisat, OMI sur Aura, GOME-2 sur Metop) sera de plus en plus importante. Les premiers résultats des expériences de validation à l'aide de stations de mesure au sol sont prometteurs.

## Intégration internationale

Le NABEL entretient un échange de données intense avec plusieurs programmes de mesure internationaux. Depuis le début des mesures, les stations rurales de Payerne et du Rigi font partie de l'EMEP qui étudie notamment la diffusion à grande échelle des polluants atmosphériques au-dessus de l'Europe. Le NABEL contribue aussi au programme VAG de l'OMM: le Jungfrauoch est une station globale, le Rigi une station régionale VAG. En outre, le NABEL met des données à disposition de l'EuroAirnet qui a

été mis en place par l'Agence européenne pour l'environnement (EEA) et comprend principalement des stations dans les villes et les agglomérations urbaines de tous les États européens. Les mesures des stations NABEL présentant les prévisions de qualité de l'air et l'assimilation de données, sont aussi intégrées dans le projet pilote PROMOTE du Global Monitoring for Environment and Security (GMES).

## Ressources nécessaires

Le financement du réseau de mesure NABEL est assuré à long terme par les contributions de l'OFEV et de l'Empa.



## 2.12 Aérosols

Les aérosols ont des effets directs et indirects sur l'atmosphère. L'ordre de grandeur de ces effets sur le réchauffement climatique est actuellement une des plus grandes inconnues des modèles climatiques. Les aérosols sont aussi inhalés par les hommes et peuvent provoquer des troubles de la santé.



### §

#### Bases légales

La Suisse est membre de l'Organisation météorologique mondiale OMM (RS 0.429.01) et participe, suivant une décision du Conseil fédéral du 25 novembre 1994, au programme OMM de Veille de l'Atmosphère Globale (VAG). L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable du programme suisse de la VAG. En outre, les valeurs limite des aérosols anthropogènes sont prescrites par la législation sur les polluants atmosphériques (→ 2.11 Polluants).

#### Mesures effectuées en Suisse

Dans le cadre du programme suisse de la VAG, l'Institut Paul Scherrer (PSI), sur mandat de MétéoSuisse, a mesuré sans interruption les aérosols à la station de recherche de haute altitude du Jungfrauoch (HFSJ). Les principaux paramètres mesurés sont les coefficients de diffusion, de rétrodiffusion et d'absorption à plusieurs longueurs d'onde, la concentration du nombre de particules, les concentrations en masse (TSP: totalité des particules en suspension, PM10: particules < 10 µm, PM1: particules < 1 µm), ainsi que la composition chimique. Certaines mesures des aérosols au Jungfrauoch (TSP, PM10) sont intégrées dans le réseau NABEL (→ 2.11 Polluants). De plus, les 4 stations CHARM (→ 2.5 Rayonnement) mesurent la profondeur optique des aérosols (AOD) à l'aide des photomètres solaires.

Le réseau automatique des aérosols (Aerosol RObotic NETwork AERONET) a aussi des

stations en Suisse. Le programme AERONET a été établi conjointement par la NASA et le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et coordonne actuellement environ 400 stations de télédétection des aérosols depuis le sol (constituées de photomètres identiques et automatiques mais mesurant dans différents spectres de longueurs d'onde), qui sont exploités par des offices nationaux, des centres de recherche ou des hautes écoles. La Suisse compte 2 stations AERONET, Lägern (depuis 2003; exploitée par l'Université de Berne) et Davos (depuis 2005; exploitée par le PMOD/WRC).

En plus du monitoring des aérosols au sol, les mesures du réseau européen de Lidar (EARLINET) permettent d'avoir des mesures des différentes couches atmosphériques. En Suisse, l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et l'Université de Neuchâtel contribuent



## Les séries de mesure et leur portée

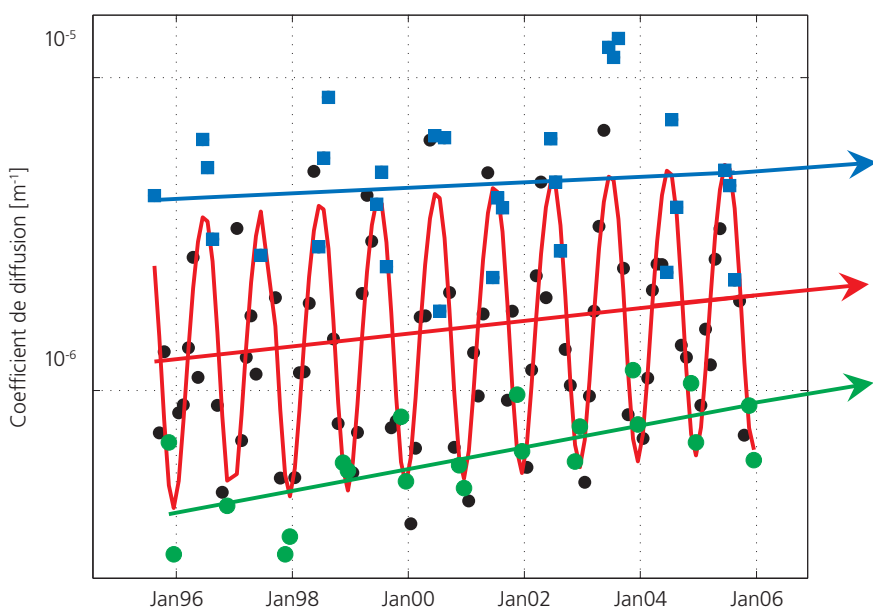
La concentration massique des TSP est mesurée de manière continue depuis 1973 dans le cadre du réseau de mesure NABEL. Depuis 2006, ces mesures ont été remplacées par la concentration massique des PM10. Depuis 1988, le PSI effectue les mesures continues des paramètres des aérosols au Jungfraujoch. Le premier paramètre mesuré dès le début fut la concentration de surface des aérosols. En 1995, le programme de mesure

a été fortement développé et intégré au programme de la VAG. La composition chimique est mesurée depuis 1998.

Les mesures de protection de l'air ont notablement réduit les émissions de particules fines en Europe durant les 2 dernières décennies; une stabilisation voire même une hausse des concentrations de particules fines est cependant actuellement observée.

## Trend des aérosols au Jungfraujoch 1995 – 2006

Coefficient de diffusion en  $m^{-1}$



Trends de 10.5 ans de mesures des aérosols au Jungfraujoch. Un des principaux résultats est l'augmentation du coefficient de diffusion (valeurs mensuelles en noir) pour les mois de septembre à décembre (points et ligne verts), bien que la station du Jungfraujoch se situe la plupart du temps dans la troposphère libre pendant cette période. Pendant les mois d'été (juin à août: carrés et ligne bleus), aucun trend significatif n'est constaté, alors que le Jungfraujoch est fortement influencé par la couche limite planétaire (PBL) durant cette période de l'année. Les trends positifs des propriétés optiques des aérosols en automne peuvent être liés à une augmentation de l'influence des masses d'air de la PBL ou à des transports à longue distance de contrées dont la pollution de l'air est en augmentation (Collaud Coen et al., 2007).



Principales stations de mesure des aérosols. Rouge: Jungfraujoch (GAW, CHARM); bleu: Lägeren (AERONET), Davos (AERONET, CHARM), Payerne (CHARM), Locarno-Monti (CHARM).

au EARLINET.

Les mesures satellitaires passives de l'AVHRR (sur NOAA), MERIS (sur ENVISAT), MODIS et MISR (sur Terra), ainsi que les nouvelles activités satellitaires de CALIPSO (Lidar) et CLOUDSAT (Radar de nuages) livrent d'importantes données complémentaires sur les aérosols (par exemple l'AOD).

## Intégration internationale

Depuis 2006, le Jungfraujoch fait partie des 25 stations globales du réseau mondial de la VAG. Les données des aérosols du Jungfraujoch sont régulièrement envoyées au Centre Mondial de Données pour les Aérosols (WDCA) au Joint Research Centre (JRC) à Ispra (I), ainsi qu'au Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP) au Norwegian Institute for Air Research (NILU).

Les partenaires internationaux en lien avec la

longue série de mesure des aérosols du PSI sont le DLR (coefficient d'absorption des aérosols), la NOAA à Boulder (coefficient de diffusion des aérosols) et TERA Environment (analyses chimiques). Par ailleurs, de nombreuses campagnes de mesures ont lieu au Jungfraujoch, en particulier sur les interactions entre les aérosols et les nuages. Les activités de monitoring et de recherche font partie de plusieurs projets de recherche européens, dont ACCENT, EUSAAR et GEOMON.

## Ressources nécessaires

Le financement des mesures des aérosols au Jungfraujoch est assuré par le programme suisse de la VAG. Les mesures AERONET de Lägeren

et Davos sont financées respectivement par l'Université de Berne et par le PMOD/WRC.

## 2.13 Pollen

L'émission et la dispersion du pollen dans l'air sont gouvernées par des paramètres météorologiques tels que la température, la durée d'ensoleillement, les précipitations et le vent. La mesure du pollen permet de détecter les modifications de la saison pollinique, leurs incidences sur les maladies allergiques et l'extension de l'aire de répartition de plantes allergisantes.



### §

#### Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. En outre, elle s'emploie à fournir des informations climatologiques et à mettre en œuvre des mesures contribuant à garantir durablement un environnement sain. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse effectue ainsi la mesure de la concentration de pollen dans l'air. En raison de la propagation de l'ambroisie dans notre pays, les Offices fédéraux de la santé publique (OFSP), de l'agriculture (OFAG) et de l'environnement (OFEV) s'engagent conjointement dans la lutte contre cette plante très allergisante.

#### Mesures effectuées en Suisse

Depuis la fin des années 1960, des mesures du pollen de l'air sont réalisées en Suisse grâce à des initiatives privées. Le groupe suisse de travail en aérobiologie a coordonné ces mesures dès 1982. MétéoSuisse a repris cette tâche depuis 1993 et exploite le Réseau national de mesure du pollen NAPOL. Ce réseau comprend 14 stations représentatives des divers climats et végétations de Suisse. La plupart des stations de mesures sont situées à proximité d'agglomérations. Elles sont en service pendant la période de végétation, du 1<sup>er</sup> janvier au 30 septembre. Chaque station est équipée d'un capteur de pollen volumétrique. Les grains de pollen sont chaque semaine identifiés au microscope dans les laboratoires de MétéoSuisse à Payerne et Zurich et les données exprimées en concentrations journalières moyennes par mètre cube d'air. Des recherches sont en cours afin d'automatiser ces mesures et de disposer

de données en temps presque réel.

Un petit nombre seulement des types de pollen présents dans l'air provoque des allergies chez une part importante de la population. En Suisse, il s'agit du pollen de six plantes : le noisetier, l'aune, le bouleau et le frêne au printemps, les graminées à la fin du printemps et en été et l'armoise en été. L'allergie au pollen de graminées touche plus de 12 % de la population et se manifeste surtout en mai et juin. Ces dernières années, l'augmentation des concentrations de pollen d'ambroisie a été détectée précocement grâce au réseau NAPOL.

Les concentrations de pollen dans l'air varient au cours de la journée et d'un jour à l'autre en fonction des conditions météorologiques et des régions.



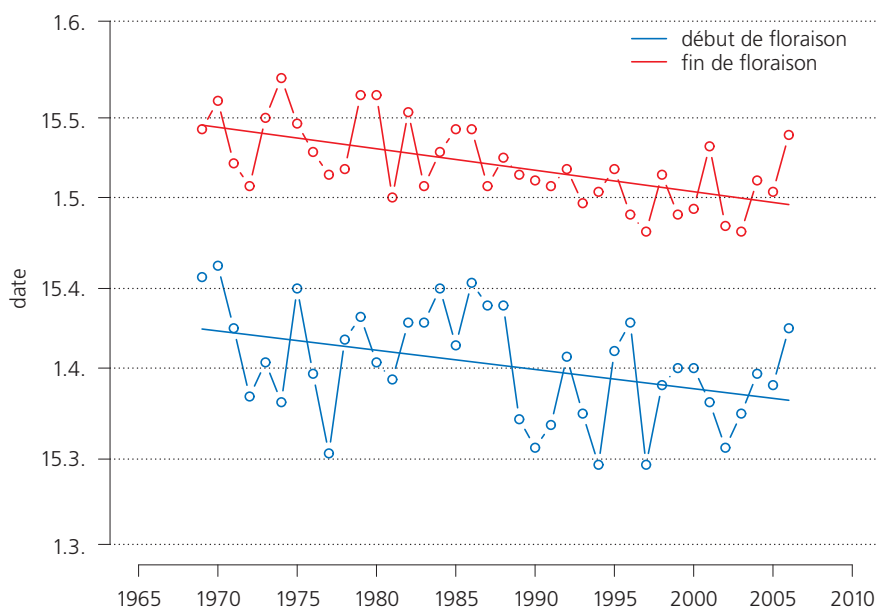
## Les séries de mesure et leur portée

Les premières analyses à l'aide de capteurs volumétriques en Suisse ont été réalisées à Bâle en 1969. Depuis les années 1980, les stations de Neuchâtel, Davos et Lugano mesurent également les concentrations polliniques, dont celles des plantes les plus importantes pour les allergies en Europe centrale: noisetier, aune, bouleau, frêne, graminées et armoise, ainsi que la très allergisante et envahissante ambrisie. En Suisse, ces types de pollen sont responsables d'environ 95 % des allergies.

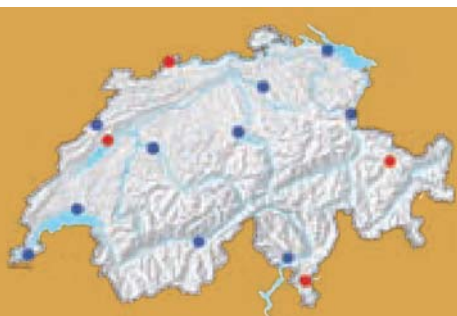
Parmi les stations du réseau NAPOL, celles de Bâle (pied nord de Jura), Neuchâtel (Plateau), Davos (régions alpines) et Lugano (sud des Alpes) ont été choisies pour représenter les différentes régions climatiques et les différents types de végétation de Suisse. La répartition homogène de ces stations sur le territoire est optimale pour assurer le suivi des changements passés et futurs des concentrations de pollen dans l'air.

## Pollen de bouleau à Bâle 1969 – 2006

Début et fin de floraison



La date du début de la floraison du bouleau dépend des températures en février et mars. Plus elles sont élevées, plus tôt commence la floraison. Le réchauffement depuis 1969 a ainsi avancé le début et la fin de la saison pollinique du bouleau de 13 et 14 jours. Au cours des dernières 40 années, la durée moyenne de la saison pollinique du bouleau est donc restée la même, mais elle a maintenant lieu quelques deux semaines plus tôt (Clot, 2003; Gehrig, 2004). Le pollen est la cause principale d'allergies. L'intensité et la durée de la saison pollinique dépendent fortement des conditions environnementales et surtout météorologiques. Les longues séries de mesure sont d'importants indicateurs de l'influence du changement climatique sur les causes d'allergies.



Choix de stations du Réseau national de mesure du pollen NAPOL. 4 (en rouge) des 14 stations de mesure représentent les différentes régions bioclimatiques de notre pays.

## Intégration internationale

La dispersion du pollen ne s'arrête pas aux frontières nationales et nécessite un échange de données au niveau international. Pour répondre à ce besoin, la banque de données du European Aeroallergen Network (EAN) a été créée en 1988. Elle regroupe 152 contributeurs de 48 pays, Suisse comprise, et comprend les

données journalières de 170 types de pollen de 557 stations de toute l'Europe, qui sont ainsi à disposition pour la recherche. Ces données fournissent de précieuses informations concernant les distributions spatiales et temporelles du pollen dans l'air en Europe.

## Ressources nécessaires

Dans le cadre des tâches légales de MétéoSuisse, la poursuite des observations est assurée. Une automatisation du réseau et un abandon progressif des analyses manuelles

devrait intervenir au cours des prochaines années. Ce renouvellement du réseau nécessitera des investissements importants.

# 3.1 Écoulement

Les changements climatiques agissent de diverses manières sur le cycle de l'eau et peuvent entraîner la modification de grandeurs hydrologiques. Ces modifications éventuelles touchant à une ressource naturelle de base ont à leur tour des conséquences pour les secteurs de l'économie des eaux, par exemple pour l'utilisation et la protection des eaux et pour la protection contre les crues.



## § Bases légales

Selon la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20), la Confédération est tenue d'effectuer des relevés d'intérêt national sur les éléments du bilan hydrologique. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) est responsable de ces tâches.

## Mesures effectuées en Suisse

Les réseaux suisses de mesure des écoulements comprennent aujourd'hui quelque deux cents stations d'observation fédérales, environ trois cents stations cantonales sur de petits cours d'eau et quelques stations privées. L'OFEV effectue des relevés sur les débits et – en collaboration avec l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (Eawag) et l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) – sur la qualité des eaux. Le relevé des données a lieu sous la forme de mesures à long terme dans des stations fixes et de mesures ponctuelles en des sites temporaires.

L'observation des eaux de surface comprend les mesures fournies par un réseau de base qui effectue le relevé des niveaux et des débits et par le réseau de la surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (NADUF); elle inclut aussi des mesures de la température de

l'eau et du transport de sédiments. Les relevés du niveau et du débit des eaux par le réseau de base remontent au milieu du 19<sup>e</sup> siècle. Ce réseau comprend aujourd'hui quelque deux cent soixante stations de mesure. A part le niveau des lacs, il mesure en deux cents points le débit des cours d'eau. La détermination des substances contenues dans l'eau est effectuée depuis le milieu des années 1970 dans des stations sélectionnées; ce programme à long terme se déroule dans le cadre de la NADUF et a pour objet d'estimer l'état des cours d'eau. Combinés aux mesures de débit, les prélèvements effectués permettent de calculer les charges de substances. Des bassins de recherches hydrologiques (HUG) ont été délimités pour la première fois dans les années 1950, puis ont été complétés au cours du temps. Les stations de mesure des écoulements de ces bassins sont partie intégrante du réseau

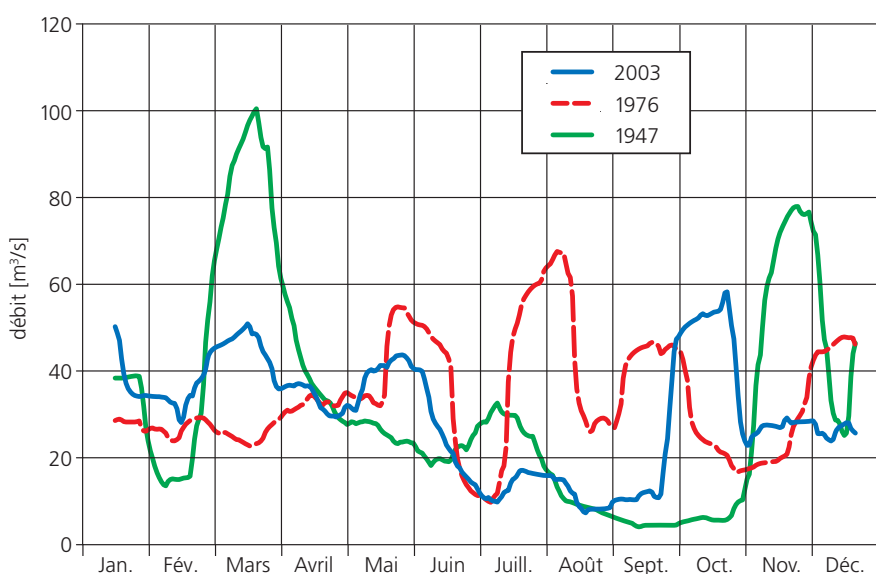
## Les séries de mesure et leur portée

Les mesures (entre autres celles des débits) de toutes les stations exploitées par l'OFEV sont publiées dans l'Annuaire hydrologique de la Suisse depuis 1917. Les plus longues séries continues d'observations des débits journaliers sont celles des stations sur le Rhin (Bâle, 1891), la Thur (Andelfingen, 1904) et la Birse (Münchenstein, 1917). Les stations frontalières (Rhin-Bâle, Rhône-Chancy, Ticino-Bellinzona,

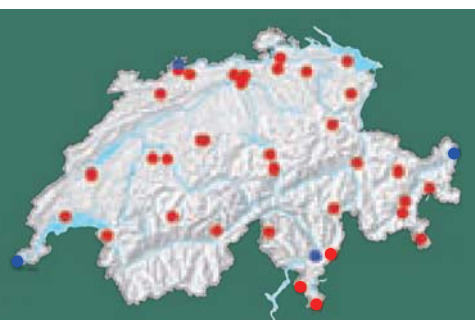
Inn-Martinsbruck) sont parmi les anciennes stations qui enregistrent l'écoulement à la sortie de la Suisse et appartiennent partiellement au programme NADUF. Les stations de mesures des HUG, qui font partie du réseau de base, ont à leur actif une série de quarante ans en moyenne. Les HUG ont été choisis de manière à couvrir tous les types d'écoulement de la Suisse.

## Écoulement de la Thur à Andelfingen pour 1947, 1976 et 2003

Courbes de débit moyen sur 30 jours en m<sup>3</sup>/s



Les courbes de débit enregistrées à la station d'Andelfingen, sur la Thur, en 1947, 1976 et 2003. Le graphique montre les courbes du débit moyen sur 30 jours. Elles mettent d'une part en évidence les périodes de précipitations de mars et novembre 1947, juillet 1976 et octobre 2003. D'autre part, elles reflètent très clairement les phases de basses eaux de durées variables (OFEV, 2004). Les variations du débit sont influencées indirectement par des paramètres météorologiques et la capacité de stockage de la couverture neigeuse, des glaciers, des sols, de la nappe phréatique et des lacs. Les mesures de débits constituent une importante base de données pour analyser l'estimation des écoulements obtenue par des modélisations hydrologiques. Un changement à long terme du régime d'écoulement aurait des conséquences pour l'économie des eaux.



Les séries de mesure des écoulements les plus importantes de Suisse comprennent différents réseaux de mesure (rouge + bleu), entre autres les stations à la frontière (bleu).

de base. Les observations des HUG ont pour objectif d'étudier les changements à long terme du régime des eaux dans des bassins versants proches de l'état naturel en différentes régions climatiques de la Suisse. Elles fournissent les lames d'eau écoulées et les précipitations pour une cinquantaine de bassins versants.

## Intégration internationale

Une sélection de stations, parmi celles ayant à leur actif une longue série de mesure, participe au Centre mondial de données sur l'écoulement GRDC (Global Runoff Data Centre). Les relevés journaliers d'écoulement de vingt-sept stations suisses lui sont transmis dans le cadre d'un échange international de données. Le GRDC est un élément du Global Terrestrial

Network for Hydrology (GTN-H), supporté par le SMOC, le GTOS et le Programme d'hydrologie et de mise en valeur des ressources en eau de l'OMM. L'ETN-R (European Terrestrial Network for River Discharge) est une contribution du GRDC à l'European Flood Alert System (EFAS) et sert aux prévisions des crues du moyen au long terme.

## Ressources nécessaires

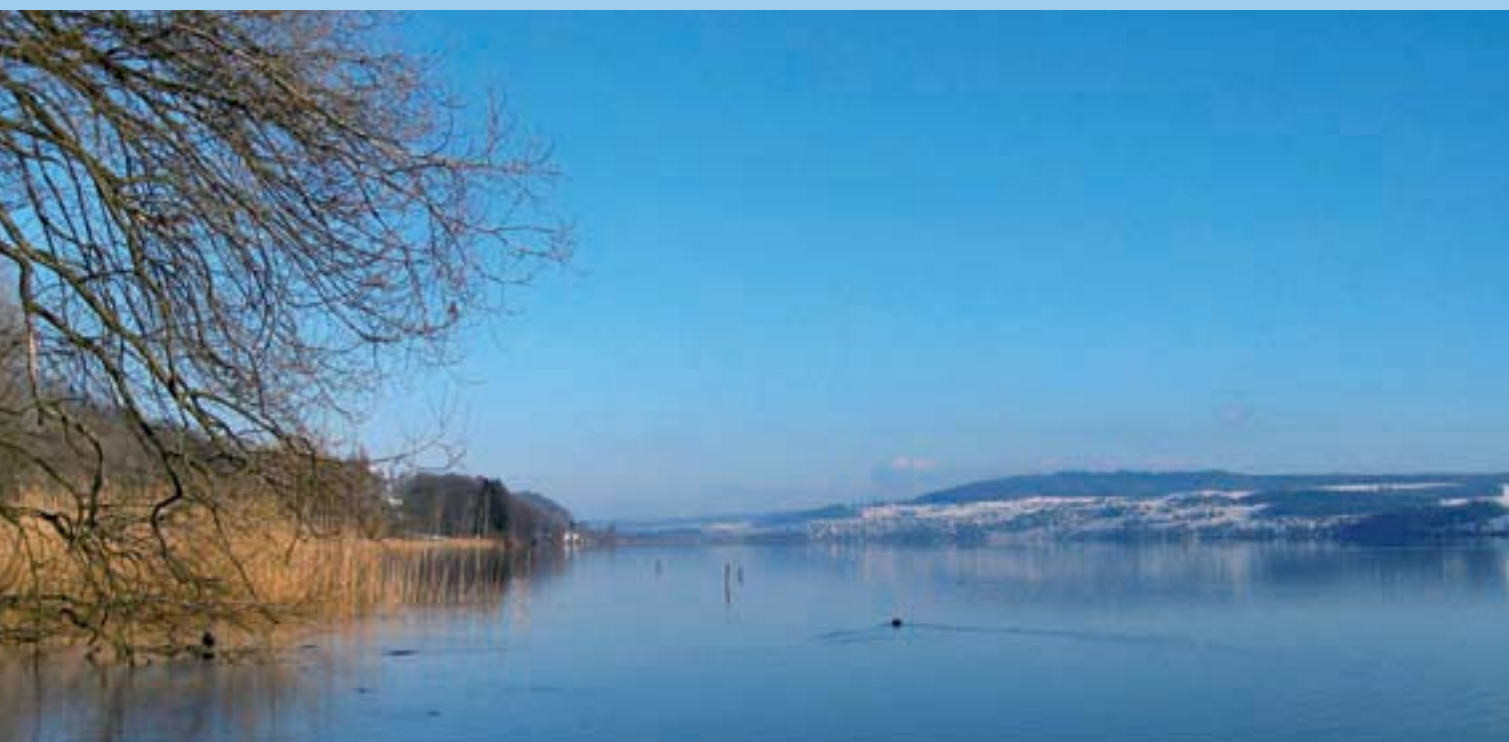
Étant donné les bases légales, il y a lieu d'admettre que la détermination des écoulements et l'observation dans la durée des eaux de surface se poursuivront. Le financement des observations de longue durée dans le cadre

des programmes communs de l'OFEV, de l'Eawag et du WSL devrait être assuré à moyen terme. Ces programmes constituent une base nécessaire pour la protection contre les crues et la protection des eaux.



## 3.2 Lacs

Les lacs réagissent, selon leur type et leur grandeur, de manière particulièrement sensible aux changements climatiques. Ceux-ci peuvent aussi modifier la température de l'eau à la surface et en profondeur et la durée de la couverture de glace. Les données historiques relatives au gel et dégel des lacs permettent de tirer de précieuses déductions sur le climat régional du passé.



### § Bases légales

L'ordonnance (OEaux, RS 814.201) relative à la loi sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) fixe les objectifs et exigences ayant trait à l'observation des lacs. Au sujet de la température de l'eau, elle nécessite notamment que des interventions dans les étendues d'eau n'altèrent pas le régime naturel des températures. A cela s'ajoutent des dispositions des lois fédérales sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01), sur la protection de la nature et du paysage (LPN, RS 451) et sur l'utilisation des forces hydrauliques (LFH, RS 721.80).

### Mesures effectuées en Suisse

Des quelque 260 stations que compte le réseau de mesure hydrométrique de base de la division Hydrologie de l'OFEV, plus de trente sont situées au bord de lacs suisses. Dans ces stations lacustres, on mesure l'écoulement, lequel dépend directement du niveau du lac. Les inhomogénéités de températures verticales et horizontales qui se présentent dans ces lacs ne sont toutefois pas saisies par le réseau de mesure des températures de l'OFEV. Des mesures de la température des lacs sont effectuées dans le cadre d'études approfondies de la qualité des eaux par les services cantonaux de protection des eaux et des commissions internationales, de même que par l'Eawag (Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux), l'institut de recherche sur les eaux du domaine des EPF. La surveillance des lacs de Morat, Neuchâtel et Bienne par exemple a lieu

dans le cadre d'un projet commun des services compétents des cantons de Berne, Fribourg et Neuchâtel. L'observation du lac Léman se déroule sous la conduite de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL) et celle des lacs du Tessin sous la direction de la Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS). Quant au lac de Constance, il fait l'objet d'un monitoring transfrontalier sous la direction de la Commission internationale pour la protection des eaux du lac de Constance (IGKB).

La mesure des profils de température de l'eau des lacs est effectuée en partie à haute résolution, au moyen d'une sonde, depuis un bateau. D'ordinaire, les températures sont mesurées une à deux fois par mois à différentes profondeurs, entre la surface et le fond du lac.

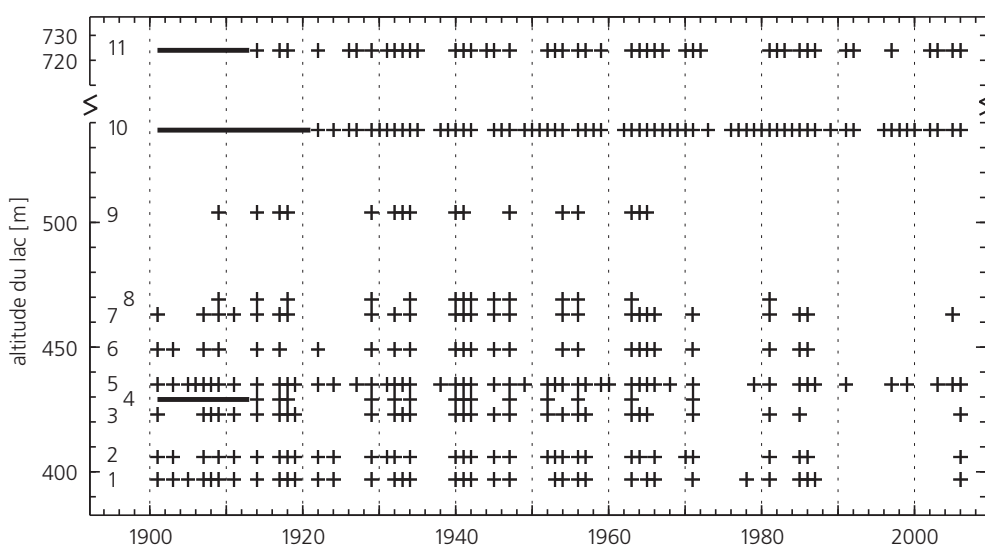
## Les séries de mesure et leur portée

Les connaissances de la température de l'eau font un repère très important pour la modélisation régionale du climat. Depuis 1936, avec une interruption de 1941 à 1945, les températures mensuelles de l'eau du lac de Zurich sont mesurées à Thalwil par le service des eaux de Zurich. Au cours de cette période, le nombre d'étages par profil varie entre 17 et 43; la majorité des mesures sont effectuées toutefois aux 19 étages normés. L'Université de Zurich procède à des observa-

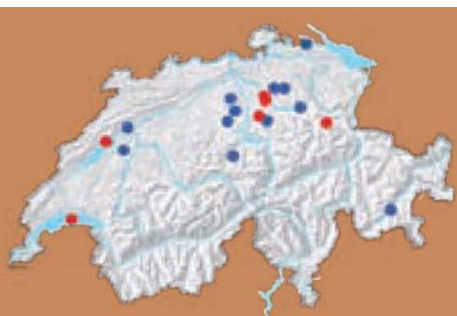
tions hebdomadaires entre Küsnacht et Rüslikon depuis 1977. Des mesures à différentes résolutions temporelles et profondeurs sont effectuées dans les lacs de Zoug (dès 1950), Greifen (1956), Léman (1957), Neuchâtel (1963), Pfäffikon (1972), Walenstadt (1972) et Ägeri (1975). Étant donné que les longues séries de mesure ont été réalisées au cours des années par différentes institutions, une certaine inconsistance à l'intérieur et entre les séries est inévitable.

## Couverture de glace des lacs du Plateau Suisse 1901 – 2004

Sélection de 11 lacs en fonction d'altitude



Données sur le gel de 11 lacs du Plateau Suisse entre 1901 et 2006 en fonction de l'altitude. Les croix correspondent à des années où un lac a été entièrement recouvert de glace, une ligne indique des années pour lesquelles il n'existe pas de données. Lacs: 1 = lac Inférieur, 2 = haut lac de Zurich, 3 = lac de Morat, 4 = lac de Biemme, 5 = lac de Greifen, 6 = lac de Hallwil, 7 = lac de Baldegg, 8 = lac de Sarnen, 9 = lac de Sempach, 10 = lac de Pfäffikon, 11 = lac d'Ägeri. Ces précieuses données ont permis de démontrer que la couverture de glace a nettement diminué pendant les quarante dernières années (Hendricks Franssen et Scherrer, 2007).



Les températures de l'eau sont mesurées depuis le milieu du 20<sup>e</sup> siècle environ (rouge). L'observation des points de congélation et de dégel se fait depuis plus de 100 ans (bleu).

Ces mesures mensuelles sont fondamentales pour la compréhension du développement temporel des températures de l'eau.

La température à la surface de l'eau des grands lacs peut être en outre déduite de données satellitaires sans nuages, fournies entre autres par NOAA-AVHRR et MODIS (Université de Berne).

## Intégration internationale

Les données historiques relatives au gel et dégel des lacs permettent de tirer de précieuses déductions sur le climat régional du passé.

Ces observations ne sont pas effectuées systématiquement dans toute la Suisse et proviennent de différentes sources (entre autres de journaux et de notes personnelles). La série de données la plus longue disponible en Suisse concerne le lac de Saint-Moritz: elle commence en 1832 et se prolonge sans interruption jusqu'à aujourd'hui. Cet ensemble de données

est unique en Europe centrale.

Les données sur le gel et dégel des lacs alpins sont les seuls paramètres lacustres qui sont transmis à un centre international de données. Les observations des lacs de Saint-Moritz, Silvaplana et Sils sont archivées dans la Global Lake and River Ice Phenology Database au National Snow and Ice Data Center (NSIDC) à Boulder, Colorado. Celles des deux derniers lacs cités n'ont plus lieu.

## Ressources nécessaires

Les mesures des profils verticaux de températures des lacs ne sont pas coordonnées en Suisse et sont réalisées par différentes institutions. De même, l'observation des données

de gel et dégel n'est pas effectuée systématiquement. Il n'existe pas de bases légales pour ces observations à long terme, raison pour laquelle ces séries de mesure sont en danger.



## 3.3 Eaux souterraines

Plus de 80 % de l'approvisionnement en eau de la Suisse est couvert par les eaux souterraines. La reconstitution des nappes est influencée par les périodes de précipitation et de sécheresse ainsi que par des activités humaines. Ainsi les eaux souterraines doivent faire l'objet d'une observation à l'échelon national, afin d'en assurer la conservation à long terme.



### § Bases légales

Selon la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20), la Confédération est tenue d'effectuer des relevés d'intérêt national sur les éléments du bilan hydrologique et sur la qualité des eaux superficielles et souterraines. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) est responsable de ces tâches.

### Mesures effectuées en Suisse

Le réseau national d'observation des eaux souterraines (NAQUA) de l'OFEV a pour objectif d'obtenir une image représentative de l'état et de l'évolution des ressources suisses en eaux souterraines, tant du point de vue qualitatif que quantitatif. Il constitue ainsi la base permettant de (a) protéger, conserver à long terme et utiliser durablement les ressources naturelles en eaux souterraines et remédier aux effets préjudiciables et (b) protéger l'être humain contre une exposition excessive (à des organismes et substances nocifs).

Le NAQUA fournit des données utiles au sujet (a) des types d'aquifères (karst, milieu fissuré, formation meuble) importants pour l'exploitation des eaux souterraines en Suisse, (b) des aquifères importants pour la production d'eau potable en Suisse, (c) des aquifères dans les grandes régions suisses de climats et caractères différents et (d) des principaux

facteurs naturels et anthropiques caractérisant les eaux souterraines de la Suisse.

Le NAQUA comprend quatre modules : le module TREND sert à l'observation qualitative à long terme (50 points de mesure), le module SPEZ à l'observation spécifique de paramètres d'exposition (500 points de mesure), le module QUANT à l'observation quantitative des eaux souterraines (100 points de mesure) et le module ISOT à l'observation d'isotopes dans l'eau (23 points de mesure) (→ 3.5 Isotopes). Plusieurs institutions (universités, services des eaux, cantons) étudient également des aspects qualitatifs et quantitatifs des eaux souterraines en de nombreux endroits de Suisse. Au total, il existe actuellement quelque 900 points de mesure (piézomètres, puits, sources) pour l'observation des niveaux des eaux souterraines et des débits des sources.

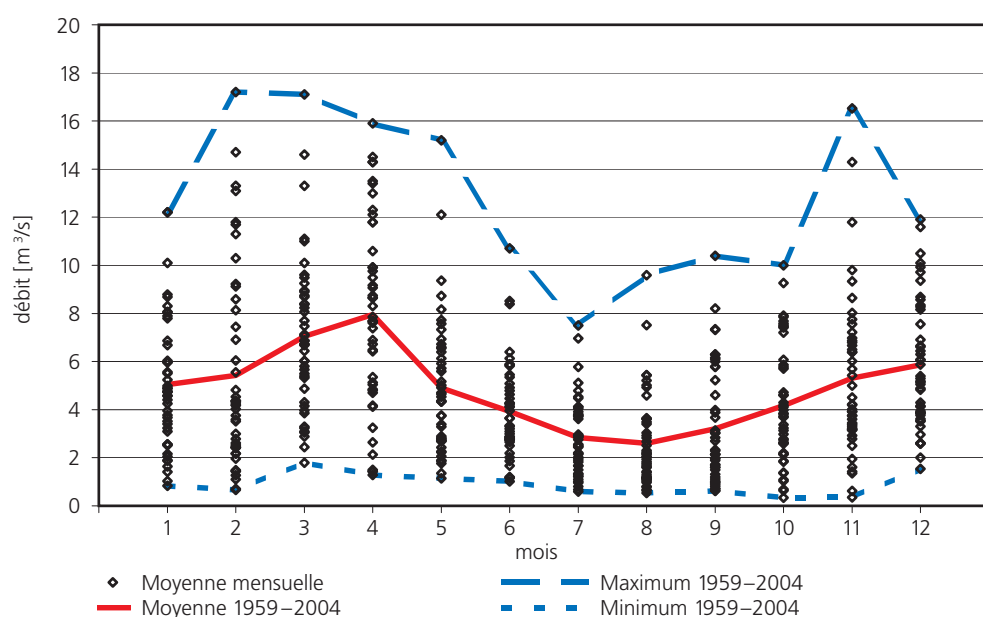
## Les séries de mesure et leur portée

Afin de mieux évaluer les conséquences possibles des changements climatiques, le NAQUA vise une observation intégrale dont le but est de suivre de près dans le temps les données qualitatives et quantitatives des eaux souterraines aux mêmes points de mesure. A cette fin, l'OFEV travaille dans le cadre du NAQUA en contact étroit avec les cantons. Les séries les plus longues de données sur les niveaux des eaux souterraines en Suisse (de 1900 env. jusqu'à aujourd'hui) proviennent de puits

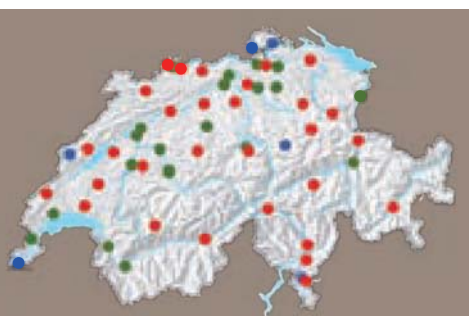
d'installations d'approvisionnement en eau. Depuis la fin des années 1970, les niveaux de nappes souterraines sont observés de façon continue dans l'ensemble du pays: p.ex. à Maienfeld (Rhin, GR) et à Soral (Arve, GE) depuis 1975 et à Lamone (Vedeggio, TI) depuis 1980. Le débit de la source de l'Areuse à St-Sulpice (NE) est mesuré de façon continue depuis 1959, ce qui représente l'une des plus longues série de données du débit d'une source en Suisse.

## Écoulement de la source de l'Areuse à St-Sulpice 1959 – 2004

Écoulement mensuel moyen en m<sup>3</sup>/s



Débit d'une source comme indicateur climatique. L'observation du débit moyen de la source de l'Areuse à St-Sulpice de 1959 à 2004 fournit une importante contribution à la compréhension de la variabilité du climat. De telles fluctuations peuvent découler de multiples façons de la diversité à petite échelle de la Suisse, mais ne sont pour l'heure pas encore quantifiables. Une évaluation pertinente des impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines n'est possible que moyennant des séries de données climatiques significatives et suffisamment longues sur les aspects qualitatifs et quantitatifs de ces eaux (Schürch et al., 2006).



Réseau national d'observation des eaux souterraines NAQUA, avec quelques-uns des points de mesure des modules TREND (vert), QUANT (bleu) et des deux modules (rouge).

## Intégration internationale

Plusieurs réseaux permettent de coordonner les observations des eaux souterraines au niveau mondial. Un exemple est le Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC), qui fait partie du Global Terrestrial Network for Hydrology

(GTN-H) et a été créé à l'initiative de l'UNESCO et de l'OMM pour assurer un échange mondial d'information. Au niveau européen, l'EUROWATERNET est un réseau de données et informations, coordonné par l'Agence européenne pour l'environnement (EEA).

## Ressources nécessaires

L'exploitation de stations d'observation des eaux souterraines peut être considérée comme assurée au moins à moyen terme dans le cadre du réseau national NAQUA. Comme le montre

notamment l'instrumentation des sources, les besoins techniques et financiers pour équiper les stations et assurer la transmission des données sont en partie considérables.

## 3.4 Utilisation de l'eau

L'eau est une des bases de l'approvisionnement de la population et elle est essentielle à plusieurs secteurs de l'économie. La hausse des températures, l'allongement des périodes de sécheresse et les fluctuations saisonnières dus au réchauffement climatique influent sur les besoins et l'offre d'eau. D'où l'importance des informations concernant la consommation d'eau.



### § Bases légales

La loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) vise notamment à assurer une utilisation économe de l'eau potable et de l'eau d'usage industriel et à protéger l'irrigation agricole contre toute atteinte nuisible. Elle contient également des dispositions sur les débits résiduels, c'est-à-dire limitant les prélèvements d'eaux superficielles. Elle prévoit des concessions ou des autorisations pour l'irrigation, délivrées par les cantons. Pour ce qui est de l'utilisation des nappes souterraines, en revanche, la consommation d'eau potable a la priorité. Les bases légales en sont données par les lois cantonales sur l'économie hydraulique.

### Mesures effectuées en Suisse

La Suisse est un pays riche en eau, à cause de sa situation géographique. Plusieurs services collectent des données sur la consommation d'eau en Suisse, d'ampleurs différentes et à intervalles divers. La Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux (SSIGE) p.ex. réunit des données sur l'approvisionnement, le traitement et la distribution de l'eau potable et de l'eau d'usage industriel; elles sont fournies par les services des eaux, qui alimentent environ 50% de la population. En Suisse, la principale réserve d'eau potable provient des nappes souterraines qui font l'objet d'une surveillance qualitative et quantitative constante (→ 3.3 Eaux souterraines).

La consommation d'eau par l'agriculture suisse se limite à de petites surfaces et, essentiellement, à des régions sèches ainsi qu'à la culture des légumes. Les connaissances existant sur la répartition et l'ampleur de l'irrigation

agricole sont peu différenciées. En effet, les données manquent d'uniformité en raison des structures fédéralistes de la Suisse. Les grandeurs quantitatives concernant les surfaces irriguées sont obtenues sur la base de sondages réalisés par l'Union suisse des paysans et par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG). L'OFAG a réalisé au printemps 2007 une enquête sur l'irrigation. Toutes les données ont été réunies au niveau cantonal, fournissant un volume de consommation actualisé par rapport au relevé de 2002.

Le canton des Grisons est le premier à avoir élaboré un plan fixant les régions à irriguer. Ce travail a été réalisé à l'initiative des paysans grisons et suivi techniquement par leur union, mais financée principalement par le canton. Selon l'OFAG, la moitié des cantons serait favorable à une étude suisse sur la consommation d'eau due à l'irrigation.



## Les séries de mesure et leur portée

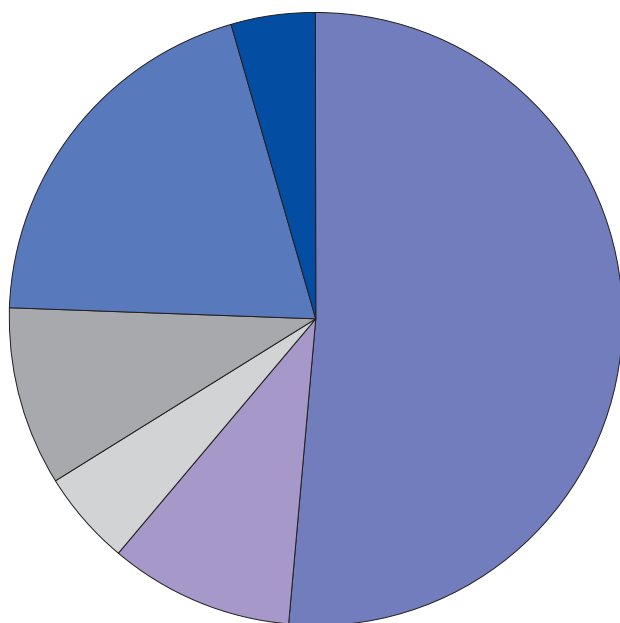
Depuis le début des années 1990, des estimations sont faites au sujet de la consommation d'eau par l'agriculture et transmises aux organisations internationales. En 2005, les surfaces irriguées représentaient 25 000 hectares; en 2000, le chiffre était passé à 30 000 et il est estimé à 38 000 en 2007. Ce chiffre concerne des surfaces irriguées régulièrement, dont les deux tiers se trouvent dans les cantons du Valais et des Grisons. À l'opposé, certains

cantons semblent ne pas posséder de données précises sur leurs surfaces irriguées. Parallèlement aux surfaces irriguées régulièrement, on compte également 12 000 hectares de sols irrigués occasionnellement. Au plan régional, il existe de grosses différences dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau, qui s'expliquent par les méthodes de culture et les techniques d'irrigation.

## Surfaces irriguées en Suisse selon la source

Estimations cantonales datant de 2006

- 4 % eau potable
- 20 % eau souterraine
- 9 % lac
- 5 % rivière
- 10 % canal/ruisseau
- 52 % bisses



Les chiffres de la consommation d'eau due aux activités agricoles reposent essentiellement sur des estimations de la majorité des services cantonaux. Les surfaces irriguées se distinguent selon le type de culture et d'utilisation de l'eau ainsi que le type d'installation. Environ la moitié de toutes les surfaces irriguées correspond à des prairies situées dans les vallées intérieures sèches du Valais et des Grisons, alimentées en eau par des bisses traditionnels (renseignements fournis personnellement par A. Schild, OFAG). L'ampleur des surfaces irriguées est appelée à augmenter. Des méthodes de cultures et des techniques d'irrigation adaptées pourraient permettre de couvrir les besoins en eau de manière plus efficace qu'aujourd'hui.



L'ampleur de la consommation d'eau par l'agriculture repose sur des estimations dont les indications sont entachées d'imprécision et ne permettent pas de tirer des conclusions fiables.

## Intégration internationale

La consommation d'eau par habitant est un indicateur utilisé à l'échelle internationale, notamment dans diverses études de l'OCDE et de la FAO destinées à apprécier le développement durable. La FAO gère un système d'information sur l'utilisation mondiale de l'eau par l'agriculture, notamment dans les pays en développement et les pays seuils (AQUASTAT). Ce système s'inscrit dans le

Global Terrestrial Network for Hydrology (GTN-H), qui englobe aussi les réseaux globaux sur le ruissellement (GRDC) et sur les ressources en eaux souterraines (IGRAC) (→ 3.1 Écoulement et → 3.3 Eaux souterraines). Les données sur la consommation d'eau par l'agriculture suisse qui sont livrées à la banque de données AQUASTAT proviennent d'estimations de l'OFAG.

## Ressources nécessaires

Au vu de l'augmentation des besoins en eau, due aux changements climatiques et à l'évolution des conditions de production, la saisie

systématique des données est impérative pour l'estimation cantonale des besoins d'irrigation.

# 3.5 Isotopes

Les isotopes d'oxygène et hydrogène sont des marqueurs naturels qui laissent une empreinte dans les composantes les plus diverses du système climatique terrestre. C'est pourquoi les longues séries de mesure d'isotopes, à part leur utilisation dans l'exploitation et la protection des eaux souterraines, servent également de données de référence pour des études climatologiques.



## Bases légales

Selon la loi fédérale sur la protection des eaux (LEau, RS 814.20), la Confédération est tenue d'effectuer des relevés d'intérêt national sur les éléments du bilan hydrologique et sur la qualité des eaux superficielles et souterraines. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) est responsable de ces tâches.

## Mesures effectuées en Suisse

En règle générale, chaque élément naturel possède des isotopes stables, tandis que ses autres isotopes sont radioactifs (instables) et se désintègrent tôt ou tard. L'oxygène-18 ( $^{18}\text{O}$ ) et le deutérium ( $^2\text{H}$ ) – des isotopes stables – ainsi que le tritium ( $^3\text{H}$ ) – l'isotope radioactif de l'hydrogène – sont des constituants possibles de la molécule d'eau. Ils sont mesurés dans l'eau de pluie, les cours d'eau, les lacs, les glaciers, la neige et les eaux souterraines par différentes institutions en quelque 135 stations dans tout le pays.

En 1992, le module ISOT a été créé dans le cadre du réseau national d'observation des eaux souterraines NAQUA pour observer les isotopes dans le cycle de l'eau (Schürch et al., 2003). ISOT comprend actuellement 23 stations de mesure réparties sur tout le territoire suisse : 13 stations effectuent des mesures dans l'eau de pluie, 7 dans les eaux de surface et 3

dans les eaux souterraines, pour y déterminer la proportion d'oxygène-18, de deutérium et de tritium. L'OFEV exploite ce module d'observation des isotopes dans le cycle de l'eau en étroite collaboration avec le département de physique du climat et de l'environnement de l'Université de Berne. Les stations ISOT axées sur les précipitations sont réparties sur différentes régions climatiques de la Suisse. Les pluviomètres sont vidés tous les jours et les isotopes mesurés dans la somme mensuelle de ces échantillons. Des stations du réseau de mesure des écoulements (réseau de base) et du réseau de la surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (NADUF) ont été choisies comme stations ISOT pour les cours d'eau. Des échantillons cumulés sur un mois y sont prélevés automatiquement ou manuellement. Dans les stations ISOT d'observation des eaux souterraines (une source et deux puits), des



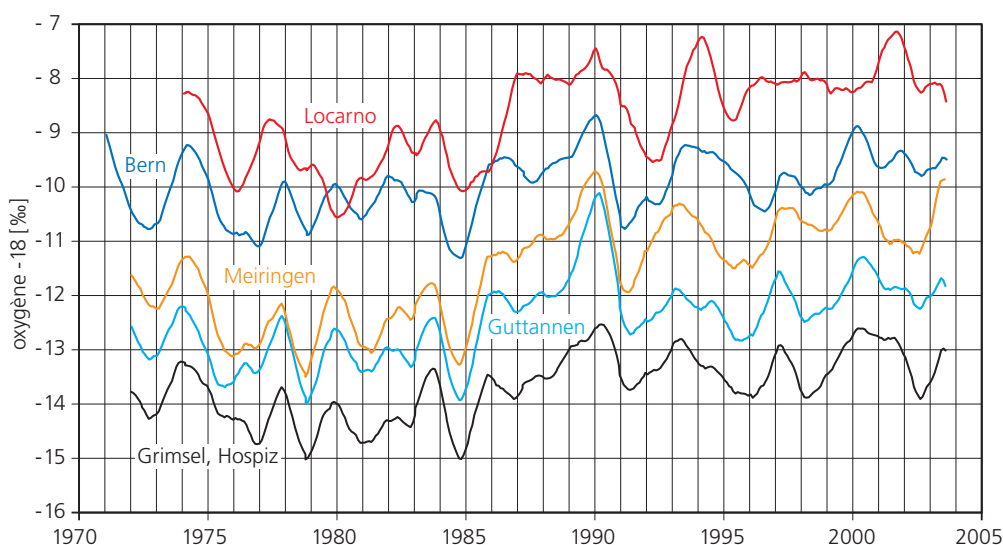
## Les séries de mesure et leur portée

Dans les stations de mesure de Berne, Meiringen, Guttannen, du Grimsel et de Locarno, des échantillons d'eau de pluie sont prélevés quotidiennement et intégrés chaque mois depuis le début des années 1970 pour des analyses isotopiques. Ces cinq stations ont réuni les plus longues séries de ces mesures en Suisse et forment ensemble un profil NW-SE à travers l'arc alpin de Berne (541 m d'alt.) à Locarno (379m),

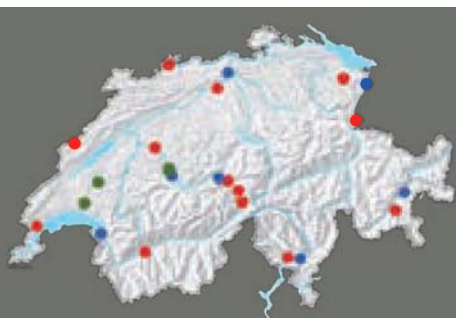
en passant par le col du Grimsel (1950m). La plupart de ces sites se trouvent à proximité de stations climatologiques de MétéoSuisse, où l'on mesure encore d'autres paramètres tels que la température et l'humidité relative. Le début de l'observation des isotopes dans les cours d'eau remonte au milieu des années 1980 (Rhin près de Diepoldsau, Rhône près de la Porte du Scex et Inn). Elles couvrent ainsi les plus importants cours d'eau de la Suisse.

## Oxygène-18 isotope dans les précipitations 1971 – 2003

Moyennes mensuelles glissantes en promille à 5 stations ISOT



Les moyennes mensuelles glissantes de l'oxygène-18 dans les précipitations atténuent les fluctuations saisonnières et font ressortir la tendance du climat des trois dernières décennies. Celle-ci est aussi mise en évidence par le débit des grandes rivières suisses. La raison de l'empreinte laissée par les isotopes dans le cycle de l'eau tient aux conditions hydrométéorologiques durant la genèse des précipitations, de la région d'origine de l'humidité de l'air jusqu'aux chutes de pluie à la station de collecte (Spreafico et Weingartner, 2005).



Le réseau suisse de mesure des isotopes ISOT détermine le taux d'oxygène-18, deutérium et tritium dans les précipitations (rouge), les eaux de surface (bleu), les eaux souterraines (vert).

échantillons ponctuels sont prélevés tous les mois; on y mesure également la température de l'eau et la conductivité électrique, ainsi que le niveau de la nappe ou le débit de la source.

## Intégration internationale

Les mesures d'une sélection de stations ISOT sont transmises depuis 1992 à la base de données du Réseau global des isotopes dans les précipitations (GNIP) de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'OMM. L'ISOT fournit ainsi une contribution importante à des programmes d'étude des isotopes, coordonnés à l'échelon international

qui servent de référence à la recherche ou à des étalonnages. Ensemble avec l'Allemagne et l'Autriche, la Suisse présente, en comparaison internationale, un réseau d'observation très dense, ayant à son actif de longues séries de mesure; les séries d'ISOT sont ainsi particulièrement précieuses, notamment pour des programmes scientifiques internationaux.

## Ressources nécessaires

Les stations ISOT sont intégrées au Réseau national d'observation des eaux souterraines NAQUA. Le nombre des laborieuses analyses de

tritium est réduit au fur et à mesure du recul des teneurs en tritium des échantillons d'eau.

## 3.6 Couverture neigeuse

La couverture neigeuse ne joue pas seulement un rôle climatique déterminant; elle est aussi un facteur économique essentiel pour le tourisme, l'économie des eaux, l'hydroélectricité, l'agriculture et les transports. De longues séries de mesure des paramètres de la neige sont importantes pour se prononcer sur des tendances régionales passées et futures.



### §

#### Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques et émettre des avis météorologiques de danger. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse est responsable de ces tâches. Suivant l'ordonnance du Conseil des EPF sur les établissements de recherche du domaine des EPF (RS 414.161), l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches à Davos (ENA), qui fait partie du WSL, est responsable du service d'alerte en cas d'avalanches et de l'information sur les conditions de neige et d'avalanches en Suisse.

#### Mesures effectuées en Suisse

Les mesures les plus importantes pour une climatologie de la neige sont la hauteur de la neige gisante, l'épaisseur de la neige fraîche, la valeur en eau de la neige fraîche et la valeur en eau de la couverture neigeuse globale. Les paramètres hauteur de neige gisante et neige fraîche sont saisis par les réseaux de mesure de l'ENA, de MétéoSuisse et d'institutions cantonales et privées.

Le réseau de mesure de l'ENA comprend des stations conventionnelles (points de mesure PM et stations de comparaison SC) et automatiques. Dans les quelque cent stations conventionnelles, les paramètres sont mesurés manuellement chaque jour par des observateurs. La plupart de ces stations sont situées à des altitudes moyennes entre 1000 et 2000 m.

Par contre, les 39 stations automatiques (ANETZ ou OBS) et les 11 stations conventionnelles

(KLIMA) de MétéoSuisse dédiées à l'observation de la neige sont réparties de façon régulière sur tout le territoire suisse et aussi à des altitudes supérieures à 1000 m.

Les quelque septante stations automatiques du système intercantonal de mesure et d'information (IMIS) complètent depuis 1996 les stations conventionnelles de l'ENA et de MétéoSuisse; ce réseau a été constitué dans le cadre d'un accord intercantonal en collaboration avec l'OFEV.

Des paramètres importants pour la prévision des avalanches sont saisis dans les dix stations de montagne du réseau complémentaire automatique ENET par MétéoSuisse en collaboration avec l'ENA. La neige gisante et la neige fraîche sont mesurées chaque jour manuellement dans environ 75 % des quelque 340 stations du réseau pluviométrique (NIME) de MétéoSuisse. Ces données ne sont pas

## Hauteur de la neige gisante Les séries de mesure et leur portée

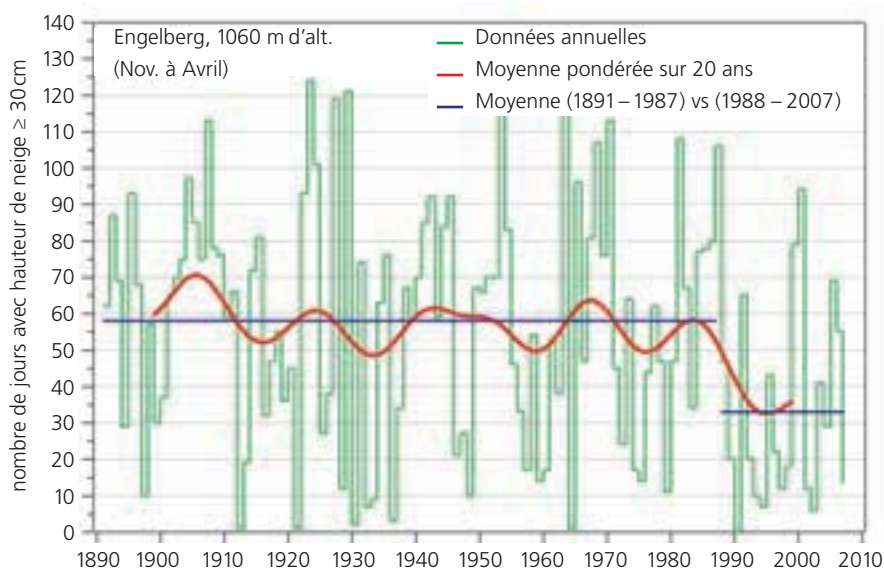
Les stations conventionnelles ont l'avantage sur les réseaux automatiques de disposer de séries de mesure suffisamment longues (> 50 ans) pour les besoins de la climatologie. La plupart des mesures les plus importantes de neige gisante sont plus courtes que celles d'épaisseur de neige fraîche. Ceci est lié avec le début précoce de la mesure des précipitations. Les plus longues séries de la hauteur de la neige gisante sont les mesures de la station Säntis,

qui remontent sans lacunes à 1890, et des mesures effectuées à Engelberg (1890) et à Davos (1896). D'autres stations commencent aussi leurs mesures dans les années 1900, avec cependant de grandes différences, d'année en année et de station en station, dans la fréquence des relevés.

Quant aux observations de la hauteur de la neige gisante, elles ont commencé dans la plupart des stations au cours des années 1930

### Couverture neigeuse à Engelberg 1891 – 2007

Jours avec une couverture neigeuse de min. 30 cm pour les mois de novembre à avril



La figure présente un exemple de la diminution sensible de la couverture neigeuse dans les vallées. La ligne verte montre les grandes fluctuations naturelles d'une année à l'autre. La moyenne pondérée sur vingt ans (en rouge) met en évidence une diminution des jours de neige depuis les années 1980, phénomène jamais observé jusque-là depuis le début des mesures. Pendant l'hiver 1989/90, on n'a plus mesuré de hauteurs de neige de 30 cm ou davantage. Une conséquence importante pour le tourisme de ce recul pendant les vingt dernières années est la forte réduction du nombre de jours de neige: de 58 jours à l'origine, ils ont passé à seulement 33 par hiver. La diminution des jours de neige pendant les vingt dernières années dans presque toutes les stations au-dessous de 1300 m d'alt. a déjà des impacts importants sur le tourisme d'hiver (Latarnser et Schneebeli, 2003).



Stations disposant des plus longues séries de mesure de la hauteur de la neige gisante (>50 ans) et de la neige fraîche (>100 ans).

saisies numériquement, contrairement à celles des stations conventionnelles et automatiques. Les observations au sol sont de plus en plus complétées par des produits neige dérivés de données satellitaires, fournies entre autres par NOAA AVHRR (Université de Berne) et Météosat-9 (MétéoSuisse).

(suite page 52)

(p.ex. Weissfluhjoch, Trübsee, Andermatt, Ulrichen). Depuis les années 1930, des relevés de neige gisante ont été effectués dans quelques villes suisses du Plateau. Ces relevés sont difficiles à interpréter à cause de leur situation et en même temps par la variabilité de la hauteur de la neige gisante notamment dans le cas de faibles chutes.

C'est seulement à partir des années 1893, avec la mise en place d'instruments de mesure, que les relevés de neige gisante ont été faits d'une manière plus ou moins régulière. Beaucoup de ces relevés faits avant 1930 sont conservés dans leur forme primitive, c'est à dire manuelle. Un traitement des données et une numérisation seraient nécessaires dans le cas où l'on envisagerait l'exploitation et l'analyse.



## Épaisseur de la neige fraîche Les séries de mesure et leur portée

Au total, seize stations disposent de mesures de l'épaisseur de la neige fraîche qui remontent jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle et dont sont responsables tant l'ENA que MétéoSuisse.

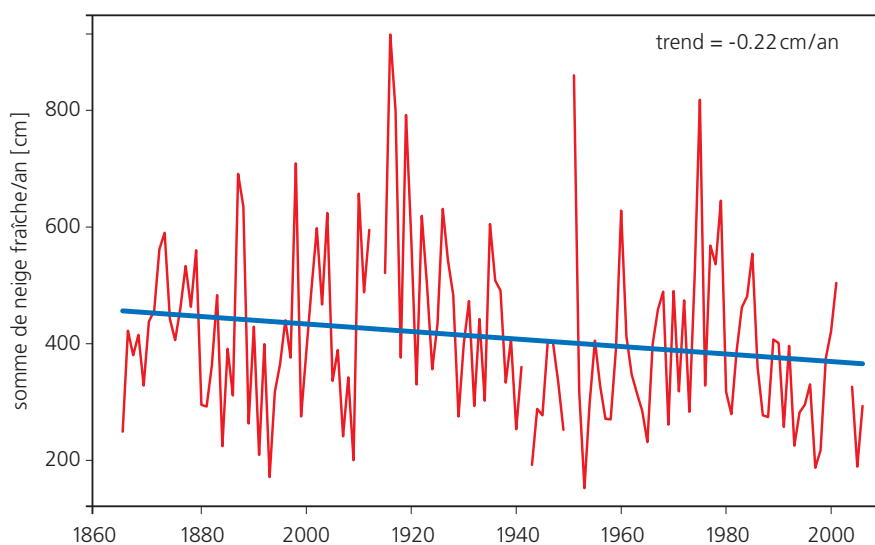
Dans sept stations, la neige fraîche est mesurée depuis environ 1880 (Sils Maria 1864, Guttannen 1877, Elm 1878, Lucerne 1883, Airolo 1885, Coire 1888, Arosa 1890).

L'épaisseur journalière de neige fraîche et le nombre de jours avec chutes de neige par

hiver sont des grandeurs climatologiques importantes. Elles permettent d'analyser l'influence des températures hivernales les plus élevées (c.à d. plus de pluie que de neige) et les pronostiques de précipitations hivernales (c.à d. plus de neige fraîche dans les régions de sommets). L'épaisseur de neige fraîche est en outre une grandeur importante pour les services d'avalanche, le tourisme blanc et les services de voirie.

### Épaisseur de neige fraîche à Sils Maria 1864 – 2006

Somme annuelle en cm



Cumul des épaisseurs de neige fraîche à Sils Maria, 1864 – 2006. La ligne bleue illustre la tendance générale sur l'ensemble de la période. L'écart tendanciel de  $-0.22\text{cm}$  par année n'est cependant pas significatif. Sils Maria a la plus longue série disponible de relevés de l'épaisseur de neige fraîche en Suisse. Elle remonte jusqu'en 1864. Sur l'ensemble de la période, 6 années possèdent des données incomplètes (1913, 1914, 1942, 1950, 2002 et 2003). Pour les années 1913 et 1914 il n'y a aucune donnée. Pour les autres années incomplètes il manque au moins un mois hivernal; et par conséquent il n'est pas possible de calculer le cumul probable des épaisseurs de neige fraîche pour ces années. Le cumul maximum des épaisseurs de neige fraîche fut atteint en 1916 avec 930 cm, le minimum en 1953 avec 152 cm.

### Mesures effectuées en Suisse (2)

Par équivalent en eau de la couverture neigeuse, on entend la colonne d'eau qui résulterait de la fonte intégrale de la couverture neigeuse, sans écoulement ni évaporation. Cette grandeur est exprimée en millimètres. Les mesures se font en général par sondage de la couverture neigeuse, dont le volume et le poids permettent de calculer l'équivalent en eau. L'équivalent en eau de la neige fraîche et de la couverture neigeuse globale est saisi sur tout le territoire suisse par différents réseaux de mesures et institutions.

Les mesures les plus anciennes de l'équivalent en eau de la neige, effectuées en continu jusqu'à aujourd'hui, sont celles du Weissfluhjoch (Davos). Les premières observations régulières de cette grandeur par un réseau de mesure ont été entreprises en 1943 par l'EPFZ (section d'hydrologie du laboratoire d'hydraulique VAW) en collaboration avec

l'économie électrique. Plus tard, ce réseau a été intégré en majeure partie à celui de l'ENA, et ses points de mesure font partie depuis lors des stations de comparaison (SC).

Les équivalents en eau de la neige mesurés depuis 1943 jusqu'en 1985 ont été convertis par la suite en données digitales. Après une interruption de plus de dix ans, les mesures sont de nouveau enregistrées sous forme digitale depuis 1998.

Actuellement, l'équivalent en eau de la couverture neigeuse globale est saisi deux fois par mois par des observateurs dans la moitié des quelque quatre-vingts SC. Ces mesures ont lieu en majeure partie entre novembre et avril et sont archivées sous forme digitale. D'autres mesures de l'équivalent en eau sont effectuées par les centrales électriques et des entreprises privées avec le soutien de la commission d'experts sur la cryosphère (EKK) de l'Académie



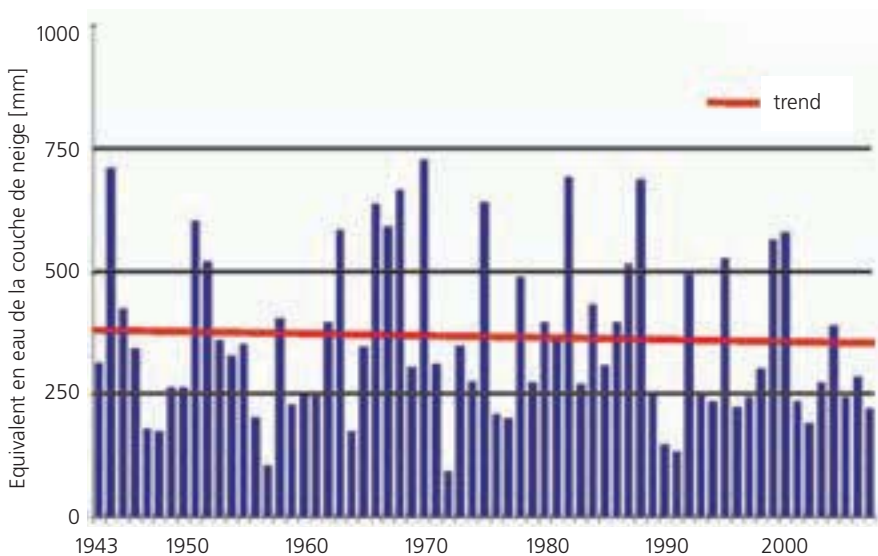
## Équivalent en eau de la neige Les séries de mesure et leur portée

L'ENA exploite les stations SC dans lesquelles le début des mesures de l'équivalent en eau remonte aux années 1940 (Weissfluhjoch 1937, Davos 1947, Klosters 1948, Zuoz 1951). Les stations du Wägital présentent un intérêt particulier pour l'équivalent en eau de la couverture neigeuse. Elles disposent de la plus longue série de mesure au monde (dès 1943) de l'équivalent en eau d'un bassin versant. Cette série comprend des mesures en 11 sites

pour l'équivalent en eau et en 28 sites pour les hauteurs de neige, effectuées au printemps pour déterminer l'équivalent en eau moyen de la couverture neigeuse du bassin versant. L'exploitation de ce réseau de mesure, qui incombe à l'origine au VAW de l'EPFZ, est assurée actuellement par Meteodat GmbH avec le soutien financier de l'ENA. Meteodat poursuit aussi des mesures effectuées depuis 1943 dans les stations de Garichte et de Sihsee.

### Équivalent en eau de la neige du Wägital 1943 – 2007

Moyenne régionale en mm des réserves d'eau le 1<sup>er</sup> avril (jour de référence)



Série temporelle de longue durée de l'équivalent en eau mesuré chaque 1<sup>er</sup> avril dans le Wägital. Partant des mesures ponctuelles de chacun des sites, la moyenne régionale des réserves d'eau stockées dans la couverture neigeuse est calculée en fonction de la zone d'altitude. Ceci permet de montrer comment l'équivalent en eau de la neige varie dans l'ensemble du bassin versant. La barre rouge indique la tendance de la moyenne à long terme. A l'avenir, il est vraisemblable qu'à basse et moyenne altitude les précipitations d'hiver tomberont davantage sous forme de pluie au lieu de neige, ce qui aurait entre autres conséquences celle d'accroître la compaction de la couverture neigeuse (Rohrer et al., 1994). Aussi faut-il s'attendre à ce que l'équivalent en eau de la neige présente une tendance à la baisse plus faible que la hauteur de neige.



Les plus longues séries de mesure de l'équivalent en eau de la neige. Stations isolées (vert) et des ensembles de stations dans des bassins versants (rouge: Wägital, Garichte, Sihsee; bleu: Alptal).

suisse des sciences naturelles (SCNAT).

Des méthodes complémentaires de mesure de l'équivalent en eau, de précision diverse, sont les coussins à neige, les sondes à câble coaxial plat, les systèmes à micro-ondes et les sondes à rayons gamma.

### Intégration internationale

Dans le cadre de l'alerte européenne en cas d'avalanches, les données sur la neige des stations proches de la frontière sont échangées avec des services étrangers de prévisions des avalanches.

Dans l'Alptal, des études sur l'hydrologie de la neige et en climatologie sont menées depuis presque quarante ans par le WSL sur des aires de test dans des pierriers subalpins. Certaines

mesures hydrologiques sont partie intégrante du NADUF (→ 3.1 Écoulement). Les équivalents en eau de la neige sont déterminés à un rythme hebdomadaire à mensuel dans quatorze sites et servent de mesures de référence pour valider des modèles numériques dans le cadre d'un projet international (SnowMIP2), réalisé sous mandat de la International Association of Cryospheric Sciences (IACS).

### Ressources nécessaires

La poursuite des séries de mesure les plus longues est largement assurée. Celle de quelques longues séries de l'ENA (entre autres Engelberg) est incertaine du fait que les points de mesure climatologique ont été détachés du service d'alerte avalanches et sont maintenant

sous la responsabilité de l'OFEV et des EPF. Les précieuses mesures dans le bassin versant du Wägital ne sont assurées qu'à court terme. Un appoint financier est nécessaire à partir de 2008 pour garantir leur poursuite.

## 3.7 Glaciers

Le bilan de masse majoritairement négatif des glaciers des Alpes pendant les 25 dernières années fait partie des signes les plus nets indiquant que la température à la surface de la Terre a augmenté de façon significative ces derniers temps. Les variations à long terme du bilan de masse et de la longueur des glaciers sont utilisées comme indicateurs clés de changements climatiques.



### §

#### Bases légales

Pour le monitoring climatique des glaciers à long terme, il n'existe pas de bases légales explicites. Actuellement, le mesurage régulier des glaciers n'est inscrit dans la législation nationale que dans l'ordonnance technique du DDPS sur la mensuration officielle (OTEMO, RS 211.432.21). Selon l'article 7b de l'OTEMO, la couche d'information «couverture du sol: 6. surfaces sans végétation» est subdivisée dans les catégories (a) rocher, (b) glacier/névé, (c) éboulis/sable, (d) gravière/décharge et (e) autres surfaces sans végétation. Par ailleurs, des tendances de l'évolution des glaciers, qui peuvent être déduites de l'observation de ces derniers, sont utiles comme base d'évaluation des dangers naturels (article 12c de l'Org DETEC, RS 172.217.1) en haute montagne.

#### Mesures effectuées en Suisse

Les grandeurs mesurées (bilan de masse/ variations de volume, variations de longueur, inventaire des glaciers, température des névés et vitesse d'écoulement) sont actuellement remaniées par un groupe de travail de la commission d'experts pour la cryosphère (EKK) de la SCNAT. Cette opération vise à la fois l'incorporation des mesures effectuées jusqu'ici aux données du Réseau terrestre mondial pour les glaciers (GTN-G), l'élaboration de la future stratégie à appliquer à des questions essentielles (recherche, public) et l'intégration de technologies modernes (données satellitaires, géoinformatique, modèles numériques) au concept de mesure. Il est possible de remanier les longues séries du bilan de masse (tier 3 dans le GTN-G), des variations de longueur (tier 4) et des inventaires des glaciers (tier 5) en vue de leur intégration au SMOC et au GTN-G. Les grandeurs de mesures de ces trois glaciers

sont expliquées ci-dessous.

Le bilan de masse d'un glacier est le résultat de l'accumulation de neige et de l'ablation de neige ou de glace, due notamment à la fonte, et se réfère à la moyenne sur l'ensemble de la surface du glacier. Le bilan de masse est établi par la méthode glaciologique directe, qui consiste à déterminer le bilan au moins une fois par année par des mesures sur plusieurs échelles à niveaux forées dans la glace et dans des puits creusés dans la neige. Ces mesures directes doivent être étalonnées environ tous les dix ans par la méthode géodésique photogramétrique (établissement d'un modèle d'altitudes), qui permet de déterminer les variations de volume à grande échelle à partir des modifications topographiques de la surface du glacier. Actuellement, la méthode directe sert à établir les bilans de masse de trois glaciers (moyennes sur les aires de ces derniers) et les

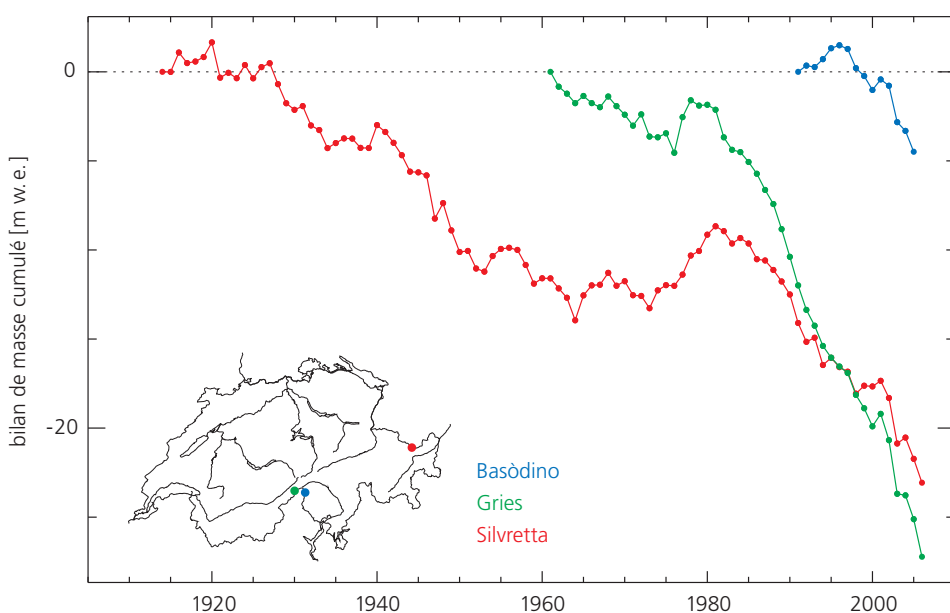
## Bilan de masse Les séries de mesure et leur portée

Les premières mesures du bilan de masse étaient effectuées sur une courte période 1884–1910 au glacier du Rhône. Les mesures de longue durée au moyen de la méthode directe existent sur le glacier de Silvretta (depuis 1914) et sur les glaciers de Limmern et de Plattalva (depuis 1947); les mesures sur les deux derniers ont été arrêtées en 1989. Actuellement, cette méthode sert encore aux mesures effectuées sur les glaciers de Silvretta (depuis 1914; dès

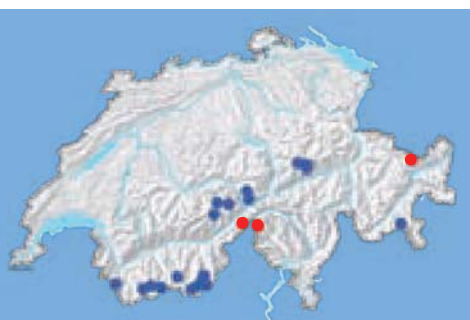
1959 avec un réseau de mesure densifié), de Gries (depuis 1961) et de Basòdino (depuis 1991). Des mesures sur quelques échelles à niveaux sont effectuées chaque saison sur le glacier du Claridenfirn (depuis 1914) et sur le grand glacier d'Aletsch (depuis 1918) et une fois par année sur quatre autres glaciers (Giétro, Corbassière, Allalin, Schwarzberg). Les données disponibles pour quelque vingt-cinq glaciers permettent de calculer leurs

### Bilans de masse pour trois glaciers suisses

Mesures cumulées en m d'équivalent en eau



Bilans de masse cumulés (en m d'équivalent en eau) pour les glaciers de Silvretta, Gries et Basòdino, obtenus par la méthode glaciologique. Ajoutés aux mesures des variations de volume, ces bilans constituent la base essentielle pour obtenir des séries de mesure homogénéisées du bilan de masse d'un plus large échantillon au cours des 100–150 années passées (Huss et al., in press).



**Réseau suisse des observations glaciaires.**  
**Rouge:** mesures du bilan de masse (3 glaciers);  
**bleu:** mesures additionnelles des variations de volume (22 glaciers).

variations de volume à long terme de vingt-cinq glaciers. Les mesures du bilan de masse sont effectuées et financées par le Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie (VAW) de l'EPF de Zurich, avec le soutien d'offices fédéraux, de sociétés de forces motrices et de privés.

(suite page 56)

variations de longueur au cours des cent dernières années à intervalles de 10–30 ans. Dans la perspective du GTN-G, il faudrait avant tout poursuivre les mesures sur les trois glaciers tier 3. En ce qui concerne les autres longues séries de mesure, la priorité devrait être donnée au développement d'un concept pour leur utilisation future. Une approche prometteuse à cet égard est l'utilisation combinée de modèles du bilan de masse et de données de télédétection en vue de l'extrapolation spatio-temporelle de mesures isolées. D'autre part, de telles séries de longue durée servent à extrapoler les données climatiques pour la reconstruction du passé et l'estimation du développement futur.

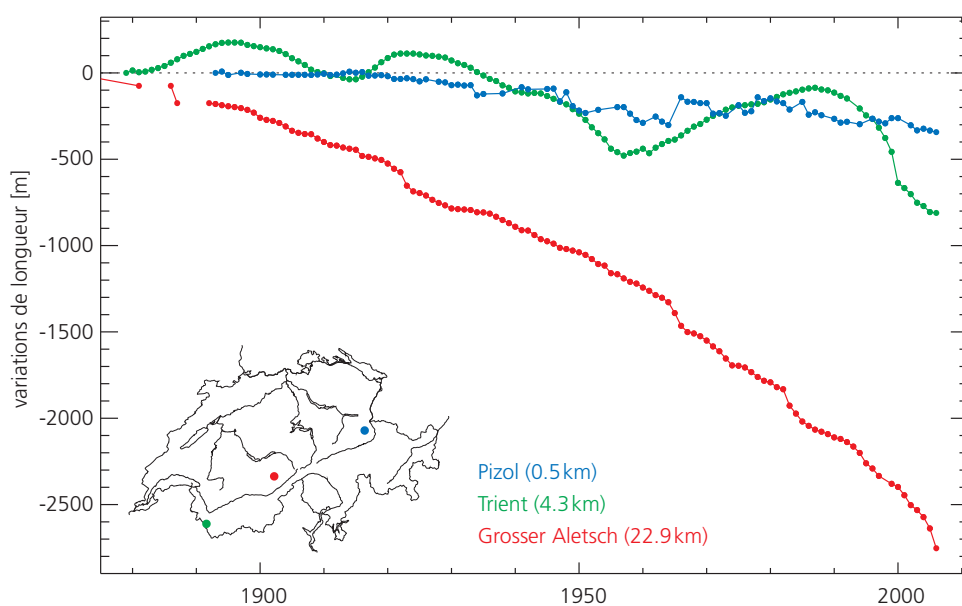
## Variations de longueur Les séries de mesure et leur portée

Les premières observations régulières des glaciers dans les Alpes suisses ont commencées en 1880 par des mesures annuelles des variations de longueur. Depuis 1893, ces mesures sont effectuées systématiquement et coordonnées à l'échelon international. Grâce au travail continu de nombreux observateurs, le réseau suisse d'observation est l'un des plus étoffés du monde. Selon le rapport d'évaluation sur les glaciers, les mesures effectuées aujourd'hui

sur 120 glaciers devraient se poursuivre sur au moins 97 d'entre eux (dont 73 en première priorité). Dû aux désagréments croissantes de nombreuses langues glaciaires pendant ces dernières années, une estimation univoque du changement de la longueur reste souvent problématique. Il s'ensuit aussi de nouveaux défis sur le plan méthodologique et la nécessité d'envisager plus souvent le recours à de nouvelles technologies.

## Variations de longueur de trois glaciers suisses 1880 – 2006

Mesures annuelles cumulées en m



Mesures annuelles cumulées des variations de longueur (en m) de trois glaciers choisis, de grandeur différente (longueur en km). La figure illustre comment la grandeur d'un glacier influe sur l'amplitude et la durée des variations. En Suisse, les plus grands glaciers (p.ex. le grand glacier d'Aletsch) n'ont présenté pratiquement aucune fluctuations depuis le début des observations, mais reculent continuellement. Par contre, des glaciers de montagne plus pentus (glacier du Trient) présentent des fluctuations de l'ordre de décennies, et les petits glaciers (glacier du Pizol) des variations annuelles. (Rapports sur les glaciers, 1881–2006).

## Mesures effectuées en Suisse (2)

Tout au long de son développement au cours des ans, le réseau suisse d'observation a accumulé des données sur les variations de longueur de glaciers de toutes grandeurs et de tous types dans presque toutes les régions recouvertes de glaciers dans les Alpes suisses. La gamme de ces derniers va du petit glacier isolé au grand glacier de vallée en passant par les glaciers de cirque et de montagne. Alors que les deux derniers types figurent de façon représentative dans ces données, les petits glaciers sont en revanche fortement sous-représentés en comparaison de leur nombre effectif (selon l'inventaire, 80% des glaciers ont moins de 1 km<sup>2</sup>). Les mesures du bilan de masse sont effectuées par la VAW de l'EPFZ, en collaboration avec des offices fédéraux, des sociétés de forces motrices et des privés et soutenu par la EKK. Les variations de longueur continuent d'être établies principalement par

des mesures dans le terrain. Celles-ci sont effectuées à l'aide de méthodes simples telles que le mètre ruban et des distancemètres portables ou de procédés plus élaborés recourant au théodolite et/ou au GPS. A ceci s'ajoute la télédétection, de plus en plus utilisée. Il n'a pas été possible jusqu'ici, pour des raisons de non-disponibilité, de faire appel pour une évaluation systématique aux images aériennes prises depuis quelques décennies à intervalles réguliers par swisstopo. Les mesures dans le terrain seront aussi nécessaires à l'avenir pour étalonner les données de télédétection. Les inventaires des glaciers représentent les observations tier 5 dans le GTN-G; les données caractéristiques de chacun d'entre eux sont saisies selon un schéma standardisé. A part le nom, les coordonnées et le bassin versant hydrologique (en code chiffré), elles incluent des indications sur l'aire, la longueur,



## Inventaires

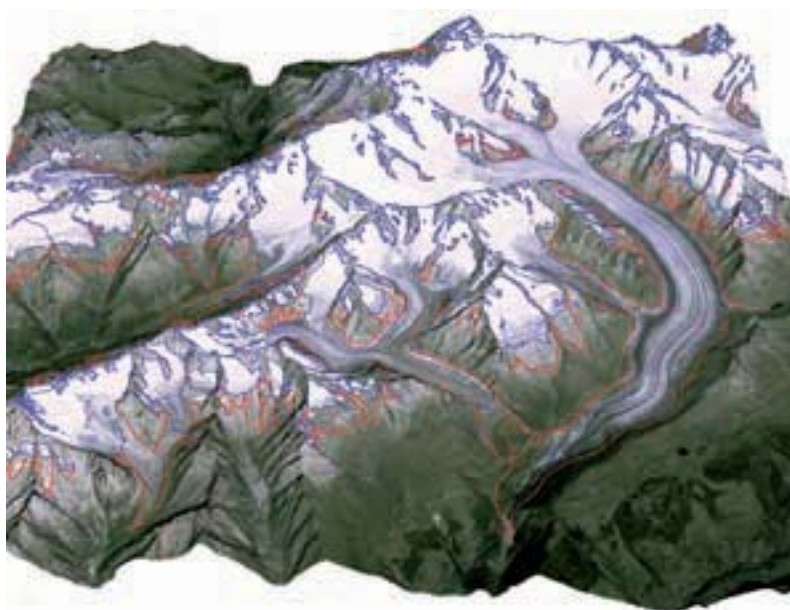
### Les séries de mesure et leur portée

Un inventaire des glaciers suisses a été réalisé à partir de photos aériennes de l'automne 1973 et publié. Il a été complété par un inventaire de 1850 environ – reconstitué sur la base des planchettes topographiques de l'époque, de reconnaissances sur le terrain et du dépouillement de photos aériennes – et évalué conjointement aux données de 1973 remaniées. Un nouvel inventaire a été établi pour les années 1998/99 à partir de données

satellitaires multispectrales (SGI 2000), qui couvre environ 85 % de la surface de glaciers encore existante. Les contours des glaciers en 1850 et 1973 ont été digitalisés dans différents projets et sont publiés maintenant dans l'atlas digital de la Suisse. Les contours des glaciers du SGI 2000 sont intégrés à la base de données GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) et à disposition libre.

### Recul des glaciers dans la région d'Aletsch

Extension glaciaire d'après les inventaires des glaciers suisses en 1850 et 1973



Comparaison des inventaires des glaciers suisses entre 1850 (rouge) et 1973 (bleu) de la région d'Aletsch. Des inventaires des glaciers réunissent les grandeurs caractéristiques d'un échantillon de glaciers aussi grand que possible à un moment donné. Ils constituent une base essentielle pour le traitement de nombreux problèmes glaciologiques, hydrologiques, climatologiques et géomorphologiques et devraient être répétés à intervalles de quelques décennies (Paul et al., 2004). Ces inventaires fournissent un précieux apport en matière de dangers naturels, en ce sens que, par exemple, les surfaces actuelles des glaciers peuvent être prises en compte pour des modélisations hydrologiques. Modèle numérique de terrain : swisstopo, données satellites : NPOC/Eurimage.



**Réseau suisse des observations glaciaires.**  
**Rouge: mesures des variations de longueur (73 glaciers en première priorité); bleu: le reste des 120 glaciers où ces mesures sont effectuées.**

le point le plus élevé et le plus bas, l'exposition et l'heure du relevé, ainsi qu'une classification morphologique selon une clé préétablie. Les inventaires permettent l'extrapolation de mesures individuelles (p.ex. le bilan de masse) sur la totalité des échantillons et donc une estimation suisse des changements (p.ex. perte de volume de glace).

### Intégration internationale

Les méthodes, développées pour le SGI 2000, qui permettent d'effectuer une classification automatique des glaciers à partir de données satellitaires multispectrales et de déduire ensuite des grandeurs de l'inventaire au moyen de systèmes d'information géographique, sont appliquées aujourd'hui dans le monde entier. C'est le cas notamment dans le projet GLIMS, qui a pour but de compléter l'inventaire mondial des glaciers à l'aide de données satellitaires et devrait être prochainement officiellement

responsable du tier 5 au sein du GTN-G. Les mesures sur les trois glaciers tier 3 (Silvretta, Gries, Basòdino) et sur les vingt-cinq glaciers dont on suit les variations de volume représentent, avec celles des variations de longueur, la contribution suisse aux observations mondiales des glaciers, lesquelles sont réunies, archivées et publiées par le Service mondial de surveillance des glaciers (World Glacier Monitoring Service) (→ 4.3 WGMS).

### Ressources nécessaires

Le financement des mesures des glaciers n'est pas assuré à long terme, dû au manque de bases légales. Il est actuellement fondé sur un accord facultatif sans assurance pour l'avenir. Puisque d'autres frais sont nécessaires pour

l'acquisition d'images satellites et aériennes, ces mesures devraient être assurées à long terme dans le cadre du financement du GCOS Suisse.

## 3.8 Pergélisol

Le pergélisol est très sensible aux changements climatiques tels que l'augmentation de la température, observée actuellement. Son dégel a pour effet de déstabiliser le sol en haute altitude, ce qui peut avoir des conséquences négatives pour les remontées mécaniques, les chemins pédestres, les cols routiers et les villages de montagne.



### § Bases légales

Le monitoring du pergélisol ne figure qu'indirectement dans la législation nationale, en relation avec les dangers naturels causés par les modifications du pergélisol. Selon l'article 12c de l'ordonnance sur l'organisation du DETEC (Org DETEC, RS 172.217.1), la Confédération doit assurer la protection contre les dangers naturels. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) est responsable de ces tâches. En outre, selon l'article 3d de l'ordonnance du Conseil des EPF sur les établissements de recherche du domaine des EPF (RS 414.161), l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) est actif dans le domaine du pergélisol.

### Mesures effectuées en Suisse

On désigne par pergélisol un sous-sol dont la température en profondeur ne monte pas au-dessus de 0°C pendant toute l'année. De tels sols et roches, situés dans les Alpes principalement au-dessus de la limite des forêts, ne dégèlent donc jamais.

Le pergélisol s'étend sous une couche active atteignant jusqu'à plusieurs mètres d'épaisseur et dont la température alterne selon la saison entre des valeurs positives et négatives. Il se cache dans des parois rocheuses, les cimes de massifs entiers ou des éboulis. Dans les régions polaires, le pergélisol peut atteindre une épaisseur de plus d'un kilomètre, alors que sous nos latitudes, celle-ci se situe entre le décimètre et plusieurs centaines de mètres. On estime qu'environ 5% de la surface de la Suisse est occupée par le pergélisol, ce qui est à peu près le double de la superficie recouverte par les glaciers.

En Suisse, les mesures du pergélisol sont coordonnées par PERMOS (Permafrost Monitoring Switzerland); le centre de coordination est sis à l'Université de Zurich. Les mesures sont assurées par diverses institutions partenaires. Le réseau de mesure PERMOS est en voie d'édification; il se compose de stations situées dans les éboulis meubles des hautes Alpes et en des lieux rocheux de pente et exposition diverses.

Les mesures s'effectuent de différentes manières: i) Sur 16 sites, les profils de température sont recueillis par forage. A une profondeur de 100m, ce procédé permet de déterminer l'épaisseur de la couche dégelée et les variations de température du pergélisol. ii) Dans 5 zones, la température est mesurée à la surface du sol, ce qui donne des indications sur la température dans le sous-sol et ainsi sur la présence de pergélisol. iii) 8 sites sont suivis

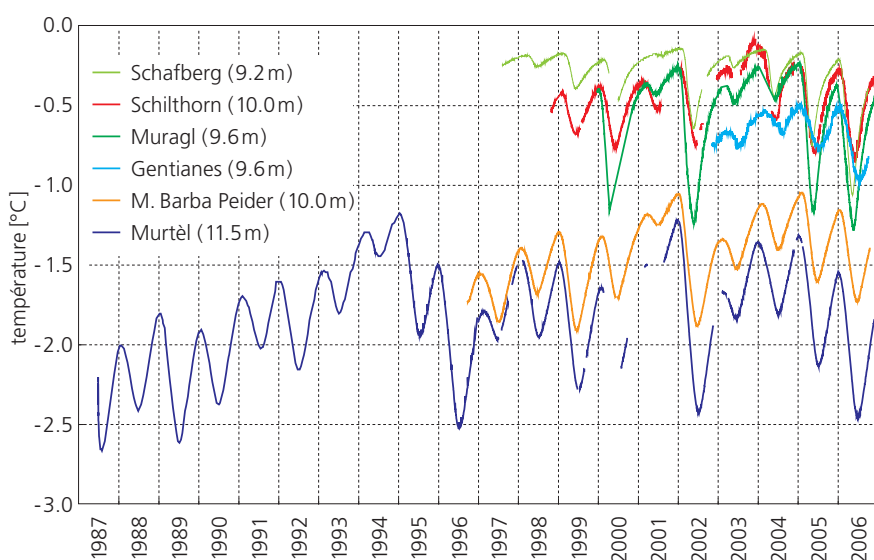
## Les séries de mesure et leur portée

PERMOS a été constitué dans les années 1990 en partenariat par des instituts universitaires. Les mesures effectuées dès le début constituent une très longue série en comparaison internationale. Les stations au sein de PERMOS sont très importantes pour le GCOS Suisse, car elles se distinguent tant au niveau de la qualité que par une longue durée d'exploitation. La plupart des stations existantes ont été créées pour des projets de recherche portant sur des problèmes axés sur des processus, mais elles

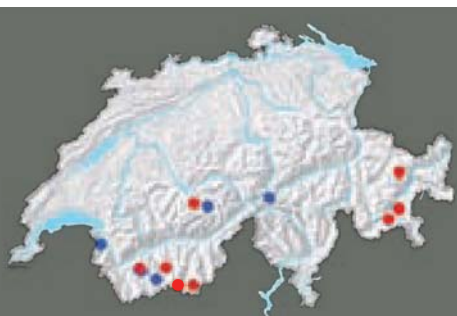
sont à disposition pour des monitorages. Cela a conduit à leur subdivision en deux catégories: les mesures se poursuivront en priorité dans les sites A dont le standard de méthodes et de technique sera adapté en conséquence; les sites B maintiendront leur activité jusqu'en 2009, puis seront réévalués. Une extension du réseau est prévue à moyen terme dans le contexte de diverses activités. Idéalement, il faudrait deux stations PERMOS dans chaque région climatique des Alpes.

## Températures du pergélisol de six forages 1987 – 2006

Moyennes mensuelles en °C à une profondeur de 10 m environ



La mise en parallèle des températures du pergélisol mesurées à environ 10 m de profondeur dans six forages sélectionnés met en évidence trois phases du réchauffement, interrompu en 1995/1996 et en 2002. Le signal met en gros une demi-année pour parvenir à cette profondeur; le sous-sol agissant comme un filtre à éliminé les composantes de haute fréquence. L'évolution de la température dépend principalement des conditions hivernales d'enneigement et des températures de l'air estivales (Vonder Mühl et al., 2007).



Le réseau de mesure PERMOS. Stations A (rouge); stations B (bleu). Les stations ont été créées pour des projets de recherche, d'où leur distribution géographique hétérogène.

par photographie aérienne.

Les stations sont classées en trois catégories: Les stations A sont intégrées au programme PERMOS et les mesures seront poursuivies; b) les stations B continueront à être exploitées et seront réévaluées en 2009; c) les stations C ne figureront plus dans PERMOS.

## Intégration internationale

Parmi les activités internationales de recherche et monitoring du pergélisol, PERMOS est une composante du Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P) en voie de réalisation au sein du SMOC/GTOS. A part les mesures in situ, on entend recourir aussi davantage à la télédétection et aux modélisations numériques dans l'espace et le temps.

Le projet de l'UE Permafrost and Climate in Europe PACE a également apporté sa contribution au GTN-P. Neuf forages du pergélisol, dont trois sur des sites suisses, y ont été intégrés et étudiés.

## Ressources nécessaires

Le financement des mesures effectuées par PERMOS et celui du centre de coordination est assuré jusqu'à fin 2010 par un accord entre l'OFEV, la SCNAT et MétéoSuisse. Ensuite, la

part du financement des stations de mesure du pergélisol imputable au monitoring du climat devrait être assumée par le GCOS Suisse.



# 3.9 Utilisation du sol

Dû aux activités humaines et aux événements naturels, quelque 4000 ha du sol suisse changent chaque année d'affectation. La libération ou la capture de gaz à effet de serre par les changements d'utilisation du sol a des impacts sur le système climatique. Des informations historiques et actuelles sont nécessaires pour déterminer ces effets.



## §

### Bases légales

La loi sur la statistique fédérale (LSF, RS 431.01) fixe pour tâche de fournir, sur la base de critères scientifiques choisis en toute indépendance, des informations représentatives sur l'état et l'évolution de la population, de l'économie, de la société et de l'environnement en Suisse. L'Office fédéral de la statistique (OFS) est, à cet effet, le service central de la Confédération. L'ordonnance concernant l'exécution des relevés statistiques fédéraux (RS 431.012.1) fixe les principes qu'il faut observer lors de l'exécution de relevés statistiques.

### Mesures effectuées en Suisse

La statistique de la superficie de l'OFS, en tant que relevé officiel de l'utilisation du sol en Suisse, enregistre en moyenne tous les douze ans les changements d'utilisation du sol. Elle évalue à cet effet des photographies aériennes de l'Office fédéral de la topographie. Actuellement, des résultats de la troisième période de saisie 2004–2009 sont disponibles pour 16% de la superficie totale de la Suisse (état au printemps 2007). Un fait nouveau est le relevé séparé de 46 catégories d'utilisation et de 27 catégories de couverture du sol. Leur combinaison en 72 catégories de base garantit la comparabilité avec les résultats publiés antérieurement. Les deux premiers relevés de 1979–1985 et 1992–1997 sont examinés sur la base de la nouvelle méthode et adaptés à la nouvelle nomenclature. Étant donné qu'une politique transfrontalière a besoin de bases d'information fiables, objectives et com-

parables, la statistique de la superficie de 1979/85 a été intégrée dans la statistique européenne d'utilisation du sol CORINE (Coordination de l'information sur l'environnement) de 1990. Les données se distinguent par la définition des types d'utilisation du sol, la nomenclature et la résolution spatiale. Le projet CORINE Land Cover 2000, soutenu par l'Union européenne et l'Agence européenne pour l'environnement (EEA), met à disposition un système d'information actualisé sur l'utilisation du sol et ses changements dans l'ensemble de l'Europe. D'où l'objectif visant à intégrer la statistique de la superficie dans la base de données de CORINE 2000. Avec le soutien de l'Agence spatiale européenne (ESA), CORINE 2000 est complété par des données satellitaires, dans le cadre du projet GlobCover. Pour ses inventaires du paysage, le WSL compare les données de CORINE avec



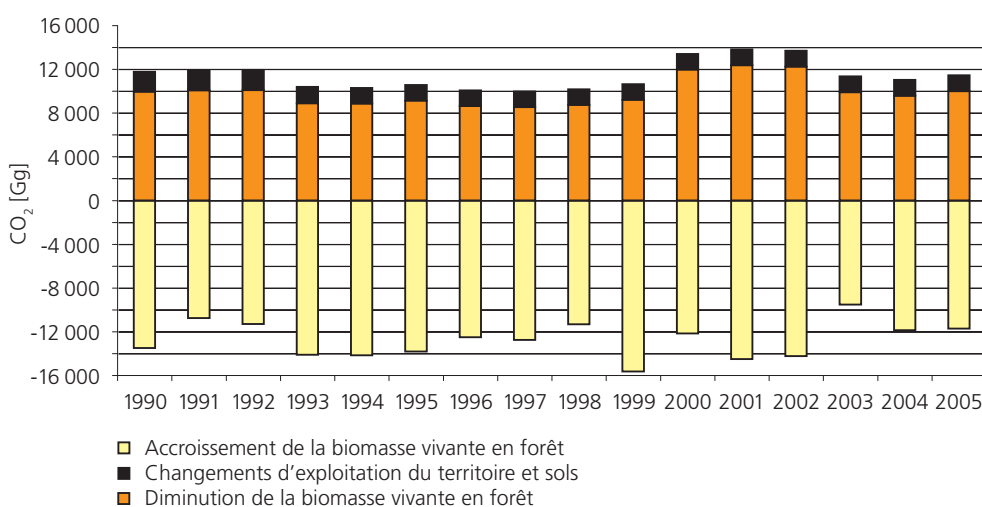
## Les séries de mesure et leur portée

L'utilisation du sol en Suisse a déjà fait l'objet de relevés en 1912, 1923/24, 1952 et 1972. En raison de l'inconsistance de ces relevés, les changements dans l'utilisation du sol d'une période à l'autre ne peuvent pas être déterminés de façon satisfaisante. La réévaluation des statistiques de la superficie de 1979/85 et 1992/97 selon l'approche méthodologique de l'actuel troisième relevé rend les trois

ensembles de données directement comparables entre eux, ce qui permet d'obtenir des indications statistiquement fondées sur la transformation de l'utilisation du sol au cours d'une longue période (1979–2009). Ceci constitue entre autres une excellente base pour déterminer les bilans de carbone correspondants de l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre.

## Bilan de CO<sub>2</sub> du changement d'affectation du sol Suisse 1990 – 2005

Sources et puits de CO<sub>2</sub> en gigagrammes



Les sources (+) et puits (-) de CO<sub>2</sub> de l'utilisation du sol et des changements d'affectation du sol en Suisse (OFEV, 2007). Les bilans de gaz à effet de serre montrent que l'utilisation du sol en Suisse depuis 1990 a été en moyenne un puits. Toutefois, les variations annuelles sont importantes et dues avant tout à deux facteurs : (a) l'apparition de forte tempêtes (chablis) et (b) d'étés secs et torrides (faible croissance des arbres). L'utilisation énergétique du bois sera un facteur décisif à l'avenir.



État de l'évaluation (2007) de la période de saisie 2004–2009 de la statistique de la superficie. Orange : données des cantons (15 %) ; vert clair : communes (19 %) ; vert foncé : géodonnées (21 %).

des données d'inventaires forestiers et de produits satellitaires globaux.

L'état de paysages fait l'objet de relevés en vue de conserver des écosystèmes nationaux protégés. Cette tâche est assumée par l'OFEV et réalisée par le biais de preneurs de projets (entre autres le WSL).

## Intégration internationale

En signant la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), la Suisse s'est engagée à établir un inventaire national des sources et puits de gaz à effet de serre. Celui-ci doit être établi chaque année, rétroactivement à partir de 1990. L'OFEV est responsable de cette tâche. Sous l'étiquette de « Land Use, Land Use Change and Forestry

(LULUCF) », l'utilisation du sol et de ses changements doit faire l'objet d'un bilan des gaz à effet de serre aussi complet que possible selon des directives internationales du GIEC. Le bilan de carbone de la forêt doit être déterminé de façon particulièrement exacte. La statistique de la superficie et l'inventaire forestier national servent de bases de données.

## Ressources nécessaires

La statistique de la superficie publiée régulièrement les données les plus actuelles et les met à disposition de différents utilisateurs sous forme de géodonnées de base. Celles-ci sont

des résultats régionaux essentiels à LULUCF. La loi sur la statistique fédérale règle l'exécution de cette tâche.

# 3.10 Écosystème forestier

La forêt remplit des fonctions de production, de protection et de détente. Le changement climatique a des impacts sur les forêts. La durée de la période de végétation change. A l'avenir, les limites de distribution des différentes espèces d'arbres en seront modifiées. Des observations à long terme sont nécessaires pour comprendre les paramètres qui influencent l'écosystème forestier.



## § Bases légales

La loi fédérale sur les forêts (LFO, RS 921.0) a été créée en réponse au dépérissement des forêts. Le programme forestier suisse (PFS) de 2002/03 constitue la base de la future orientation de la politique forestière de la Confédération. La loi et l'ordonnance sur les forêts sont précisées dans des circulaires adressées aux autorités d'exécution des cantons. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) soutient des projets d'observation des forêts, qui sont élaborés par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). Selon l'ordonnance du Conseil des EPF sur les établissements de recherche du domaine des EPF (RS 414.161), le WSL est responsable de l'écologie forestière et de la gestion et santé des forêts.

## Mesures effectuées en Suisse

L'état des forêts suisses est suivi depuis 1985 dans le cadre de l'inventaire Sanasilva. L'accent porte ici sur l'état de santé des arbres. Les relevés ont lieu en juillet et août dans un réseau d'échantillonnage à mailles de 16 x 16 km (env. 50 surfaces d'échantillonnage). Les caractéristiques principales saisies par cet inventaire sont (a) la défoliation des houppiers, (b) le changement de couleur des houppiers et (c) le taux de dépérissement et, en relation avec l'inventaire forestier national, la croissance des arbres. Dans le cadre des Recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers (LWF), des efforts plus approfondis et plus complets sont en cours depuis 1994 pour étudier l'état des forêts, dans le sens d'une approche intégrale. Les travaux effectués sur 18 aires d'observation (placettes LWF) en Suisse ont pour objet de (a) détecter les influences extérieures (substances, climat) anthropiques et naturelles, (b) déterminer les

changements de composantes importantes de l'écosystème forestier, (c) développer des indicateurs de l'état des forêts et (d) effectuer des analyses globales des risques pour différents scénarios d'exposition. Dans ce but, de nombreux paramètres spécifiques sont saisis en permanence. C'est ainsi que des grandeurs météorologiques sont mesurées automatiquement sur les placettes LWF, l'une des stations de mesure se trouvant dans le peuplement forestier et une seconde sur une surface dégagée située à proximité. En outre, diverses propriétés ayant trait au peuplement, à la végétation, au sol et aux substances nutritives sont déterminées avec une résolution temporelle allant de l'heure à l'année.

Depuis deux décennies, des mesures climatiques et physiologiques sont réalisées dans la forêt du Seehorn à Davos. On dispose ainsi d'une série de mesure presque ininterrompue

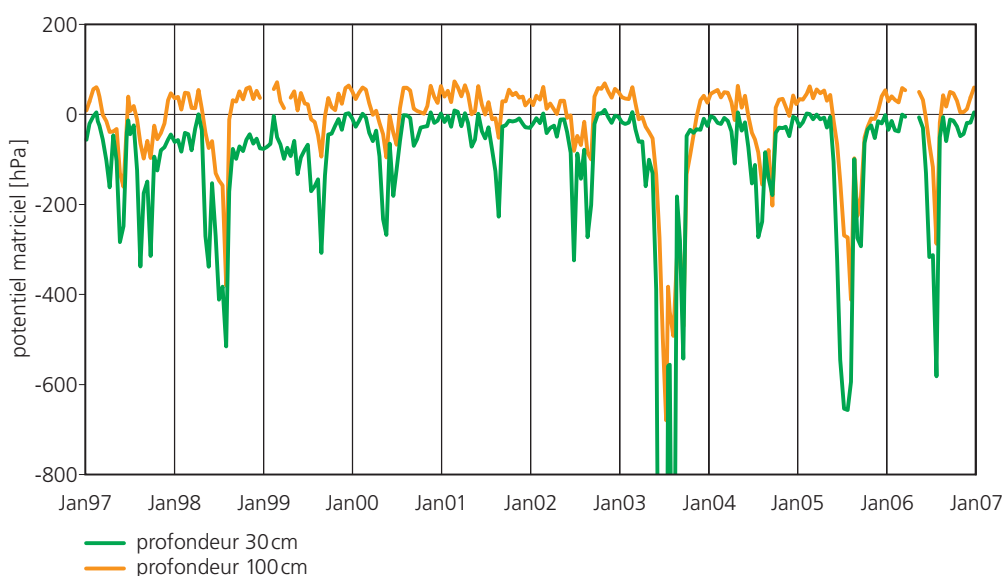
## Les séries de mesure et leur portée

Les recherches à long terme sur des aires d'observation et d'expérimentation permettent de mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique et du changement climatique sur les écosystèmes forestiers. Le réseau systématique de surfaces d'échantillonnage de Sanasilva a diminué avec le temps. De 1985 à 1992, environ 8000 arbres répartis sur 700 aires ont été suivis dans un réseau à mailles de 4 x 4 km; en 1993, 1994 et 1997, ce furent quelques 4000 arbres dans un réseau de

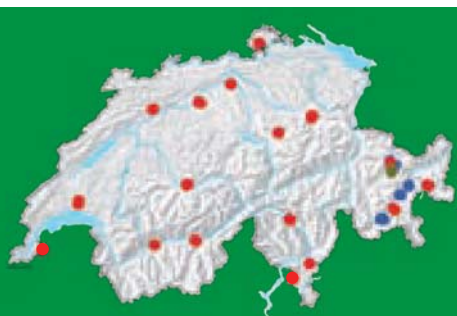
8 x 8 km et en 1995, 1996 et à partir de 1998, 1100 arbres dans un réseau de 16 x 16 km. En dehors de ces aires d'échantillonnage et des sites LWF, des études bioclimatologiques sont effectuées dans l'expérience de reboisement subalpin du Stillberg près de Davos. Des observations des aiguilles des mélèzes sont effectuées depuis le début des années 1960 en Engadine et près de Davos pour évaluer les effets de la tordeuse du mélèze et les impacts du changement climatique.

## Disponibilité d'eau pour les plantes 1997 – 2006

Potentiel matriciel du sol de la placette LWF de Vorderwald en hPa (Plateau Suisse, 480 m d'alt.)



Évolution du potentiel de charge du sol de la placette LWF de Vorderwald de 1997 à 2006. Plus les valeurs sont basses, plus il est difficile pour les arbres d'extraire de l'eau du sol (Graf Pannatier et al., 2007). Dans le cadre des Recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers (LWF), la disponibilité en eau du sol, par exemple, est aussi mesurée, afin d'étudier les effets de la sécheresse sur les arbres. Plus il a fait sec pendant l'année caniculaire 2003, plus la croissance des arbres a diminué par rapport à l'année humide 2002.



Les placettes des Recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers LWF (rouge), l'expérience de reboisement au Stillberg (vert) et les sites d'observation des mélèzes en Engadine (bleu).

de quelque 10 ans des échanges gazeux des peuplements, d'arbres et de branches. Pour la même période, des mesures continues du rayon racinaire et du flux de l'eau dans les racines sont à disposition. Dans le cadre de projets sur l'écologie des feux de forêts, d'autres surfaces forestières spécifiques sont étudiées (→ 3.11 Feux de forêt).

## Intégration internationale

Les objectifs des LWF sont en accord avec ceux du Programme international concerté pour l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (PIC-Forêts). Ce programme a été formé en 1985 sur la base de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance de la CEE-ONU. Les mesures sont

fournies chaque année au Centre de recherche commune (JRC) à Ispra (I) et au centre de coordination du PIC-Forêts à Hambourg. D'autres données sont utilisées pour le rapport « Criteria and Indicator » de la Conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe. Les LWF sont intégrés à l'International Long-Term Ecological Research Network ILTER.

## Ressources nécessaires

La poursuite des enquêtes LWF et Sanasilva est assurée à moyen terme. Le reboisement au Stillberg peut faire l'objet, selon les moyens

financiers disponibles, d'études extensives ou intensives. Les enquêtes sur les mélèzes sont assurées à long terme.

## 3.11 Feux de forêt

Les feux de forêt peuvent être provoqués aussi bien par des activités humaines que par des facteurs naturels. Les effets d'un manque de précipitations ou d'un déficit d'humidité peuvent se prolonger plusieurs années. Les incendies portent atteinte à la fonction de protection de la forêt. Un changement climatique peut modifier les risques d'incendies forestières à l'échelle régionale.



### §

#### Bases légales

Selon la Constitution fédérale (RS 101, art. 77), la Confédération doit veiller à ce que les forêts puissent remplir leurs fonctions protectrice, économique et sociale. La loi sur les forêts (LFo, RS 921.0) souligne que celles-ci doivent contribuer à protéger la population et les biens. Selon l'ordonnance correspondante (OFo, SR 921.01), les cantons doivent prendre des mesures contre les causes de dégâts mettant en danger la conservation de la forêt et réaliser des installations techniques permanentes pour la prévention du feu. Le service forestier cantonal surveille la situation en matière de dangers et interdit d'allumer des feux dans/près des forêts. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse met en garde contre les dangers de feux de forêt (MetG, SR 429.1).

#### Mesures effectuées en Suisse

Une statistique des feux de forêt est un instrument indispensable aux services forestiers et aux services du feu pour planifier les installations techniques de lutte contre l'incendie et les mesures de prévention. Des données sur les feux de forêt, qui remontent jusqu'à des années voire des décennies en arrière, permettent d'effectuer différentes analyses pour (a) identifier des régions ou des types de forêt particulièrement vulnérables au feu, (b) examiner le danger d'incendie en fonction des conditions météorologiques (indice de danger) comme base de décision pour l'interdiction d'allumer des feux, (c) optimiser les mesures de prévention et (d) établir le bilan des différentes étapes de l'évolution de la lutte contre le feu au cours des ans. En général, les feux de forêt peuvent être classés en quatre types qui peuvent coexister et sont dépendants les uns des autres : les feux de surface, les feux de

cimes, les brandons, les feux de sol (feux de litière et d'humus). Pour la Suisse méridionale (Tessin, sud du Simplon et vallées méridionales des Grisons), le WSL a établi en 1993 déjà, dans le cadre du programme national de recherche PNR 31, une base de données des feux de forêt. Jusqu'en 2006, des informations sur plus de 6600 feux de forêt, qui remontent en partie jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle, ont été enregistrées dans cette base de données. A partir de 1980, le canton des Grisons a également inventorié systématiquement les feux de forêt. Dans les cantons du Valais et d'Uri, des recherches en archives ont permis de rassembler des données sur les feux de forêt les plus significatifs depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle. Le relevé des données est effectué par le service des forêts et le service du feu ; la base de données centrale est tenue par le WSL. Des cartes mondiales des feux de forêts sont



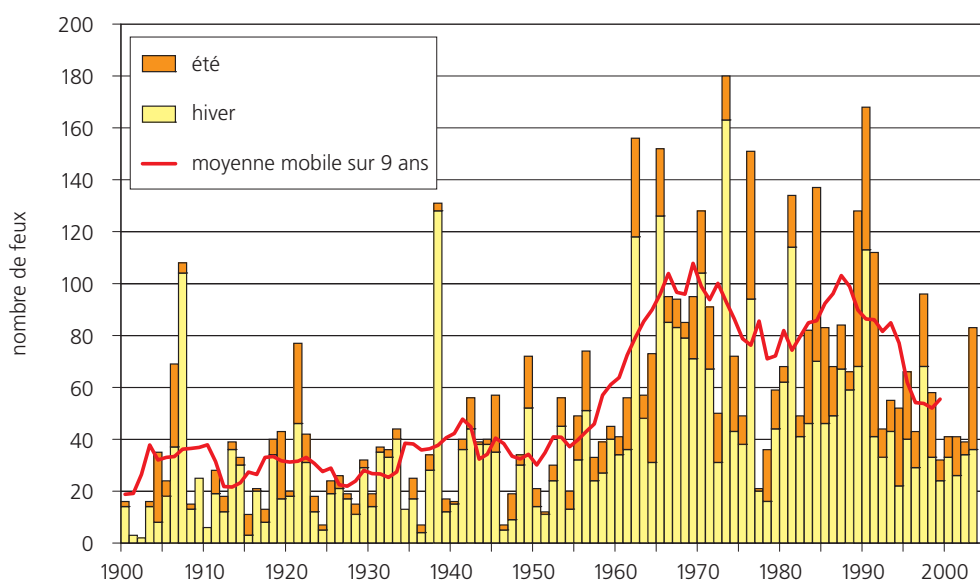
## Les séries de mesure et leur portée

Les statistiques des feux de forêt réunies dans la base de données du WSL portent sur de nombreuses années; elles permettent d'analyser l'évolution des feux dans certaines régions. La saisie de ces données pour l'ensemble de la Suisse est envisagée. La répartition spatiale des feux de forêt renseigne en outre sur leur périmètre et sur le régime en matière d'incendie des régions concernées. A l'inverse, la distribution d'un type donné de feu de forêt peut aussi être analysée, comme p.ex. les lieux

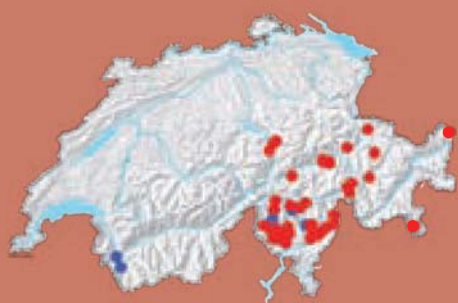
précis où la foudre a allumé des incendies pendant l'été caniculaire de 2003. Pour étudier l'écologie des feux de forêt dans les Alpes, un projet du WSL étudie les incendies de Loèche. Depuis 2004 la météo locale est enregistrée de façon analogue aux mesures du réseau de recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers LWF (→ 3.10 Écosystème forestier) et un suivi régulier de la végétation et de la diversité biologique est effectué.

## Feux de forêt 1900 – 2003

Nombre d'incendies subdivisé en feux d'été et feux d'hiver



La distribution du nombre d'incendies par an pendant la période de référence 1920–2000 (base de données des feux de forêt au sud des Alpes). Au 20<sup>e</sup> siècle, le nombre d'incendies au sud des Alpes a augmenté à partir des années 1960, passant de 30 à 80 par année en moyenne. Depuis les années 1990, il diminue de nouveau. L'année exceptionnelle de 1973 a conduit à une réorganisation du service du feu au Tessin, grâce à laquelle la surface touchée par les incendies a nettement diminué depuis 1980 (Conedera et al., 1996).



Origines des feux de forêt allumés par la foudre pendant l'été 2003: certitude (rouge) et moindre certitude (bleu) concernant le moment d'initiation.

établies sur la base d'observations satellitaires et intégrées dans un atlas mondial. Elles sont basées sur les données des senseurs ATSR et AATSR placés sur les plateformes ERS-2 et Envisat de l'ESA. Le «Standard Forest Fire Product» du MODIS est une contribution au GTOS Programm Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics GOFC/GOLD.

## Intégration internationale

L'Observatoire mondial des incendies (Global Fire Monitoring Center, GFMC) fait des prévisions, surveille et archive des informations en provenance du monde entier sur les feux de forêt. Le GFMC est sis à l'Institut Max Planck de chimie à Fribourg-en-Brigau et est placé sous la responsabilité de l'Office des affaires étrangères et du Ministère allemand de l'éducation et de la recherche, ainsi que de la Décennie internationale de prévention des catastrophes (IDNDR) et de la Stratégie interna-

tionale de prévention des catastrophes (ISDR), deux programmes des Nations Unies. Des rapports du WSL paraissent régulièrement dans les «International Forest Fire News» publiées dans ce contexte. Le WSL est en outre un nouveau membre du Groupe d'experts sur les feux de forêt de la Commission européenne. A l'échelon européen, la Commission européenne diffuse les données gérées par le système d'information sur les feux de forêts EFFIS.

## Ressources nécessaires

La poursuite des activités de routine est assurée par le WSL. Les mises à jour ou élargissements

de la base de données sont effectués dans le cadre de projets à financer.

## 3.12 Phénologie

Les étapes de croissance et de développement des plantes sont fortement influencées par les conditions climatiques. Ainsi le réchauffement climatique des dernières décennies est en grande partie responsable des tendances observées sur les séries phénologiques. Ces observations sont aussi utiles dans les domaines de la santé (prévisions polliniques) et de l'agriculture.



### §

#### Bases légales

Selon la loi fédérale sur la météorologie et la climatologie (LMét, RS 429.1), la Confédération est tenue de saisir en permanence, sur l'ensemble du territoire suisse, des données météorologiques et climatologiques. En outre, elle s'emploie à fournir des informations climatologiques et à mettre en œuvre des mesures contribuant à garantir durablement un environnement sain. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse en est responsable (OMét, RS 429.11) et exploite des observations détaillées de phénologie. Les Offices fédéraux de l'environnement (OFEV), de l'agriculture (OFAG) et de la santé publique (OFSP) sont intéressés par la phénologie dans les domaines de la biodiversité, du génie rural et de la santé.

#### Mesures effectuées en Suisse

Le premier réseau d'observations phénologiques en Suisse a été instauré en 1760 par la Chambre économique de Berne. Environ cent ans plus tard, de 1869 à 1882, la Direction des forêts du canton de Berne a exploité un programme d'observations phénologiques des forêts.

Le Réseau national d'observations phénologique a été fondé en 1951 par MétéoSuisse et comprend aujourd'hui quelques 160 stations. Celles-ci sont réparties dans les diverses régions de Suisse et à différentes altitudes. La station la plus basse se trouve au Tessin (Vira) à 210 m d'alt. et la plus haute en Engadine à 1800 m d'alt. (St-Moritz).

Les observatrices et les observateurs notent chaque année la date de l'apparition des feuilles (ou des aiguilles), de la floraison, de la maturité des fruits, de la coloration et de la chute des feuilles d'une série de plantes

sauvages et cultivées. En tout, ce sont 69 phases phénologiques et 26 espèces de plantes qui sont régulièrement suivies. En 2001, MétéoSuisse a également repris la phénologie forestière mise en place par l'OFEV.

Parmi les indicateurs les plus importants du changement climatique, on compte le hêtre, le noisetier, le mélèze, l'épicéa, le tilleul à grandes feuilles, l'anémone des bois, le pissenlit et la marguerite. Les observations sont collectées par MétéoSuisse à la fin de l'année et permettent l'étude de l'influence à long terme du climat sur le développement de la végétation. Afin de pouvoir fournir en cours de saison des informations concernant l'état de développement de la végétation, certaines phénophases sont communiquées dès leur apparition.

En ce qui concerne la dispersion anémophile

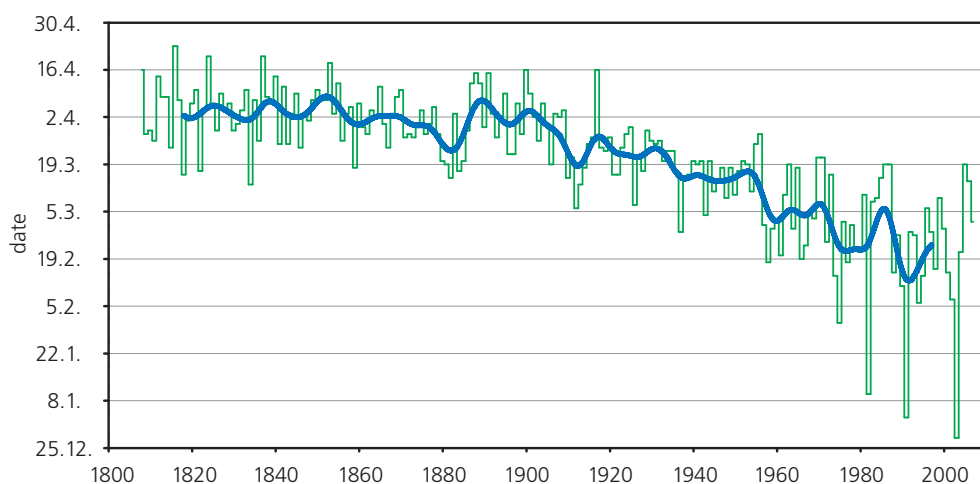
## Les séries de mesure et leur portée

Depuis 1808, la date de l'apparition de la première feuille du marronnier officiel est notée à Genève. C'est la plus longue série phénologique de Suisse. La seconde série la plus ancienne, commencée en 1894, qui concerne la date de floraison des cerisiers dans la campagne près de Liestal, est également très importante. Les observations du Réseau phénologique suisse sont plus jeunes et remontent au début des années 1950. Le

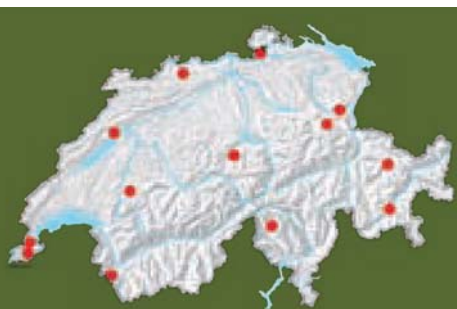
choix des stations d'observation les plus importantes couvre les différentes régions et altitudes de Suisse, et tient également compte de la qualité et de la plus longue durée possible des séries d'observation (arbres, arbustes et herbacées). Les douze stations les plus importantes sont ainsi Liestal, Davos, Enges, Murg, Prato-Sornico, Rafz, Sarnen, St. Moritz, Trient, Valsainte, Versoix und Wildhaus.

## Apparition de la première feuille du marronnier à Genève 1808 – 2007

Date d'apparition et la moyenne glissante



L'amplitude des variations de l'apparition de la première feuille du marronnier à Genève est très grande. Ainsi, cet événement a été observé en 1816 le 23 avril et, pour 2003, le 29 décembre 2002 déjà. Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, on remarque une nette tendance à l'apparition plus précoce de cette phase. Le réchauffement global et la croissance urbaine en sont la cause (Defila et Clot, 2001). Étant donné que les phases phénologiques sont fortement influencées par la température, les séries phénologiques sont de bons indicateurs des effets du changement climatique sur la végétation et son développement.



Les plus importantes stations d'observations phénologiques en Suisse, représentatives de différentes régions et altitudes et tenant compte des séries d'observation les plus longues.

du pollen, particulièrement importante en relation avec la santé humaine, c'est le Réseau national de mesure du pollen NAPOL qui délivre les informations adéquates (→ 2.13 Pollen).

## Intégration internationale

La Suisse est liée au Réseau phénologique européen (EPN) et, par la station de Birmensdorf-WSL, au programme d'observations des jardins phénologiques internationaux (IPG). De plus, dans le cadre de l'action COST-725, une collaboration a été entreprise afin d'harmoniser les directives pour les observations et de mettre sur pied une banque de données

européenne de référence. L'initiative GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) rassemble un réseau mondial de stations d'observation à long terme de plantes à l'étage alpin. La Suisse contribue à cette tentative par deux parcelles, une dans le Parc national, l'autre en Valais.

## Ressources nécessaires

Les observations à Genève et à Liestal ne dépendent pas du Réseau national, mais sont réalisées sur des bases volontaires. Leur avenir doit donc être considéré comme incertain. La

continuité des observations dans les douze stations les plus importantes du Réseau phénologique suisse est assurée par MétéoSuisse dans le cadre de son mandat.

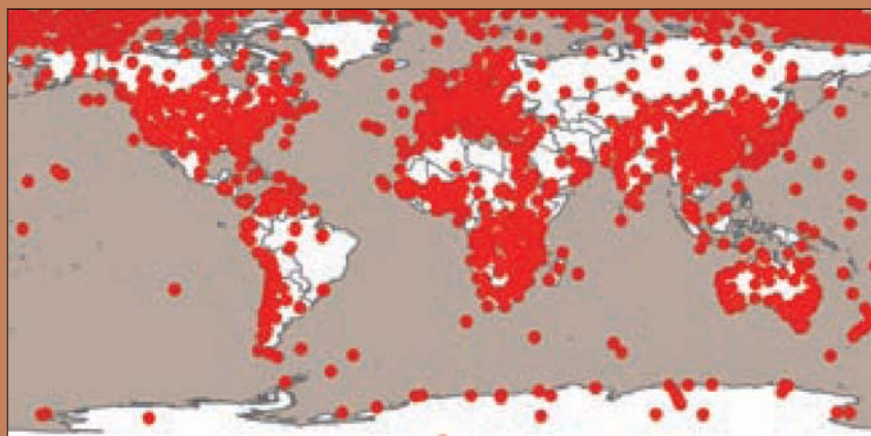


# 4.1 GEBA

Le Global Energy Balance Archive (GEBA) prend en charge l'archivage systématique des données de flux d'énergie mensuels du monde entier. Ces flux à la surface de la terre déterminent en grande partie les échanges de chaleur et les circulations dans l'atmosphère. Ces connaissances précises sur le bilan d'énergie sont essentielles pour comprendre le climat actuel et son évolution.



## Mesures effectuées dans le monde



La banque de données GEBA comprend 250 000 jeux mensuels de données de rayonnement global de 1600 stations à l'échelle mondiale.

La première version de la banque de données GEBA a été mise en service à l'EPFZ en 1988. Depuis 1991, elle est à disposition de la communauté scientifique mondiale. En 1994–1995, une nouvelle version a été développée et le collectif des données s'est très fortement accru.



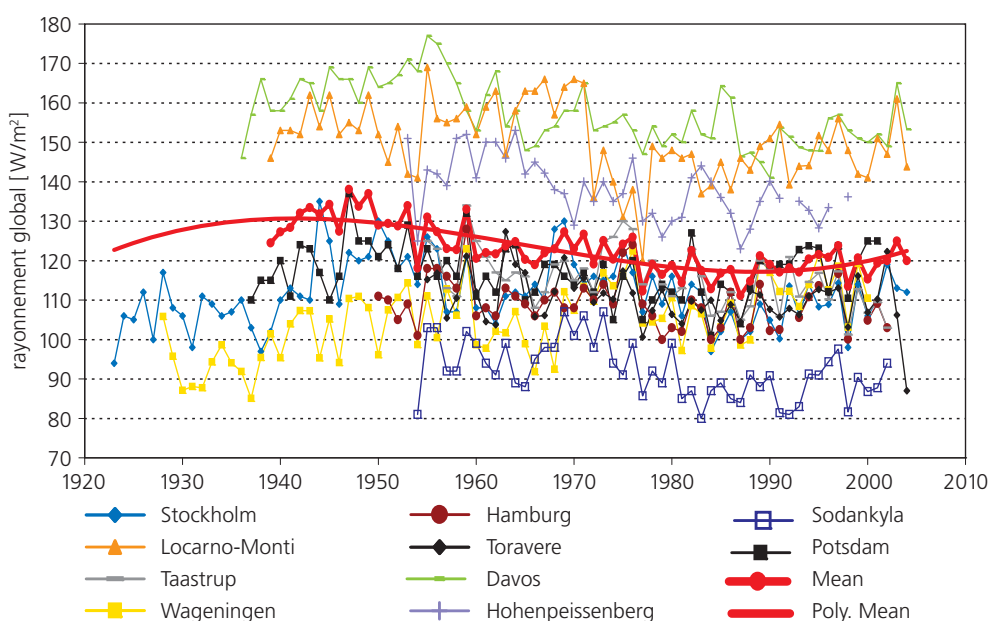
## Importance pour le SMOC

Les données déposées dans GEBA sont très largement utilisées et apportent une contribution primordiale dans la résolution des questions climatiques: (a) dans la validation des données de rayonnement dérivées des mesures par les satellites, (b) dans la validation des simulations des flux d'énergie effectuées au moyen de modèles de circulation globale, (c) dans l'analyse de l'absorption du rayonnement solaire par les nuages, (d) dans l'appréciation des effets des aérosols émis par les feux de forêts

dans les régions tropicales. Les plus longues séries d'observation de flux de rayonnement sont européennes: Stockholm, Wageningen, Davos, Potsdam et Locarno-Monti ont débuté avant 1940. Jusqu'à présent, les observations de 380 stations réparties dans le monde entier ont été analysées sur plus de 40 ans. Les mesures des différentes composantes du bilan de rayonnement constituent des données de base importantes pour la compréhension d'autres processus du système climatique.

## Rayonnement global de 10 stations européennes de l'archive GEBA

Moyenne annuelle en  $W/m^2$



L'évolution des moyennes annuelles du rayonnement global de 10 stations européennes disposant de plus de 50 ans d'activité et archivées dans la banque de données GEBA. Cette analyse montre que le rayonnement solaire a diminué de plusieurs pourcents à la surface de la terre entre 1960 et 1990 («global dimming»), et que cette évolution s'est inversée dans les 10–15 dernières années («global brightening»). Le rayonnement global des deux plus longues séries de données (Stockholm et Wageningen) montre une augmentation de  $20 W/m^2$  entre 1922 et 1952 (Ohmura, 2006).

Depuis 1997, environ 220 000 jeux mensuels de données de flux de rayonnement sont accessibles en ligne. La banque de données est régulièrement mise à jour et des contrôles de qualité complexes sont effectués. En 2005, 250 000 jeux mensuels de données provenant de 1600 stations du monde entier y étaient assimilés. GEBA intègre différentes composantes du rayonnement, soit 19 paramètres en tout. Parmi ceux-ci, on compte le rayonnement global, les flux de rayonnement court et long, ainsi que les flux turbulents de chaleur. Ces données sont acquises par différents types d'instruments. Des changements d'instruments sont intervenus au cours des années de mesure à la plupart des stations. La consistance des données et les informations sur les changements intervenus sont documentées dans l'historique des stations qui est prise en compte dans les analyses des données.

## Organes compétents

Le Global Energy Balance Archive (GEBA) existe depuis novembre 1986 en tant que projet du World Climate Programme (WCP) – Water sous l'égide de l'OMM, de l'UNESCO et du Conseil international pour la science (ICSU). GEBA a pour but d'intégrer des données

de mesure des flux de rayonnement dans une banque de données, afin de les mettre à disposition de la communauté scientifique. Cette banque de données est implantée à l'Institut des sciences de l'atmosphère et du climat (IAC) de l'EPF à Zurich.

## Ressources nécessaires

Le financement de la poursuite des activités du GEBA n'est pas assuré. Le maintien de la banque de données GEBA, son actualisation régulière et la mise à disposition de ses

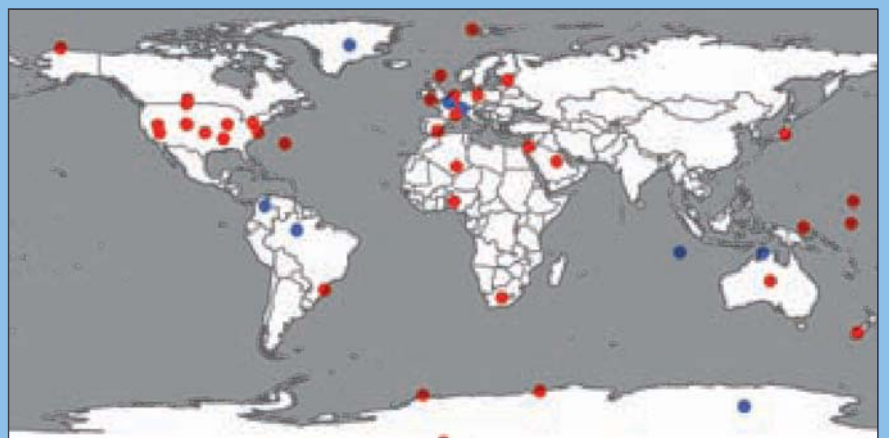
données pour la communauté scientifique internationale nécessitent la poursuite des activités du GEBA.

## 4.2 BSRN

Le Baseline Surface Radiation Network (BSRN) est le réseau de référence global pour la mesure du rayonnement à la surface de la terre. Seulement les observations de longue durée, de haute qualité et d'une grande stabilité temporelle permettent des conclusions à propos des changements globaux des flux de rayonnement. Cela explique l'importance de l'archivage systématique des données.



### Mesures effectuées dans le monde



Les stations du Baseline Surface Radiation Network (BSRN). Rouge : stations du BSRN opérationnelles ; bleu : stations du BSRN potentielles.

Les différentes composantes du rayonnement à courte et grande longueur d'onde sont mesurées en surface à 38 stations distribuées dans toutes les zones climatiques de 80°N à 90°S. Pour cela, des instruments et des méthodes assurant une précision optimale et

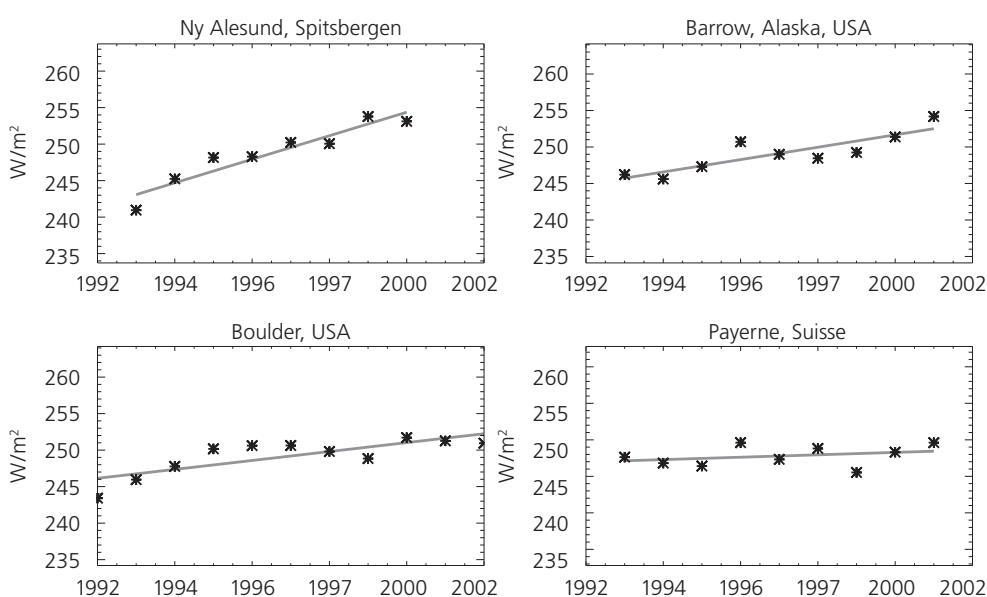
## Importance pour le SMOC

Cet ensemble de mesures cohérent au niveau mondial en ce qui concerne la méthodologie, le contrôle de qualité et l'archivage fournit un outil presque unique pour répondre aux questions d'ordre climatique. Ainsi, ces séries de données globales permettent la validation et l'étalonnage des produits satellitaires (→ 2.5 Rayonnement) ainsi que la validation des simulations par des modèles climatiques globaux. En outre, les mesures locales peuvent être utilisées pour la dérivation de climatologies

régionales du rayonnement. Le BSRN permet la surveillance continue des modifications du bilan de rayonnement provoquées par des facteurs naturels et anthropiques, modifications qui sont d'une grande importance dans la discussion du changement climatique. En tant que réseau de référence GCOS pour le rayonnement, des efforts supplémentaires sont en cours pour renforcer l'utilisation des principes d'observation SMOC au BSRN et au WRMC.

## Rayonnement solaire dans quatre stations BSRN 1990 – 2002

Valeur annuelle moyenne en  $W/m^2$



Changement du flux de rayonnement solaire à des stations BSRN sélectionnées, 1992–2002. Selon les mesures mondiales par le BSRN dès les années 1990, l'évolution démontre un changement de tendance de l'irradiation solaire à partir du milieu des années 1980 dans la plupart des régions de la terre (« global brightening »). L'analyse de 19 stations BSRN montre une augmentation de  $0.47 W/m^2$  par année (1992–2004). Hormis les changements de couverture nuageuse, un tel changement de tendance pourrait être expliqué par l'amélioration de la qualité de l'air observée à beaucoup d'endroits (Wild et al., 2005).

une résolution temporelle d'une minute sont utilisés.

Les mesures BSRN mondiales sont archivées au World Radiation Monitoring Center (WRMC) à l'Institut des sciences de l'atmosphère et du climat (IAC) de l'EPFZ. Avant leur intégration dans ces archives, les données font l'objet de différents contrôles de qualité. En plus des données de rayonnement, d'autres grandeurs atmosphériques et terrestres mesurées aux stations sont archivées en tant qu'informations auxiliaires. Des données de 38 stations sont disponibles actuellement représentant plus de 3400 ensembles mensuels de données (état fin 2006).

D'autre part, il existent quelques sites potentiels qui ne sont pas encore intégrés dans le réseau BSRN mais qui sont prévus dans le futur.

## Organes compétents

Le Baseline Surface Radiation Network (BSRN) est un projet du World Climate Research Programme (WCRP) visant la détection du changement global du bilan des flux de rayonnement à la surface de la terre. Le WCRP est soutenu par l'OMM, l'ICSU et l'UNESCO. Au sein du WCRP, le BSRN fait partie du sous-programme GEWEX (Global Energy and

Water Experiment), qui traite des cycles hydriques et énergétiques. Un comité de direction conduit le programme GEWEX en fixant les priorités de recherche et influence ainsi le développement du BSRN. L'EPF de Zurich est responsable de l'archivage des mesures BSRN au niveau mondial.

## Ressources nécessaires

La continuation des archives à l'Institut de l'atmosphère et du climat (IAC) de l'EPFZ ne sera plus garantie à partir de 2008. Les ressources financières pour le maintien de ces

archives de référence SMOC doivent être assurées autant que possibles par le GCOS Suisse.

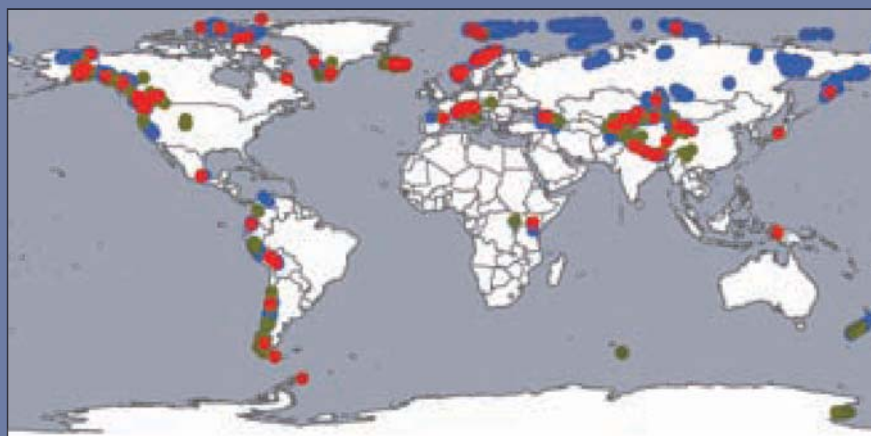


## 4.3 WGMS

Le monitoring global des glaciers par le World Glacier Monitoring Service (WGMS) est d'une importance cruciale pour l'observation du climat. Les glaciers constituent aussi la base de modélisations hydrologiques régionales et le changement global sur le régime des eaux, en relation avec les impacts possibles du réchauffement climatique.



### Mesures effectuées dans le monde



Observations de glaciers dans le monde par le WGMS. Des glaciers pour lesquels il existe des données d'inventaire (bleu), des séries de mesures du changement de longueur (vert) et du bilan de masse (rouge). Données du WGMS.

Le WGMS gère un ensemble de données d'une ampleur exceptionnelle sur les glaciers, leurs caractéristiques et leurs changements dans le temps. Ces données régulièrement mises à jour sont à disposition des scientifiques et du public. Actuellement, la base de



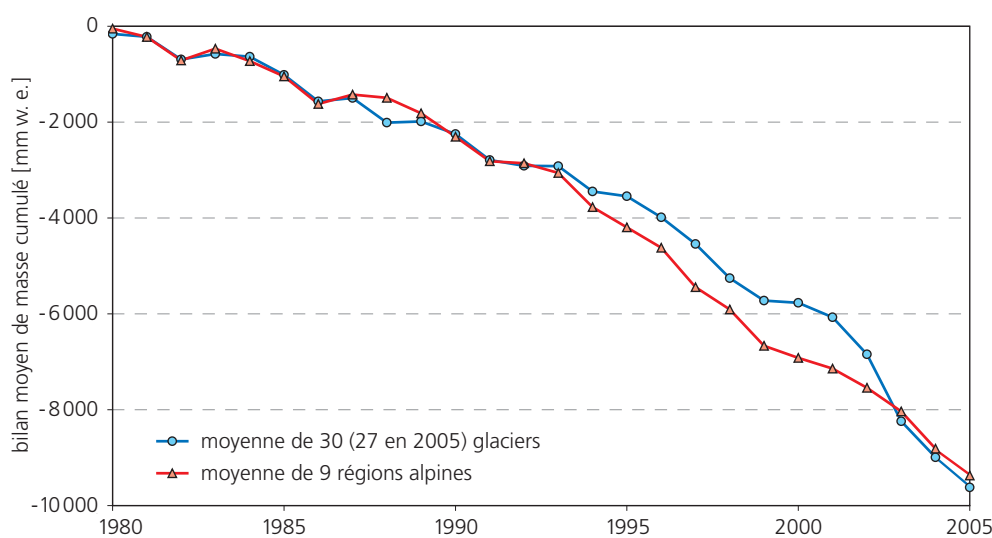
## Importance pour le SMOC

La récolte mondiale de données sur les modifications des glaciers a démarré déjà en 1894 avec la fondation de la Commission internationale des glaciers lors du 6<sup>e</sup> Congrès international de géologie, à Zurich. Depuis 1986, la continuité de collection et publication de données glaciaires internationales est assurée par le siège du WGMS à Zurich, qui est responsable du Global Terrestrial Network for Glaciers (GTN-G) du SMOC/GTOS. La banque de données contient actuellement 120 séries concernant le change-

ment de longueur et 8 séries de bilan de masse de glaciers suisses. A l'avenir, des données satellitaires seront prises davantage en compte dans la poursuite de cet inventaire des glaciers. Les méthodes à cette fin ont été développées dans le projet intitulé Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) et sont appliquées maintenant aussi dans le projet GlobGlacier de l'ESA ou du International Polar Year IPY 2007/2008.

## Bilan de masse de 30 glaciers réparti dans le monde 1980 – 2005

Valeurs moyennes des bilans de masse cumulées en mm d'eau équivalente



Changement moyen cumulé de l'épaisseur des 30 glaciers de référence dans 9 régions où des mesures du bilan de masse sont effectuées en continu depuis 1980 (2005: 27 glaciers dans 9 régions). Ces glaciers sont en Amérique du Nord (4) et du Sud (1), Europe (19) et Asie centrale (6). Cet indice reconnu au niveau international (Haeberli, 2004; 2005) inclut aussi les données des glaciers suisses de la Silvretta et de Gries. La diminution annuelle moyenne d'épaisseur de 0.6 m w.e. de 2000 à 2005 porte la disparition cumulée de glace depuis 1980 à environ 9.6 m w.e. et confirme l'influence progressive du climat (Zemp et al., 2007). Données du WGMS.

données contient plus de 34 000 mesures des changements de longueur de 1725 glaciers et 3000 mesures du bilan de masse de 200 glaciers dans le monde; ces mesures remontent jusqu'au milieu du 19<sup>e</sup> pour la longueur et du 20<sup>e</sup> siècle pour le bilan. Le WGMS offre trois produits. Premièrement, sa série de publications «Fluctuations of Glaciers (FoG)», qui est réalisée à un rythme quinquennal et réunit des données standardisées sur les modifications des glaciers. Deuxièmement, le «Glacier Mass Balance Bulletin (GMBB)», qui présente tous les deux ans le bilan de masse de glaciers référence. Troisièmement, le «World Glacier Inventory (WGI)», qui réunit des informations sur plus de 72 000 glaciers. Les paramètres retenus comprennent la situation géographique, la surface, la longueur, l'orientation, l'altitude et la classification du type morphologique et de moraines.

## Organes compétents

Le World Glacier Monitoring Service (WGMS) est une organisation de la Commission sur les sciences cryosphériques de l'Union géodésique et géophysique internationale (IACS/IUGG) et de la Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services du International Council for Science (FAGS/ICSU). L'observation des glaciers coordonnée à l'échelon international a déjà commencé en 1894 et est dirigée depuis 1986 par le WGMS

dont le siège est aujourd'hui à l'Université de Zurich. Le WGMS regroupe dans un réseau différents scientifiques locaux et correspondants nationaux de tous les pays actifs dans la recherche glaciaire.

Le WGMS fournit une importante contribution au Global Terrestrial Observing System (GTOS) au sein des programmes mondiaux d'observation du climat du PNUE, de l'OMM, de l'UNESCO, de la FAO et de l'ICSU.

## Ressources nécessaires

Le financement du WGMS est assuré jusqu'à mars 2009 par le Fonds national suisse et l'Université de Zurich, où la direction du WGMS se trouve depuis plus de 110 ans. Un financement à long terme sera ensuite nécessaire par le

Swiss GCOS Office pour poursuivre le WGMS à l'Université de Zurich. Cette participation financière se justifie par la grande importance des glaciers dans le contexte de l'observation nationale et internationale du climat.

## 4.4 Autres centres

Les mesures globales doivent être effectuées de façon standardisée et remplir de très hautes exigences de qualité pour pouvoir déterminer l'état et la variabilité du système climatique. Par leurs instruments de référence et l'étalonnage d'instruments, les centres internationaux contribuent substantiellement à la qualité des programmes d'observation mondiaux.



### World Radiation Center (PMOD/WRC)

L'Observatoire physico-météorologique de Davos (PMOD) a été fondé en 1907 pour faire des recherches en matière de mesure du rayonnement solaire et étudier les relations entre le climat et la météo d'une part et l'être humain, les animaux et les plantes d'autre part. En 1971, le Centre mondial du rayonnement (WRC) a été installé au PMOD sur recommandation de l'OMM. Par décision de l'OMM, le WRC a été subdivisé en 2006 en deux sections, auxquelles s'ajoutent deux domaines complémentaires.

#### Section de radiométrie solaire (WRC-SRS)

Les tâches principales de la WRC-SRS consistent à (a) garantir, au niveau mondial, l'homogénéité de mesures du rayonnement météorologique par l'entretien du groupe d'instruments (World Standard Group, WSG) utilisé pour définir la référence radiométrique mondiale

(World Radiometric Reference, WRR), (b) soutenir l'étalonnage des instruments servant à l'étude du rayonnement météorologique, (c) promouvoir la recherche et le développement en matière de radiométrie et de méthodes de mesure des paramètres du rayonnement atmosphérique et (d) former des spécialistes du rayonnement.

#### Section de radiométrie infrarouge (WRC-IRS)

Le Centre de radiomètres infrarouges (Infrared Radiometer Center) a été installé au PMOD en 2004 et est depuis 2006 une section du WRC. La section WRC-IRS réalise une référence OMM intérimaire pour les pyrgeomètres infrarouges, en se basant sur les procédures et les instruments du World Infrared Standard Group of Pyreometers (WISG). La WRC-IRS entretient la référence mondiale de rayonnement infrarouge et définit ainsi, pour le rayonnement

infrarouge de grande longueur d'onde, l'échelle de comparaison pour toutes les mesures dans le monde. La WRC-IRS a pour tâche de diffuser cette échelle dans les centres de mesure du monde entier, d'une part en procédant à l'étalonnage d'instruments au PMOD/WRC, d'autre part en créant des centres régionaux d'étalonnage, dont les standards dérivent du standard de référence de la WRC-IRS.

#### Domaine complémentaire: World Optical depth Research and Calibration Centre (WORCC)

Le Centre d'étalonnage en matière de turbidité atmosphérique (WORCC) a été installé au PMOD en 1996. Ses tâches comprennent (a) le développement d'une référence radiométrique précise pour la radiométrie solaire spectrale, qui puisse être utilisée pour déterminer la turbidité atmosphérique, (b) le développement de procédés assurant à l'échelle planétaire

## World Calibration Centre WCC-Empa

Le Centre mondial d'étalonnage pour les mesures de l'ozone proche du sol, du monoxyde de carbone et du méthane (WCC-Empa) a commencé ses activités en 1996 à la demande de l'OMM. Son but est de ramener ces mesures effectuées dans différentes stations VAG à une référence commune. Ceci est obtenu par (a) une étroite collaboration et des comparaisons régulières avec les laboratoires centraux responsables, et (b) des audits réguliers des systèmes et performances auprès

des stations VAG globales. En outre, le Centre mondial d'étalonnage soutient les stations en cas de problèmes techniques et encourage la formation continue des exploitants de stations par des cours sur place et des cours spéciaux. Le WCC-Empa a effectué à ce jour 44 audits dans 18 stations dans le monde. L'utilité de cette activité réside dans l'amélioration de la qualité des données et du savoir-faire des exploitants de stations. Elle permet aussi d'évaluer à long terme les séries de données pour le SMOC.

## Quality Assurance/Scientific Activity Centre Switzerland

Le «Quality Assurance/Scientific Activity Centre (QA/SAC Switzerland)» du VAG a été installé en l'an 2000 à l'Empa et est l'un des quatre centres du genre dans le monde. Ses activités sont centrées sur les paramètres «ozone proche du sol», «monoxyde de carbone» et «méthane»; l'élargissement à la mesure de grandeurs supplémentaires est en principe possible. Les principales tâches du QA/SAC consistent à (a) soutenir et contrôler (au moyen d'audits) le système de contrôle de qualité des stations VAG globales, (b) soutenir les stations globales VAG lors de problèmes ayant trait à la qualité des données ou à la transmission de ces dernières, (c) promouvoir

l'utilisation des données VAG et (d) soutenir de façon ciblée l'élaboration du savoir-faire dans les pays en développement par des cours, des ateliers et des parrainages scientifiques («twinings»).

Le développement et l'exploitation du GAW SIS (GAW Station Information System), un système interactif de bases de données qui met à disposition des utilisateurs des informations sur le programme de mesure VAG sous une forme intégrée, compte aussi parmi les principales activités en cours. Ces informations sont entre autres les caractéristiques des stations, les métadonnées des mesures disponibles et des informations de contact.

l'homogénéité des mesures de la turbidité atmosphérique, entre autres celui de standards de transfert pour les radiomètres à filtre de précision, (c) le développement et le test de nouveaux instruments et méthodes servant à déterminer la turbidité atmosphérique, (d) la réalisation de campagnes de mesure au moyen de radiomètres à filtre de précision dans les stations globales VAG pour vérifier les méthodes de mesure de la turbidité atmosphérique, (e) le développement à cet égard de contrôles de qualité des données, en collaboration avec les centres d'assurance qualité et d'activité scientifique (QA/SAC) du VAG et (f) la formation à l'utilisation de radiomètres à filtre de précision.

Domaine complémentaire: European Ultraviolet Radiometer Calibration Center (EUVC)  
Le Centre européen d'étalonnage des radio-

mètres ultraviolets (EUVC) est sis dès juillet 2005 au PMOD/WRC. Cette tâche était assumée précédemment par l'European Reference Center for Ultraviolet radiation measurements (ECUV) au Centre de recherche commun (JRC) de l'UE à Ispra. Le JRC a transféré entre autres le spectroradiomètre de référence transportable QASUME. Cet instrument a été utilisé ensuite comme référence UV lors de la première campagne de comparaison du «GAW Regional Brewer Calibration Center-Europe (RBBC-E)» en septembre 2005. La direction du groupe de travail «contrôle de qualité» du projet COST-726 (Long term changes and climatology of UV radiation over Europe) est assumée par l'UVC. L'objectif de ce groupe de travail est l'homogénéisation des mesures UV en Europe en définissant des procédures communes en matière de contrôle et monitoring de qualité des réseaux de mesures UV nationaux et régionaux.

## Euro-Climhist

Euro-Climhist est une banque de données, développée à l'Institut historique de l'Université de Berne. Elle réunit des mesures d'instruments historiques, des bulletins climatologiques, des informations concernant le givrage des eaux, la couverture neigeuse, la phénologie, les données de catastrophes naturelles et leurs effets ainsi que les rapports sur les perceptions climatiques. Cette banque de données est d'une importance cruciale pour l'analyse climatologique suisse et européenne, principalement du 14<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> siècle. Elle contient actuellement plus de 1.2 millions de jeux de données, dont 620 000 sous forme digitalisée. 35 000 autres observations individuelles européennes sont dans le projet UE «Millennium». Jusqu'en 2009, Euro-Climhist est assuré par le Fonds national suisse, le pôle nationale de recherche sur le climat et l'Université de Berne.



# 5.0 Séries de mesure à l'étranger





## Introduction

Pour obtenir une bonne répartition spatiale des mesures climatiques, il faut aussi disposer de longues séries de mesure continues dans les pays en développement. La poursuite des séries de mesure est encore plus menacée dans ces pays qu'elle ne l'est en Suisse du fait de leurs ressources techniques et financières souvent limitées. Nous décrivons ci-dessous quelques séries de mesure qui sont effectuées

à l'étranger grâce aux conseils et au soutien technique et/ou financier d'institutions suisses. Cette récapitulation montre quelques mesures exemplaires, mais elle n'a rien d'exhaustif. Il faudrait à l'avenir développer davantage le soutien de programmes d'observation nationaux et régionaux des principales variables climatiques dans les pays en développement.

## Ozone (Kenya)

La station aérologique du département météorologique de Kenya (KMD) à Nairobi, procède depuis le 1<sup>er</sup> mai 1996 à des sondages de la couche d'ozone sous la conduite de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Ces mesures s'inscrivent dans le réseau de mesures Southern Hemisphere Additional OZonesondes (SHADOZ). SHADOZ est un programme de mesure coordonné par le Goddard Space Flight Center de la NASA et a pour but de mettre sur pied et de fournir des sondages consistants sur la couche d'ozone dans les tropiques. Les sondages du KMD sont effectués une fois par semaine depuis mai 1996 selon des standards prédéfinis. Ces travaux sont soutenus financièrement par l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse dans le cadre de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM.

Pourquoi faut-il densifier les mesures de l'ozone aux tropiques? Tout d'abord, la couverture spatiale actuelle des profils d'ozone dans les tropiques est insuffisante pour permettre de déterminer les tendances, alors même que les zones tropicales sont des régions présentant plusieurs facteurs d'influence naturels et anthropogènes sur la teneur en ozone de l'atmosphère. Les profils d'ozone sont des mesures essentielles à la détermination des processus chimiques et dynamiques influant sur la concentration d'ozone. Par ailleurs, les

profils d'ozone dans les tropiques sont importants pour la validation des données satellitaires. Citons comme exemple la validation d'une nouvelle version des données de TOMS, le spectromètre cartographiant l'ozone total, durant l'été 2004. La station du KMD de Nairobi, soutenue par MétéoSuisse, a été la principale source de données de profils de l'ozone en Afrique centrale.

L'équipe locale du KMD de Nairobi a été formée et continue d'être soutenue pour la réalisation de ces mesures par MétéoSuisse. Le contrôle de qualité et le travail sur la qualité de base est exécuté au KMD, après quoi une deuxième série d'analyses qualitatives sont effectuées par MétéoSuisse à Payerne, avant que les données ne soient livrées au centre de données SHADOZ du Goddard Space Flight Center de la NASA. Ces données représentent une source essentielle d'information pour les calibrages et validations des satellites.

Depuis mai 2005, des mesures additionnelles sont effectuées avec l'appareil Dobson #18, mesures indiquant le contenu de la colonne d'ozone à la verticale de Nairobi. Cette mesure est complémentaire au radiosondage d'ozone. Des collaborateurs de MétéoSuisse visitent la station deux fois par an pour y proposer des formations et garantir la qualité des différents systèmes opérationnels de mesure de l'ozone sur place. Le résultat de cette collaboration est une base de données continue et fiable de plus de 10 ans de l'ozone sur l'Équateur.

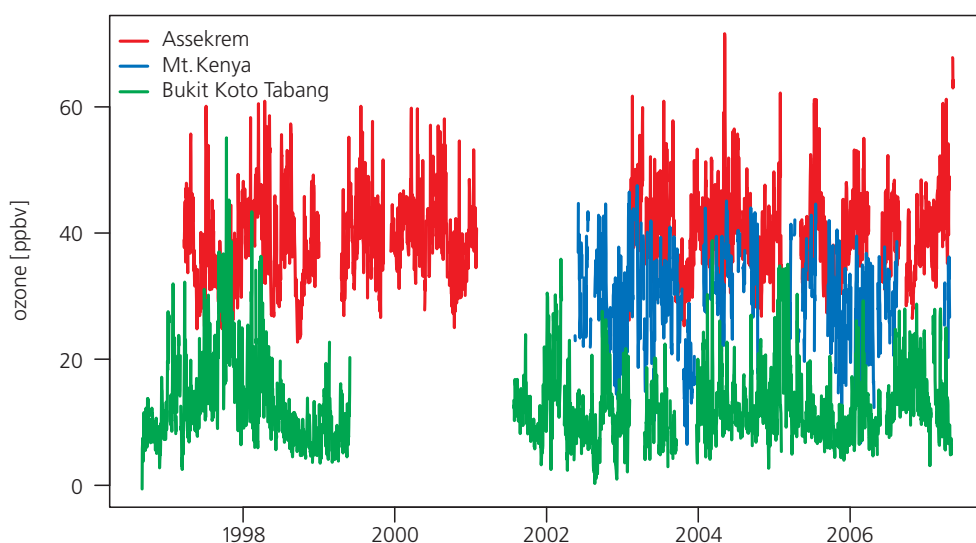
## Gaz traces (Kenya, Indonésie, Algérie)

La mise sur pied des stations globales VAG de Mount Kenya (Nairobi, Kenya), de Bukit Koto Tabang (Sumatra, Indonésie) et de Tamanrasset Assekrem (Sud du Sahara, Algérie) a été lancée par l'OMM au début des années 1990, avec l'aide du Fonds pour l'environnement mondial (PNUD, PNUE, Banque mondiale), afin de combler les lacunes visibles dans le réseau global de mesures terrestres. Ces lacunes existaient surtout, et subsistent, dans les pays au sud de l'équateur, qui sont particulièrement menacés

par le réchauffement climatique en raison de leurs structures politiques, économiques et sociales. L'infrastructure et la première instrumentation ont été mises en place dans la plupart de ces stations au milieu des années 1990. Après que les pays participant au projet aient assuré la formation des exploitants des stations et le suivi initial du fonctionnement, ils se sont rapidement retirés au vu des premiers succès.

## Ozone troposphérique dans trois stations globales VAG, 1997 – 2007

Concentration en tant que rapport de mélange de volume en ppbv (parties par milliard en volume)



L'ozone troposphérique dans trois stations globales VAG dans le Sud du Sahara (Assekrem, Algérie, rouge) et vers l'équateur (Mount Kenya, Kenya, bleu; Bukit Koto Tabang, Indonésie, vert). Assekrem (2770m) et Mount Kenya (3678m) enregistrent des concentrations supérieures à celles de Bukit Koto Tabang (964m) en raison de leur altitude. Par ailleurs, les différentes concentrations moyennes reflètent l'interaction complexe existant entre la formation et la destruction de l'ozone. Données: WDCGG, QA/SAC Switzerland.

Depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle, l'Empa, institut de recherche en science des matériaux et en technologie, s'occupe de la continuité de ces mesures, avec les fonctions VAG de Quality Assurance/Science Activity Centre (QA/SAC Switzerland) et de World Calibration Centre for Surface Ozone, Carbon Monoxide and Methane (WCC-Empa), cofinancées par MétéoSuisse (→ 4.4 Autres centres). La priorité est accordée à l'assurance de qualité, la formation des exploitants, le renouvellement des appareils de mesure et le suivi scientifique.

Les séries de mesure de l'ozone de surface et du monoxyde de carbone de ces stations sont les seules séries continues disponibles dans le Sud du Sahara, en Afrique équatoriale et en Asie équatoriale. Elles sont par conséquent

précieuses et méritent d'être protégées. Elles sont idéalement complétées par le « programme de mesures canister » de la NOAA. Il n'en existe pas moins un besoin urgent de compléter les prélèvements hebdomadaires par des mesures continues des gaz à effet de serre que sont le méthane et le protoxyde d'azote, ainsi que l'hydrogène, et de les valider indépendamment.

L'importance de ces stations pour le SMOC réside principalement dans leur situation géographique et leurs infrastructures comparativement solides. Elles permettent des observations continues et uniques de l'atmosphère, pour déterminer notamment les tendances dans ces régions, qui ne seraient quasiment pas réalisables avec les seuls satellites.

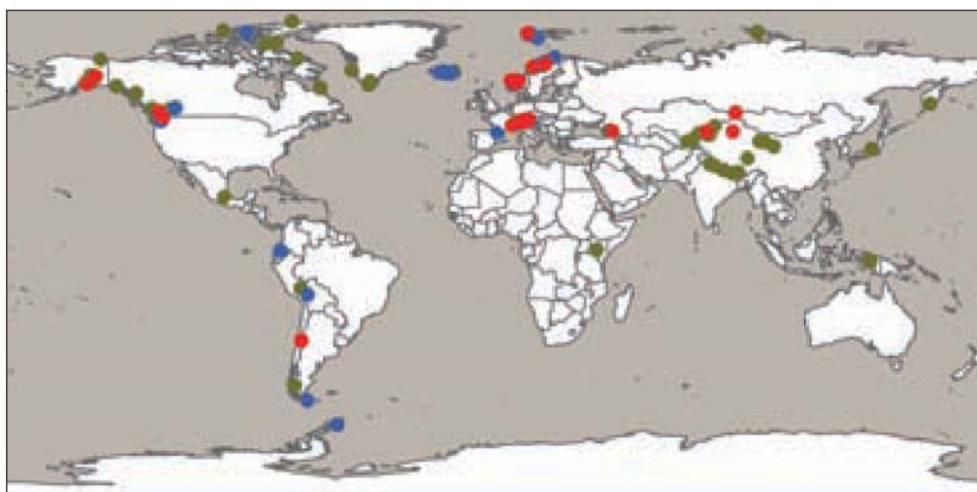
## Glaciers

Le bilan de masse d'un glacier est un signal direct des conditions atmosphériques annuelles et compte parmi les principaux indicateurs des programmes internationaux d'observation du climat. A côté des 30 séries de mesure longues continues et des 50 séries de mesure courtes du bilan de masse des glaciers existant dans le monde, il existe 120 autres séries de mesure couvrant des périodes de temps de longueur différente. Le World Glacier Monitoring Service (WGMS) de l'Université de Zurich

soutient et encourage activement la poursuite des 30 séries de référence longues, ainsi que la reprise de quelques séries de mesure particulièrement utiles qui ont été interrompues, généralement pour des raisons politiques et/ou financières. On pousse également le lancement de nouvelles séries de mesure dans les tropiques et l'hémisphère sud, ces deux régions étant momentanément sous-représentées dans le réseau de monitoring des glaciers.

## Mesures des bilans de masse à l'échelle mondiale

Séries d'observation longues (rouge), actuelles (bleu) et interrompues (vert)



Les bilans de masse des glaciers globaux. On dispose de séries de mesure continues depuis 1980 pour 30 glaciers (rouge) dans 9 chaînes de montagne. Pour la période 2000–2005, on possède également des mesures annuelles de bilans de masse pour quelque 80 glaciers (bleu). Il existe d'autres séries de mesures, pour différentes durées, de quelque 120 glaciers (vert). Il est important, au plan climatologique comme hydrologique, de réactiver le plus vite possible quelques-unes des séries interrompues dans les régions sous-représentées.

Le WGMS propose également un soutien technique pour les mesures dans les glaciers, notamment dans les pays en développement, comme la garantie du respect des méthodes et standards internationaux de mesure, le contrôle de la qualité des données et la formation de glaciologues sur place. Récemment, le soutien du WGMS a permis de commencer de

nouvelles séries de mesure en Colombie et en Nouvelle-Zélande. Des efforts sont également faits pour poursuivre les séries de mesure en Alaska, menacées pour des raisons politico-financières. En ce qui concerne les séries de mesure utiles qu'il faudrait réactiver, la priorité va à la Russie, aux anciennes républiques russes, à la Chine, au Kenya et à l'Himalaya.

## Ressources nécessaires

Le financement des sondages de l'ozone à Nairobi (Kenya) est assuré par la partie internationale du programme VAG suisse.

Les mesures des gaz traces (ozone de surface, monoxyde de carbone) au Kenya, en Indonésie et en Algérie ne sont assurées que partiellement par la collaboration de MétéoSuisse et de l'Empa. A moyen terme (dès 2010), il faudra des moyens supplémentaires pour maintenir les séries de mesure (instruments, capacités). L'extension souhaitée du programme de mesure

à d'autres grandeurs intéressantes pour le SMOC (méthane, protoxyde d'azote, hexafluorure de soufre, hydrogène) réclamerait également des moyens en sus.

Pour garantir la poursuite des mesures des bilans de masse dans les 30 glaciers de référence, la reprise de quelques séries de mesure interrompues et le lancement par le WGMS de nouvelles séries de bilans de masse dans les régions sous-représentées, d'autres ressources financières sont nécessaires.

# 6.0 Conclusions et perspectives





## Conclusions

Le présent rapport fait la synthèse de l'état actuel de la mesure systématique des variables climatiques essentielles en Suisse. Il met notamment en évidence les séries de mesure menacées et des lacunes de la législation. Les longues séries de données présentées donnent un large aperçu du monitoring du climat effectué aujourd'hui dans le pays. Ce rapport constitue ainsi une base importante pour maintenir et consolider le Système national d'observation du climat (GCOS Suisse).

Le GCOS Suisse est une composante importante du Système Mondial d'Observation du Climat (SMOC, en anglais GCOS) qui couvre les observations systématiques dans le cadre de la Convention sur le climat. Selon le plan d'exécution du SMOC (OMM, 2004), l'édification de ce système mondial n'est réalisable que si elle peut s'appuyer sur de fortes activités nationales. La résolution 3.2.3/1 du 15<sup>e</sup> congrès de l'OMM prie instamment les États membres à renforcer leurs réseaux nationaux de mesures climatiques et à soutenir les activités de monitoring des pays en développement (OMM, 2007):

«[...]»

**1. De renforcer leurs réseaux et systèmes nationaux d'observation atmosphérique et hydrologique et leurs systèmes connexes d'observation océanique et terrestre du climat, dans le cadre du SMOC et pour répondre aux besoins des utilisateurs;**

**2. D'aider les pays membres en développement à renforcer leurs réseaux d'observation, à améliorer leurs capacités d'acquisition de données climatologiques et à accroître leurs prestations de services climatologiques en mettant en œuvre des projets dans le cadre des dix plans d'action régionaux du SMOC et en contribuant à la mise en œuvre du programme ClimDev Afrique et aux initiatives similaires dans d'autres régions;**

[...]»

Lors de la mise en œuvre du SMOC au niveau national, les particularités régionales doivent être prises en considération. En Suisse, il convient d'être très attentif aux variables climatiques importantes spécifiques à l'arc alpin (p.ex. observations glaciologiques). À part les variables climatiques essentielles, d'autres paramètres (« pollen », « isotopes » et « phénologie ») ont été définis dans le rapport comme variables climatiques importantes pour la Suisse. Il est souhaitable que ces

dernières soient aussi admises par le SMOC comme variables climatiques officielles sur le plan mondial.

De nombreuses incertitudes subsistent dans l'évaluation de l'évolution future du climat. Les activités de recherche à ce sujet exigent une large base de données. C'est pourquoi il est absolument nécessaire de continuer d'enregistrer les grandeurs climatiques les plus importantes pour lesquelles il existe de longues séries de mesure. Le présent rapport indique pour chaque variable climatique essentielle sous quelle forme celle-ci est mesurée en Suisse et si elle donne lieu à de longues séries de mesure qui sont menacées et méritent d'être protégées. Il fait état également des bases légales, de l'importance des longues séries de mesure pour le SMOC et de l'intégration de ces dernières dans le contexte international. Les connaissances acquises à partir de séries de mesure de haut niveau qualitatif, effectuées en permanence pendant de longues années, sont évaluées sur le plan scientifique. Enfin, les risques liés à la poursuite de ces séries sont estimés et des problèmes éventuels présentés. Toutes ces données mettent en évidence la grande importance d'observations systématiques pour des études scientifiques telles que le 4<sup>e</sup> rapport du GIEC paru récemment. Le tableau 3 résume les résultats de l'analyse. Les séries menacées sont indiquées en rouge.

Des bases légales existent pour un grand nombre de variables faisant l'objet de longues séries de mesure (chapitres 2 et 3). Elles ne se réfèrent toutefois qu'en partie à l'importance que ces dernières revêtent pour le monitoring du climat et font largement défaut pour la mesure de données cryosphériques (« couverture neigeuse », « glaciers », « pergélisol »). Les ressources financières pour les variables « dioxyde de carbone », « lacs », « couverture neigeuse », « glaciers », « pergélisol » et « phénologie » ne sont pas assurées. Pour ces six variables, la demande de financement devrait être assortie à l'élaboration d'un concept pour le futur réseau de mesure. Il faudrait en outre créer les bases légales y relatives.

Les centres internationaux de données et d'étalonnage sis en Suisse contribuent largement à la standardisation mondiale des mesures et à un haut niveau qualitatif des données. Le tableau 3 montre que la poursuite des activités est menacée dans l'immédiat pour deux centres de données (GEBA, BSRN) et le sera pour un troisième (WGMS) dans un

Variable climatologique essentielle	Bases légales	Institution(s) mandatée(s)	Ressources financières	
<b>Séries de mesure en Suisse</b>				
2.1	Température	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.2	Précipitations	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.3	Pression de l'air	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.4	Durée d'insolation	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.5	Rayonnement	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.6	Nuages	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.7	Vapeur d'eau	Oui	MétéoSuisse, Université de Berne	Assurées
2.8	Ozone	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.9	Dioxyde de carbone	Oui	Université de Berne	Non assurées
2.10	Gaz à effet de serre	Oui	Empa, OFEV	Assurées
2.11	Polluants	Oui	Empa, OFEV	Assurées
2.12	Aérosols	Oui	MétéoSuisse	Assurées
2.13	Pollen	Oui	MétéoSuisse	Assurées
3.1	Écoulement	Oui	OFEV	Assurées
3.2	Lacs	Oui	OFEV, Eawag, Cantons	En partie non assurées
3.3	Eaux souterraines	Oui	OFEV, Cantons	Assurées
3.4	Utilisation de l'eau	Oui	OFAG, OFEV	Assurées
3.5	Isotopes	Oui	BAFU, Université de Berne	Assurées
3.6	Couverture neigeuse	En partie	MétéoSuisse, WSL/SLF, Sociétés privées	En partie non assurées
3.7	Glaciers	Non	EKK, EPFZ, Université de Zurich	Non assurées
3.8	Pergélisol	Non	PERMOS (OFEV, MétéoSuisse, SCNAT)	Non assurées à partir de 2011
3.9	Utilisation du sol	Oui	OFS	Assurées
3.10	Écosystème forestier	Oui	OFEV, WSL	Assurées
3.11	Feux de forêt	Oui	OFEV, WSL	Assurées
3.12	Phénologie	Oui	MétéoSuisse	En partie non assurées
<b>Centres internationaux</b>				
4.1	GEBA	–	EPFZ	Non assurées à partir de 2008
4.2	BSRN	–	EPFZ	Non assurées à partir de 2008
4.3	WGMS	–	Université de Zurich	Non assurées à partir de 2009
4.4	Autres centres	–	PMOD/WRC, Empa	Assurées, sauf Euro-Climhist (à partir de 2010)
<b>Séries de mesure à l'étranger</b>				
5.	Séries de mesure à l'étranger	–	MétéoSuisse, Empa, Université de Zurich	Assurées : ozone, gaz traces ; non assurées : glaciers

Tableau 3 : Variables climatologiques essentielles avec leurs bases légales, institution(s) mandatée(s) et situation au vu des ressources financières nécessaires. En rouge : séries de mesure et centres de données dont la pérennité est menacée.

proche avenir. Étant donné que ces trois centres ont une longue tradition et jouissent d'une grande renommée au niveau international, les démarches nécessaires à leur maintien (y compris les ressources financières requises à cet effet) doivent être lancées le plus tôt possible. La base de données Euro-ClimHist, unique en son genre au monde pour l'histoire du climat, n'est pas assurée financièrement à partir de 2010 et devrait également être protégée. Le transfert de technologie et la formation

sur le terrain sont des apports importants à l'amélioration de la qualité de mesures climatiques à l'étranger, en particulier dans les pays en développement et émergents. Les séries de mesure d'institutions suisses à l'étranger comprennent les variables climatiques « ozone » (Kenya), « gaz traces » (Algérie, Kenya, Indonésie) et « glaciers » (dans le monde entier). Des ressources financières supplémentaires seront nécessaires à l'avenir notamment pour des mesures glaciologiques à l'étranger.

## Perspectives

La continuité des séries de mesure climatiques suisses les plus importantes devrait être assurée aussi à l'avenir. C'est pourquoi le Swiss GCOS Office, à l'Office fédéral de météorologie et de climatologie, s'emploie à protéger les longues séries menacées. La continuation des séries devrait avoir lieu en tenant soigneusement compte des principes du SMOC en matière d'observation du climat (tableau 1), afin de ne pas perturber ou même masquer les signaux climatiques par des inhomogénéités artificielles. Il convient, dans le cadre du GCOS Suisse, de prêter attention notamment aux métadonnées, à l'assurance de qualité et à l'archivage des données.

Il sera possible à l'avenir d'effectuer des évaluations climatologiques supplémentaires à partir de longues séries de données fournies par des systèmes de mesure à distance (au sol et satellitaires). Ces technologies permettent de combler des lacunes de l'observation globale du climat, dues au manque d'instruments ou méthodes de mesure appropriés. Les données satellitaires notamment se prêtent à l'acquisition d'ensembles planétaires de données (OMM, 2006b). Les mesures de haute qualité, effectuées au sol et in situ, sont néanmoins de première importance pour étalonner et valider les données satellitaires. La Suisse peut jouer un rôle de leader dans ce domaine pour la mesure des grandeurs décrites dans le présent

rapport. Des systèmes intégrés d'observation, combinant des observations synchrones de différents systèmes de mesure (au sol, in situ, avions, satellites), seront davantage utilisés à l'avenir pour les variables climatiques. Dans ce contexte, une haute priorité doit revenir à l'étalonnage et à la validation au moyen de séries de mesure existantes ainsi qu'à la continuité des mesures.

Le choix des variables climatiques essentielles n'est pas arrêté une fois pour toutes. En automne 2008, chaque État membre de la Convention sur le climat devra produire un nouveau rapport national sur les observations systématiques. Le choix des variables climatiques essentielles sera réexaminé quant à son exhaustivité sur la base des données de ces rapports nationaux et du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC. Il faut donc s'attendre à ce que d'autres variables figurent à l'avenir dans le système national d'observation du climat.

En outre, les évaluations dites intégrées, incluant donc plusieurs variables climatiques, devraient être encouragées davantage à l'avenir. L'identification de synergies dans les réseaux de mesure devrait contribuer à l'optimisation des observations du climat et permettre une meilleure compréhension du système climatique dans son ensemble.

# Auteurs et lectorat

Andreas Asch	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Urs Baltensperger	Institut Paul Scherrer PSI
Martin Barben	Office fédéral de l'environnement OFEV
Andreas Bauder	EPF de Zurich, VAW
Michael Begert	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Stefan Brönnimann	EPF de Zurich, Institut de l'atmosphère et du climat IAC
Brigitte Buchmann	Empa
Bertrand Calpini	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Martine Collaud Coen	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Marco Conedera	WSL Birmensdorf
Claudio Defila	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Matthias Dobbertin	WSL Birmensdorf
Bruno Dürr	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Paul Filliger	Office fédéral de l'environnement OFEV
Christoph Frei	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Martin Funk	EPF de Zurich, VAW
Gianmario Galli	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Regula Gehrig	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Elisabeth Graf Pannatier	WSL Birmensdorf
Wilfried Haeberli	Université de Zurich, Institut de géographie
Harrie-Jan Hendricks Franssen	EPF de Zurich, Institut de l'ingénierie de l'environnement IFU
Martin Hölzle	Université de Zurich, Institut de géographie
Christoph Hüglin	Empa
Rainer Humbel	Office fédéral de la statistique OFS
Pierre Jeannet	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Niklaus Kämpfer	Université de Berne, Institut de physique appliquée IAP
Giovanni Kappenberger	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Daniel Keuerleber-Burk	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Jörg Klausen	Empa
Thomas Konzelmann	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Ronald Kozel	Office fédéral de l'environnement OFEV
Norbert Kräuchi	WSL Birmensdorf
Christoph Kull	OcCC
Markus Leuenberger	Université de Berne, Institut de physique
David Livingstone	Eawag
Christoph Marty	WSL Davos-ENA
Christian Mätzler	Université de Berne, Institut de physique appliquée IAP



Ralf Meerkötter	DLR, Institut für Physik der Atmosphäre (D)
Gerhard Müller	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Urs Neu	ProClim
Jeannette Nötzli	Université de Zurich, Institut de géographie
Urs Nyffeler	Office fédéral de l'environnement OFEV
Frank Paul	Université de Zurich, Institut de géographie
Annette Peter	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Martin Pfaundler	Office fédéral de l'environnement OFEV
Rolf Philipona	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Stefan Reimann	Empa
Kathy Riklin	OcCC
Christoph Ritz	ProClim
Mario Rohrer	Meteodat GmbH
Ferdinand Schanz	Université de Berne, Institut de biologie végétale
Andreas Schellenberger	Office fédéral de l'environnement OFEV
Simon Scherrer	National Center for Atmospheric Research NCAR (USA)
Andreas Schild	Office fédéral de l'agriculture OFAG
Werner Schmutz	PMOD/WRC
Gustav Schneiter	WSL Birmensdorf
Marc Schürch	Office fédéral de l'environnement OFEV
Manfred Schwarb	Meteodat GmbH
Martin Steinbacher	Empa
Urs Steinegger	Meteodat GmbH
Thomas Stocker	Université de Berne, Institut de physique
René Stübi	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Pierre Viatte	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Daniel Vonder Mühl	EPF de Zurich, SystemsX.ch
Laurent Vuilleumier	Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Ruedi Weber	Office fédéral de l'environnement OFEV
Christoph Wehrli	PMOD/WRC
Felix Weibel	Office fédéral de la statistique OFS
Martin Wild	EPF de Zurich, Institut de l'atmosphère et du climat IAC
Thomas Wohlgemuth	WSL Birmensdorf
Christian Wüthrich	Université de Berne, Institut de géographie
Christoph Zellweger	Empa
Michael Zemp	Université de Zurich, Institut de géographie

# Bibliographie

Aschwanden, A., Beck, M., Häberli, C., Haller, G., Kiene, M., Roesch, A., Sie, R., Stutz, M., 1996. Die Ergebnisse des Projektes KLIMA90. Arbeitsbericht MeteoSchweiz (4 Bände).

Begert, M., Seiz, G., Schlegel, T., Musa, M., Baudraz, G., Moesch, M., 2003. Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961–1990. Schlussbericht des Projektes NORM90. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz, Nr. 67, 170 p.

Begert, M., Schlegel, T., Kirchhofer, W., 2005. Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology*, 25, 65–80.

Brönnimann, S., Buchmann, B., Wanner, H., 2002. Trends in near-surface ozone concentrations in Switzerland: the 1990s. *Atmospheric Environment*, 36, 2841–2852.

Clot B., 2003. Trends in airborne pollen: An overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia*, 19 (3–4), 227–234.

Collaud Coen, M., Weingartner, E., Nyeki, S., Cozic, J., Henning, S., Verheggen, B., Gehrig, R., Baltensperger, U., 2007. Longterm trend analysis of aerosol variables at the high alpine site Jungfraujoch. *Journal of Geophysical Research*, 112, D13213, doi: 10.1029/2006JD007995.

Conedera, M., Marxer, P., Tinner, W., Hofmann, C., Amman, B., 1996. Forest Fire Research in Switzerland. Part 1: Fire Ecology and History Research in the Southern Part of Switzerland. *International Forest Fire News* 15, 13–21.

Defila, C., Clot, B., 2001. Phytophenological trends in Switzerland. *International Journal of Biometeorology*, 45, 203–207.

Derwent, R. G., Simmonds, P. G., Grealley, B. R., O'Doherty, S., McCulloch, A., Manning, A., Reimann, S., Folini, D., Vollmer, M. K., 2007. The phase-in and phase-out of European emissions of HCFC-141b and HCFC-142b under the Montreal Protocol: Evidence from observations at Mace Head, Ireland and Jungfraujoch, Switzerland from 1994 to 2004. *Atmospheric Environment*, 41(4), 757–767.

Gehrig, R., 2004. Monitoring allergieauslösender Pollen: Immer früherer Blühbeginn. *ORL Highlights* 1 (2–4).

GIEC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

Graf Pannatier, E., Dobbertin, M., Schmitt, M., Thimonier, A., Waldner, P., 2007. Effects of the drought 2003 on forests in Swiss level II plots. In *Symposium: Forests in a Changing Environment. Results of 20 years ICP Forests Monitoring. Schriften aus der Forstlichen Fakultät Göttingen und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band Nr. 142, 128–135.

Häberli, C., 2006. *The Comprehensive Alpine Radiosonde Dataset (CALRAS)*, Wiener Meteorologische Schriften, Heft 4, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien.

Haeberli, W., 2004. Glaciers and ice caps: historical background and strategies of world-wide monitoring. In: Bamber, J.L. and Payne A.J. (eds): *Mass Balance of the Cryosphere*. Cambridge University Press, Cambridge, 559–578.

Haeberli, W., 2005. Mountain glaciers in global climate-related observing systems. In: Huber, U. M., Burgmann, H. K. H. and Reasoner, M. A. (eds): *Global Change and Mountain Regions (A State of Knowledge Overview)*. Springer, Dordrecht, 169–175.

Haimberger, L., 2007. Homogenization of Radiosonde Temperature Time Series Using Innovation Statistics. *Journal of Climate*, 20 (7), 1377–1403, doi: 10.1175/JCLI4050.1.

Hendricks Franssen, H.-J., Scherrer, S. C., 2007 (in press). Freezing of lakes on the Swiss Plateau in the period 1901–2006. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.1553.

Huss, M., Bauder, A., Funk, M., (in press). Determination of seasonal mass balance of four Alpine glaciers since 1865. *Journal of Geophysical Research*.

Jeannot, P., Stübi, R., Levrat, G., Viatte, P., Staehelin, J., 2007. Ozone balloon soundings at Payerne (Switzerland): Reevaluation of the time series 1967–2006 and trend analysis. *Journal of Geophysical Research*, D11302, doi: 10.1029/2005JD006862.

Komhyr, W.D., 1980. Operations Handbook - Ozone Observations with a Dobson Spectrophotometer, WMO Global Research and Monitoring Project, Report Nr. 6, WMO.

Latenser, M., Schneebeli, M., 2003. Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–1999). *International Journal of Climatology*, 23(7), doi: 10.1002/joc. 912, 733–750.

Meerkötter, R., König, C., Bissolli, P., Gesell, G., Mannstein, H., 2004. A 14-year European Cloud Climatology from NOAA/AVHRR data in comparison to surface observations. *Geophysical Research Letters*, 31, L15103, doi:10.1029/2004GL020098.

MétéoSuisse, 2007. Annales 2006. Chapitre 6: Évolution de l’ozone total entre 1967 et 2006. *Annales MétéoSuisse*, 143<sup>e</sup> année, Zurich, 57–60.

Müller, G., 1980. Die Beobachtungsnetze der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt. Konzept 1980. Arbeitsbericht der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Nr. 93, Zurich, 61 p.

OcCC, 2007. Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Impacts attendus sur l’environnement, la société et l’économie. OcCC/ProClim, Berne, 168 p.

Ohmura, A., 2006. Observed long-term variations of solar irradiance at the Earth’s surface. *Space Science Reviews* 125 (1–4), 111–128.

OFEV, OFEG, MétéoSuisse, 2004. Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Avec résumé en français. OFEV, Berne, 174 p.

OFEV, 2007. Switzerland’s Greenhouse Gas Inventory 1990–2005, National Inventory Report. Submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Berne, 292 p.

OMM, 1997. GCOS-34. Initial Selection of a GCOS Surface Network. WMO TD 799.

OMM, 2003. GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.

OMM, 2004. GCOS-92. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1219.

OMM, 2006a. Commission de climatologie, quatorzième session - Rapport final abrégé, résolutions et recommandations. WMO Publication No 996, ISBN: 92-63-20996-0, 60 p.

OMM, 2006b. GCOS-107. Systematic Observation Requirements for Satellite-Based Products for Climate. WMO TD 1338.

OMM, 2007. Resolution 3.2.3/1, Fifteenth World Meteorological Congress (Cg-XV), Geneva, 7–25 May 2007. Available online at: [ftp://ftp.wmo.int/Documents/SESSIONS/Cg-XV/French/PINKs/pink03-2-3\\_fr.doc](ftp://ftp.wmo.int/Documents/SESSIONS/Cg-XV/French/PINKs/pink03-2-3_fr.doc)

Ordóñez, C., Mathis, H., Furger, M., Henne, S., Hueglin, C., Staehelin, J., Prévôt, A.S.H., 2005. Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all seasons from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 1187–1203.

Ordóñez, C., Brunner, D., Staehelin, J., Hadjinicolaou, P., Pyle, J. A., Jonas, M., Wernli, H., Prévôt, A.S.H., 2007. Strong influence of lowermost stratospheric ozone on lower tropospheric background ozone changes over Europe. *Geophysical Research Letters*, 34, L07805.

Paul, F., Kääh, A., Maisch, M., Kellenberger, T. W., Haeberli, W., 2004. Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data. *Geophysical Research Letters*, 31, L21402, doi:10.1029/2004GL020816.

Philippona, R., Dürr, B., Ohmura, A., Ruckstuhl, C., 2005. Anthropogenic greenhouse forcing and strong water vapor feedback increase temperature in Europe. *Geophysical Research Letters*, 32, L19809, doi:10.1029/2005GL023624.

Rapports sur les glaciers, 1881–2006. Die Gletscher der Schweizer Alpen/Les variations des glaciers suisses, no. 1–126, éditeurs divers.

Reimann, S., Schaub, D., Stemmler, K., Folini, D., Hill, M., Hofer, P., Buchmann, B., Simmonds, P.G., Grealley, B.R., O'Doherty, S., 2004. Halogenated greenhouse gases at the Swiss High Alpine Site of Jungfraujoch (3580 m asl): Continuous measurements and their use for regional European source allocation. *Journal of Geophysical Research*, 109, D05307, doi:10.1029/2003JD003923.

Reimann, S., Manning, A.J., Simmonds, P.G., Cunnold, D.M., Wang, R.H.J., Li, J., McCulloch, A., Prinn, R.G., Huang, J., Weiss, R.F., Fraser, J., O'Doherty, S., Grealley, B.R., Stemmler, K., Hill, M., Folini, D., 2005. Low European methyl chloroform emissions inferred from long-term atmospheric measurements. *Nature*, 433, 506–508.

Rohrer, M.B., Braun, L.N., Lang, H., 1994. Long-Term Records of Snow Cover Water Equivalent in the Swiss Alps. *Nordic Hydrology*, 25, 53–64.

Scherrer, S., Appenzeller, C., Laternser, M., 2004. Trends in Swiss alpine snow days – the role of local and large scale climate variability. *Geophysical Research Letters*, 31, L13215, doi:10.1029/2004GL020255.

Schmidli, J., Frei, C., 2005. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20<sup>th</sup> century. *International Journal of Climatology*, 25, 753–771.



Schürch, M., Kožel, R., Pasquier, F., 2006. Observation of groundwater resources in Switzerland – Example of the karst aquifer of the Areuse spring. 8<sup>th</sup> conference on limestone hydrogeology, Neuchâtel, 21.–23. September 2006, 241–244, ISBN 2-84867-143-2.

Spreafico, M., Weingartner, R., 2005. Hydrologie der Schweiz – Ausgewählte Aspekte und Resultate. Avec résumé en français. Rapports de l'OFEG, Série Eaux, Nr. 7. Berne, 137 p.

Stahelin, J., Renaud, A., Bader, J., McPeters, R., Viatte, P., Hoegger, B., Bugnion, V., Giroud, M., Schill, H., 1998. Total ozone series at Arosa (Switzerland): Homogenization and data comparison. *J. Geophys. Res.*, 103 (D5), 5827–5842.

Sturm, P., Leuenberger, M., Schmidt, M., 2005. Atmospheric O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and δ<sup>13</sup>C observations from the remote sites Jungfraujoch, Switzerland and Puy de Dôme, France. *Geophysical Research Letters*, 32, L17811, doi:10.1029/2005GL023304.

Valentino, F. L., Leuenberger, M., Uglietti, C., Sturm, P., (in press). Measurement and trend analysis of O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and δ<sup>13</sup>C of CO<sub>2</sub> from the High Altitude Research Station Jungfraujoch, Switzerland – a comparison with the observations from the remote site Puy de Dôme, France. Special Issue of Science of the Total Environment.

Vonder Mühll, D., Nötzli, J., Makowski, K., Delaloye, R., 2004. Permafrost in Switzerland 2000/2001 and 2001/2002. Glaciological Report (Permafrost) No. 2/3, Glaciological Commission of the Swiss Academy of Sciences, Zurich, 86 p.

Vonder Mühll, D., Nötzli, J., Makowski, K., Delaloye, R., 2007. Permafrost in Switzerland 2002/2003 and 2003/2004. Glaciological Report (Permafrost) No 4/5. Permafrost Monitoring Switzerland (in press).

Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C., Dutton, E., Forgan, B., Kallis, A., Russak, V., Tsvetkov, A., 2005. From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at Earth's Surface. *Science*, 308, 847–850.

Zanis, P., Maillard, E., Stahelin, J., Zerefos, C., Kosmidis, E., Tourpali, K., Wohltmann, I., 2006. On the turnaround of stratospheric ozone trends deduced from the reevaluated Umkehr record of Arosa, Switzerland, *Journal of Geophysical Research*, 111, D22307, doi:10.1029/2005JD006886.

Zemp, M., Frauenfelder, R., Haeberli, W., Hoelzle, M., 2005. Worldwide glacier mass balance measurements: general trends and first results of the extraordinary year 2003 in Central Europe. In: XIII Glaciological Symposium, Shrinkage of the Glacosphere: Facts and Analyses, St. Petersburg, Russia [Science, R.A.O. (ed.)]. Data of Glaciological Studies [Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy], Moscow, Russia, 3–12.

Zemp, M., Haeberli, W., Bajracharya, S., Chinn, T.J., Fountain, A.G., Hagen, J.O., Huggel, C., Käb, A., Kaltenborn, B.P., Karki, M., Kaser, G., Kotlyakov, V.M., Lambrechts, C., Li, Z.Q., Molnia, B.F., Mool, P., Nellesmann, C., Novikov, V., Osipova, G.B., Rivera, A., Shrestha, B., Svoboda, F., Tsvetkov D.G., Yao, T.D., 2007. Glaciers and ice caps. Part I: Global overview and outlook. Part II: Glacier changes around the world. In: UNEP: Global outlook for ice & snow. UNEP/GRID-Arendal, Norway, 115–152.

# Photos

Photo de couverture	Imagepoint.biz Courtesy of EUMETSAT, Archive FU Berlin
Table des matières	Nando Foppa, MétéoSuisse; Gabriela Seiz, MétéoSuisse; Simon Scherrer; PMOD/WRC; Australian Government Department Foreign Affairs and Trade; Nando Foppa, MétéoSuisse
1.0 Introduction	Nando Foppa, MétéoSuisse
2.1 Température	PIXELIO (www.pixelio.de), ID: 94 712
2.2 Précipitations	PIXELIO (www.pixelio.de), ID: 120 390
2.3 Pression de l'air	Arthur Kunz, MétéoSuisse
2.4 Durée d'insolation	Arthur Kunz, MétéoSuisse
2.5 Rayonnement	Nando Foppa, MétéoSuisse
2.6 Nuages	Gabriela Seiz, MétéoSuisse
2.7 Vapeur d'eau	Nando Foppa, MétéoSuisse
2.8 Ozone	René Stübi, MétéoSuisse
2.9 Dioxyde de carbone	Gerla Brakkee
2.10 Gaz à effet de serre	Nando Foppa, MétéoSuisse
2.11 Polluants	Christoph Hüglin, Empa
2.12 Aérosols	Christoph Hüglin, Empa
2.13 Pollen	Regula Gehrig, MétéoSuisse
3.1 Écoulement	Nando Foppa, MétéoSuisse
3.2 Lacs	Simon Scherrer
3.3 Eaux souterraines	Marc Schürch, OFEV
3.4 Utilisation de l'eau	PIXELIO (www.pixelio.de), ID: 139 483
3.5 Isotopes	Marc Schürch, OFEV
3.6 Couverture neigeuse	Christoph Marty, ENA
3.7 Glaciers	Christian Theler, Archive VAW/EPFZ
3.8 Pergélisol	Andreas Asch, MétéoSuisse
3.9 Utilisation du sol	Swissimage © 2007 swisstopo (BA071626,JD072726) Carte: statistique de la superficie 2007, OFS Simon Scherrer
3.10 Écosystème forestier	Simon Scherrer
3.11 Feux de forêt	Marco Conedera, WSL
3.12 Phénologie	Nando Foppa, MétéoSuisse
4.1 GEBA	PIXELIO (www.pixelio.de), ID: 166 087
4.2 BSRN	Laurent Vuilleumier, MétéoSuisse
4.3 WGMS	NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, and U.S./Japan ASTER Science Team
4.4 Autres centres	PMOD/WRC
5.0 Séries de mesure à l'étranger	Jörg Klausen, Christoph Zellweger, Empa
6.0 Conclusions et perspectives	Nando Foppa, MétéoSuisse
Carte nationale	VECTOR200 © swisstopo (DV053906)

# Abréviations

AERONET	Aerosol Robotic Network	IGRA	Integrated Global Radiosonde Archive
AGNES	Réseau GPS automatique Suisse	IGRAC	International Groundwater Resources Assessment Centre
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique	IMIS	Système intercantonal de mesure et d'information
AMDAR	Aircraft Meteorological Data Reporting	IPG	International Phenology Garden Network
ANETZ	Réseau automatique	ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
AOD	Aerosol Optical Depth	IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
ASRB	Alpine Surface Radiation Budget	JMA	Japanese Meteorological Agency
(A)ATSR	(Advanced) Along Track Scanning Radiometer	JRC	Joint Research Centre, Ispra
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer	KLIMA	Réseau conventionnel
BSRN	Baseline Surface Radiation Network	LKO	Licht-Klimatisches Observatorium Arosa
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques	LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
CEE-ONU	Commission économique pour l'Europe des Nations Unies	LWF	Recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers
CHARM	Swiss Atmospheric Radiation Monitoring	MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument
CIMO	Commission for Instruments and Methods of Observation	MétéoSuisse	Office fédéral de météorologie et de climatologie
CM-SAF	Satellite Application Facility for Climate Monitoring	MISR	Multiangle Imaging Spectroradiometer
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique	MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
COP	Conférence des Parties	MVIRI	Meteosat Visible and Infrared Imager
CORINE	Coordinated Information on the Environment	NABEL	Réseau national d'observation des polluants atmosphériques
COST	European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research	NADUF	Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses
CWINDE	European Windprofiler Network	NAPOL	Réseau national de mesure du pollen
DDPS	Dép. féd. de la défense, de la protection de la population et des sports	NAQUA	Réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines
DETEC	Dép. féd. de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication	NASA	National Aeronautics and Space Administration
		NBCN	National Basic Climatological Network
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	NCCR	National Center of Competence in Research
DWD	Deutscher Wetterdienst	NCDC	National Climatic Data Center
EAN	European Aeroallergen Network	NDACC	Network for the Detection of Atmospheric Composition Change
EARLINET	European Lidar Network	NILU	Norwegian Institute for Air Research
Eawag	Institut féd. pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux	NIME	Réseau pluviométrique
ECC	European Cloud Climatology	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ECMWF	European Center for Medium-Range Weather Forecasts	NSIDC	National Snow and Ice Data Center
EEA	European Environment Agency	OBS	Réseau d'observations visuelles
EKK	Commission d'experts pour la cryosphère	OCCE	Organe consultatif sur les changements climatiques
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme	OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
Empa	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche	OFAG	Office fédéral de l'agriculture
ENA	Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches	OFEV	Office fédéral de l'environnement
ENET	Réseau automatique complémentaire	OFS	Office fédéral de la statistique
EPF	École Polytechnique Fédérale (EPFL: de Lausanne, EPFZ: de Zurich)	OFSP	Office fédéral de la santé publique
EPN	European Phenology Network	OMI	Ozone Monitoring Instrument
ERS	European Remote Sensing Satellite	OMM	Organisation météorologique mondiale
ESA	European Space Agency	OPERA	Operational Program for the Exchange of weather RADar information
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites	PERMOS	Permafrost Monitoring Switzerland
EUVV	European Ultraviolet Radiometer Calibration Center	PMOD	Observatoire physico-météorologique de Davos
FAGS	Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services	PNR	Programmes nationaux de recherche
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture	PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
FoG	Fluctuations of Glaciers	PSI	Institut Paul Scherrer
GCOS	Global Climate Observing System	QA/SAC	Quality Assurance/Scientific Activity Centre
GEBA	Global Energy Balance Archive	RBCN	Regional Basic Climatological Network
GEWEX	Global Energy and Water Experiment	RS	Recueil systématique du droit fédéral
GFMC	Global Fire Monitoring Center	SCNAT	Académie suisse des sciences naturelles
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat	SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager
GLIMS	Global Land Ice Measurements from Space	SGI	Inventaire suisse des glaciers
GLORIA	Global Observation Research Initiative in Alpine Environments	SMOC	Système Mondial d'Observation du Climat
GMBB	Glacier Mass Balance Bulletin	SOGE	System for Observation of Halogenated Greenhouse Gases in Europe
GMES	Global Monitoring for Environment and Security	swisstopo	Office fédéral de topographie
GNIP	Global Network of Isotopes in Precipitation	UNESCO	Org. des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment	VAG	Veille de l'Atmosphère Globale
GPS	Global Positioning System	VAW	Laboratoire d'hydrologie, d'hydrologie et de glaciologie
GRDC	Global Runoff Data Centre	WCC	World Calibration Center
GRUAN	GCOS Reference Upper Air Network	WCP	World Climate Programme
GSN	GCOS Surface Network	WCRP	World Climate Research Programme
GTN	Global Terrestrial Network (-G: Glaciers; -H: Hydrology; -P: Permafrost)	WDCA	World Data Centre for Aerosols
GTOS	Global Terrestrial Observing System	WDCGG	World Data Centre for Greenhouse Gases
GUAN	GCOS Upper Air Network	WGI	World Glacier Inventory
HFSJ	Station de recherche de haute altitude du Jungfraujoeh	WGMS	World Glacier Monitoring Service
HUG	Bassins de recherches hydrologiques	WORCC	World Optical depth Research and Calibration Center
IAC	Institut de l'atmosphère et du climat	WOUDC	World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Center
IACS	International Association of Cryospheric Sciences	WRC	World Radiation Center
IAP	Institut de physique appliquée	WRC-IRS	World Radiation Center, Infrared Radiometry Section
ICP	International Cooperative Programme	WRC-SRS	World Radiation Center, Solar Radiometry Section
ICSU	International Council for Science	WRMC	World Radiation Monitoring Center
IDNDR	International Decade for Natural Disaster Reduction	WSL	Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage