

# GeoPanorama

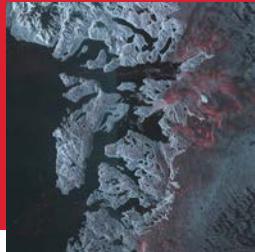


4/2015

**Das Observatorium Zimmerwald bringt Licht ins  
Dunkle des Weltraum-Müllteppichs**

Seite 10

**Se plonger dans un glacier en montant dans l'air**  
Page 18



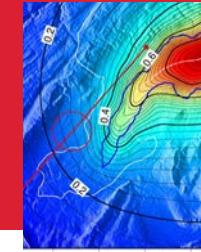
5

Die Sentinel-Satelliten  
revolutionieren die  
Erdbeobachtung



25

Ein Apparat erinnert  
an die Pioniere der  
Grönlandforschung



27

Aux CERN rien  
n'irait sans le travail  
des géodésiens

## FOKUS | FOCUS

- 5 Hochpräzise Wächter über die Erde
- 10 Von Satellitenjägern und Weltraum-Müllmännern |  
Chasseurs de satellites et de débris spatiaux
- 18 Spurlos den Schnee vermessen | Ausculter un glacier depuis le ciel
- 25 Ein Apparat, der Geschichte schrieb
- 27 La géodésie au service de la physique des particules
- 32 swisstopo
- 36 Le métier au quotidien

### TITELBILDER | IMAGES DE COUVERTURE

Gross: Das Laser-Teleskop auf dem Dach des Observatoriums Zimmerwald. (Bild: AIUB)

Klein: Helikopter mit Radarmessgerät auf dem Findelengletscher. (Bild: Martina Barandun, Universität Freiburg)

Grande photo : Le télescope laser sur le toit de l'observatoire de Zimmerwald. (Photo : AIUB)

Petite photo : Hélicoptère équipé d'un géoradar au dessus du Glacier de Findelen. (Photo : Martina Barandun, Université de Fribourg)

## MITTEILUNGEN | COMMUNICATIONS

- 39 Medienmitteilungen | Communiqués de presse
- 40 Veranstaltungen | Manifestations
- 43 Neuerscheinungen | Nouvelles parutions
- 45 Ausstellungen | Expositions

Liebe Leserinnen, liebe Leser

Die Fernerkundung hat die Geowissenschaften fundamental verändert. Wo Forscher einst gefährliche Expeditionen mit schweren Vermessungsinstrumenten unternehmen mussten (S.25), können sie heute im Heliokopter über das Untersuchungsgebiet fliegen (S.18) oder auf eine Fülle von Satellitendaten zurückgreifen. Technologisch immer noch leistungsfähigere Satelliten und Sensoren setzen neue Massstäbe in der Vermessung und Beobachtung der Erde, wie zum Beispiel jüngst die Sentinel-Satelliten der ESA (S.5). Doch das hat seinen Preis: Unser Planet ist je länger je mehr von einem immensen Weltraummüllteppich eingehüllt. Im Observatorium Zimmerwald ist man diesem orbitalen Schrott auf der Spur (S.10). Von den technologischen Fortschritten in Fernerkundung und Geodäsie profitieren zuletzt nicht nur die Geowissenschaften, wie das Beispiel der Teilchenforschung am CERN zeigt (S.27).

Und weil bald Weihnachten ist, haben wir noch ein kleines «Geschenk»: Neu stellen wir jeweils bereits die aktuelle Ausgabe des GeoPanoramas auf unserer Website [www.geopanorama.ch](http://www.geopanorama.ch) als PDF zum kostenlosen Download zur Verfügung. Damit Sie es auch unterwegs auf Ihrem Smartphone, Tablet oder Laptop lesen können.

Frohe Weihnachten und alles Gute im neuen Jahr wünschen

*Isabel Plana und Pierre Dèzes*

Chères lectrices, chers lecteurs,

La télédétection a modifié les géosciences de manière fondamentale. Alors que par le passé les chercheurs devaient entreprendre des expéditions parfois dangereuses, chargées de lourds instruments de mesures (p.25), ils peuvent de nos jours souvent acquérir ces mêmes données depuis un hélicoptère (p.18) ou à l'aide de satellites et ceci généralement de manière bien plus précise qu'à l'époque. Les progrès de la science rendent les senseurs embarqués de plus en plus performants et les informations qu'ils peuvent recueillir de plus en plus diverses comme le montrent les récents satellites Sentinel de l'ESA (p.5). Ceci a cependant son coût: au fil des années, la quantité de déchets spatiaux qui s'accumulent en orbite de la Terre ne cesse de croître. La traque de ces déchets spatiaux est l'une des missions de l'observatoire de Zimmerwald (p.10). Ce ne sont cependant pas que les géosciences qui profitent des progrès en matière de télédétection et de géodésie mais également la physique des particules comme l'on peut le constater à l'exemple du CERN (p.27).

Et comme il sera bientôt Noël, nous avons encore un petit «cadeau»: dès à présent nous mettons chaque numéro de GeoPanorama en ligne à l'adresse [www.geopanorama.ch](http://www.geopanorama.ch) sous forme de PDF téléchargeable gratuitement le jour de la parution de la version imprimée. Ainsi vous pourrez accéder en tout temps à ce magazine depuis vos outils numériques nomades.

Nous vous souhaitons un joyeux Noël et une excellente année 2016

*Isabel Plana et Pierre Dèzes*



Seit 2014 umkreist und beobachtet er die Erde: Sentinel-1A, Radarsatellit der jüngsten Generation. (Bild: ESA medialab)

## Hochpräzise Wächter über die Erde

Mit dem Start von Sentinel-1A im Jahr 2014 hat die Europäische Weltraumorganisation ESA eine neue Ära der Erdbeobachtung eingeläutet. Der Radarsatellit ist der erste in einer Reihe von «Wächtern» («Sentinel» auf Englisch), deren Bildprodukte neue Massstäbe bezüglich geometrischer Genauigkeit sowie räumlicher und zeitlicher Auflösung setzen – auch dank der Mitarbeit der Fernerkundungslabors der Universität Zürich.

DAVID SMALL<sup>1</sup>, ADRIAN SCHUBERT<sup>1</sup>, NUNO MIRANDA<sup>2</sup>, DIRK GEUDTNER<sup>3</sup>, CHRISTOPH ROHNER<sup>1</sup>, DANIEL HENKE<sup>1</sup>, ERICH MEIER<sup>1</sup>, MARTIN LÜTHI<sup>1</sup>, ANDREAS VIELI<sup>1</sup>, MICHAEL SCHAEPMAN<sup>1</sup>

Die Europäische Weltraumorganisation ESA plant derzeit sechs verschiedene Satelliten-Missionen zur Beobachtung der Atmosphäre, der Ozeane und der Erdoberfläche. Bereits seit 2014 im Umlauf ist der Radarsatellit Sentinel-1A, im Juni 2015 kam der optische Satellit Sentinel-2A dazu. Bald wird auch Sentinel-3A mit weiteren optischen Instrumenten und Radaraltimeter starten. Jeder dieser drei soll künftig einen identischen Schwestersatelliten erhalten.

Die Radarsatelliten der Sentinel-1-Mission fliegen in einer Höhe von rund 700 bis 800 Kilometern. Sie messen die Erdoberfläche in

der Regel mit einer Streifenbreite von 250 Kilometern bei einer räumlichen Auflösung von 20 Metern. Ihre polare Umlaufbahn wiederholt sich nach zwölf Tagen, das heißt, ein bestimmtes Gebiet wird alle zwölf Tage überflogen und aus der gleichen Perspektive von den Mikrowellen des Radars erfasst.

### Auf wenige Zentimeter genau

Die Fernerkundungslabors am Geographischen Institut der Universität Zürich (GIUZ) beteiligen sich an mehreren Projekten, bei denen es darum geht, die Bildprodukte der ESA und der Sentinel-Satelliten sowohl zu

<sup>1</sup>Geografisches Institut Universität Zürich | <sup>2</sup>ESA-ESRIN, Frascati, ESA-ESTEC (IT) | <sup>3</sup>Noordwijk (NL)

nutzen als auch zu verbessern. In der Radarforschungsgruppe haben wir erste Bilder von Sentinel-1A untersucht, um deren geometrische Eigenschaften zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Zunächst wurden dafür auf gut einsehbaren Betonflächen bei Torny-le-Grand im Kanton Freiburg mehrere sogenannte Winkel-Reflektoren aufgestellt. Sie werfen das Radarsignal des Satelliten viel stärker zurück als natürliche Objekte und sind deshalb auf dem Radarbild eindeutig identifizierbar. Gleichzeitig haben wir mithilfe Globaler Navigationssatellitensysteme (GNSS) die Lage der Reflektoren im Feld zentimetergenau vermessen und ihre Koordinaten in den internationalen geodätischen Bezugsrahmen (ITRF) übertragen. So lässt sich nun vorhersagen, wo die Reflektoren im Radarbild liegen müssten. Je näher die tatsächliche Position an der vorhergesagten Position ist, desto besser ist die Lagegenauigkeit der Satellitenbilder.

Es stellte sich heraus, dass sich die Lagegenauigkeiten bei Sentinel-1A-Bildern – ohne spezielle geodätische und atmosphärische Korrekturen – in der Größenordnung von mehreren Metern bewegten. Um dies zu optimieren, haben wir störende Faktoren wie Erdzeiten, atmosphärische Laufzeitverzögerungen und systematische Residuen in Flugrichtung berechnet und korrigiert. Im Rahmen dieser Arbeiten haben wir zudem einen systematischen Messfehler des Radarsensors registriert, welcher einen geometrischen Versatz der Bilder von 1,23 Metern zur Folge hatte. Die Korrektur dieses Versatzes wird seit Mai 2015 für alle Standard-Sentinel-1-Produkte der ESA berücksichtigt, sodass alle Nutzer weltweit von dieser Verbesserung profitieren.

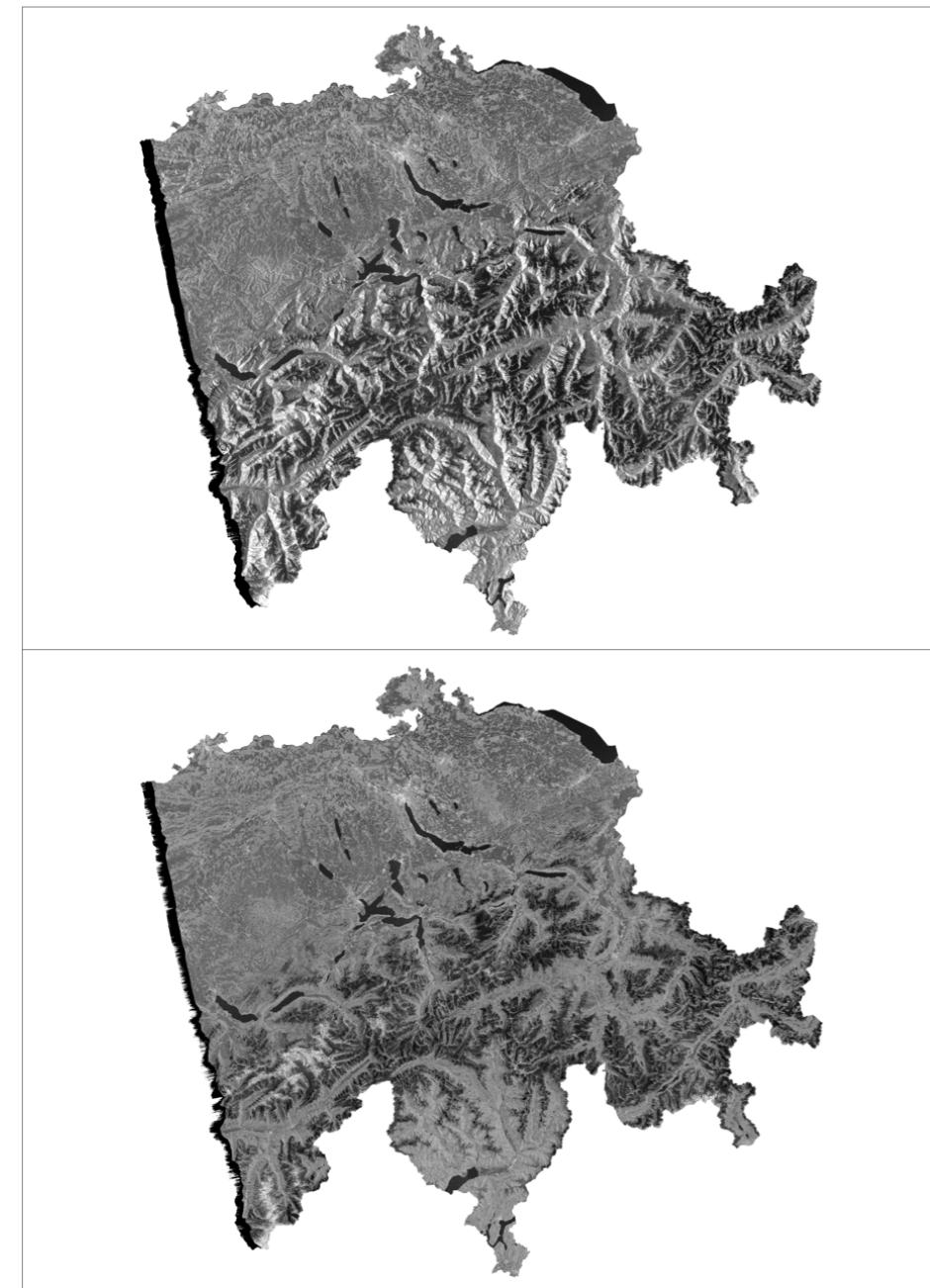
Die Lagegenauigkeit von Sentinel-1A-Bildern liegt nun bei wenigen Zentimetern: Bei 6 Zentimetern in Blickrichtung des Sensors und 17 Zentimetern in Flugrichtung – und dies aus einer Höhe von 693 Kilometern. Derartige Genauigkeiten lassen sich mit optischen Satellitenbildern aufgrund ihres Messprinzips nicht erreichen.

Eine gute Lagegenauigkeit ist entscheidend, um Bilder von mehreren Zeitpunkten, mit unterschiedlichen Blickwinkeln und aus verschiedenen Datenquellen zu kombinieren. Die Sentinel-1A-Daten lassen sich nun zum Beispiel mit digitalen Höhenmodellen, GIS-Informationen oder Bildern anderer Satelliten koppeln.

#### **Empfindlich auf Schneeschmelze**

Vergleicht man Radarbilder aus unterschiedlichen Perspektiven, zeigen sich von der Topografie verursachte Verzerrungen. Diese Störungen beeinflussen neben der Bildgeometrie vor allem auch die Radiometrie: Die zurückgestreuten Signale erscheinen auf der Vorderseite eines Berges viel heller als auf dessen Rückseite.

Mit dem SwissALTI3D-Geländemodell von swisstopo haben wir sowohl die geometrischen als auch die radiometrischen Verzerrungen korrigiert. Während sich die geometrischen Verzerrungen mit den lokalen Höhendaten relativ einfach beseitigen lassen, ist für die Korrektur der Radiometrie eine Bildsimulation notwendig. Diese Simulation berechnet die zu jedem Pixel des Radarbildes gehörende Fläche auf dem Boden. Auf diese Weise lassen sich auch die Bereiche mit Radarschatten an den Hinterhängen bestimmen. Dadurch erscheint das korrigierte Bild «flacher» und lässt Unterschiede in der lokalen Landbede-



Dasselbe Radarbild, einmal ohne Korrektur (oben) und einmal mit Korrektur. (Bilder: Copernicus Daten)



Sentinel-1A-Aufnahme verschiedener Gletscher an der Westküste Grönlands im Sommer 2014. Unten im Bild der Jakobshavn-Gletscher, der sich in den vergangenen 15 Jahren drastisch zurückgezogen hat. (Bild: ESA)

ckung erkennen. Und beispielsweise auch, ob Schnee trocken oder am Schmelzen ist. Denn die vom Radar ausgesendeten Mikrowellen interagieren nur wenig mit Trockenschnee, während sie von Nassschnee stark absorbiert und daher kaum reflektiert werden. Trockenschnee erscheint im RadARBild also deutlich heller als Nassschnee.

#### **Beobachtung von Gletscherbewegungen**

Geometrische und radiometrische Korrekturen sind wichtig, um Daten verschiedener Quellen kombinieren und damit dichte Zeitreihen bilden zu können. Anstatt Bilder eines einzelnen Satelliten alle zwölf Tage zu verarbeiten, wie dies bis anhin der Fall war, verkürzt sich das Beobachtungsintervall dank der Korrektur der Aufnahmen auf zwei bis drei Tage. Eine so hohe Beobachtungsrate ist nötig, um dynamische Prozesse wie etwa die Schneeschmelze oder Gletscherbewegungen auf der Erdoberfläche zu überwachen.

Zusammen mit der Abteilung Glaziologie und Geomorphodynamik des GIUZ untersuchen wir etwa im Rahmen eines Projekts des Schweizerischen Nationalfonds die Fließgeschwindigkeiten der Gletscher an der Westküste Grönlands. Dazu kombinieren wir Sentinel-1-Daten mit Bildern des kanadischen Radarsat-2-Satelliten sowie mit bodengestützten Messungen eines Radarsystems der Schweizer Firma Gamma Remote Sensing. Die Daten beider Satelliten werden mit Informationen von Feldmessungen ergänzt und validiert, um bessere Modelle für das Kalben der Eisberge zu entwickeln.

#### **Satellitenbilder für alle**

Die Sentinel-1-Daten zeigen, wie sich die Fernerkundung entwickelt: Wo früher teu-

re Serien von Aufnahmen mit viel Aufwand zusammengestellt werden mussten, stehen in Zukunft ganze Zeitreihen auf öffentlichen Servern zum Herunterladen bereit. Mit dem Schwester-Satelliten Sentinel-1B wird sich die zeitliche Auflösung der RadARBilder ab nächstem Jahr verdoppeln – ein Gebiet wird aus derselben Perspektive also nicht nur alle zwölf, sondern alle sechs Tage erfasst. Wenn man künftig die Daten der Sentinel-1-Satelliten mit jenen der kanadischen Radarsat Constellation Mission, die für 2018 geplant ist, kombinieren kann, wird sogar mindestens eine Aufnahme pro Tag zur Verfügung stehen.

#### **David Small**

Remote Sensing Laboratories,  
Geografisches Institut der Universität Zürich  
[david.small@geo.uzh.ch](mailto:david.small@geo.uzh.ch)

#### **Daten im Internet verfügbar**

Die Bilddaten von Sentinel-1A und bald auch jene von Sentinel-2A sind online frei zugänglich. Sie können kostenlos über den Datenhub der EU und der ESA bezogen werden: <http://scihub.esa.int>.

## Von Satellitenjägern und Weltraum-Müllmännern

Nirgends ist man hierzulande näher an den Satelliten dran als im Observatorium Zimmerwald, ein paar Kilometer südlich von Bern. Rund um die Uhr werden in der vom Astronomischen Institut der Universität Bern betriebenen Beobachtungsstation Satelliten geortet. Und nachts geht es auf Müllsuche im All.

ISABEL PLANA

Ein schrilles, hektisches Piegeräusch dringt durch den Beobachtungsraum. Das unüberhörbare Zeichen dafür, dass ZIMLAT, das 1-Meter-Laser- und Astrometrie-Teleskop auf dem Dach, Kontakt zu einem Satelliten aufgenommen hat. Thomas Schildknecht, Direktor des Observatoriums, schaut dem Beobachter über die Schulter, der am Computer die Laufzeitmessungen überwacht. Mit jedem reflektierten Laserpuls, den ZIMLAT empfängt, erklingt ein Piepen, reiht sich ein weiterer Punkt am Bildschirm auf. Die Bahn des Satelliten beginnt sich abzuzeichnen.

«Wir sind mittlerweile die produktivste Beobachtungsstation auf der Nordhalbkugel, was die Lasermessungen betrifft», sagt Schildknecht. Etwas über 70 Satelliten werden in Zimmerwald mittels Laser Ranging, einer der wichtigsten Methoden der Satellitengeodäsie, beobachtet. Die Messungen werden automatisch an den Internationalen Laser Ranging Service ILRS übermittelt, der die Daten von weltweit rund 50 Laserstationen bündelt. Parallel dazu empfangen zwei Antennen auf dem Dach die Positionsdaten von Navigationssatelliten.

Für die Satellitengeodäsie, wie sie auch von der gleichnamigen Gruppe am Astro-

## Chasseurs de satellites et de débris spatiaux

L'Observatoire Zimmerwald, au sud de Berne, est au plus près des satellites comme nulle part ailleurs. Vingt-quatre heures sur vingt-quatre, cette station d'observation de l'Institut d'Astronomie de l'Université de Berne localise des satellites. Et la nuit, c'est la recherche des débris qui encombrent de plus en plus l'espace.

Un bruit de bip strident et stressant retentit dans la salle d'observation. Ce signal bruyant indique que ZIMLAT, le télescope laser 1-Mètre d'astrométrie sur le toit, a détecté un satellite. Thomas Schildknecht, directeur de l'Observatoire, regarde par-dessus l'épaule de l'observateur qui surveille sur l'écran de l'ordinateur les mesures de temps de parcours. A chaque pulsion laser réfléchie que ZIMLAT reçoit, un bip est émis et un autre point s'aligne sur l'écran. L'orbite du satellite commence à se profiler.

«Nous sommes l'observatoire le plus productif de l'hémisphère nord pour les mesures laser», dit Thomas Schildknecht. Plus de 70 satellites sont suivis à Zimmerwald avec la télémétrie laser, une des méthodes les plus importantes en géodésie satellitaire. Les mesures sont transmises automatiquement au Service International de Laser Ranging (ILRS) qui concentre les données d'environ 50 stations laser réparties dans le monde entier. Parallèlement, deux antennes sur le toit reçoivent les coordonnées de la position des satellites de navigation.

Pour la géodésie satellitaire, qui est une activité de recherche du groupe du même nom à l'Institut d'Astronomie de l'Université



Thomas Schildknecht schaut sich den Spiegel des Laser- und Astrometrie-Teleskops ZIMLAT an. (Bild: Isabel Plana) | Thomas Schildknecht regarde le miroir du télescope laser d'astrométrie, ZIMLAT.

mischen Institut der Universität Bern (AIUB) betrieben wird, sind solche Ortungsdaten eine wichtige Forschungsgrundlage. Denn Position und Umlaufbahn von Satelliten sind die Schlüsselgrößen für die Vermessung der Erde. Aus ihnen lassen sich die Lagekoordinaten von Punkten auf der Erde bestimmen und Verschiebungen aufgrund der Plattentektonik messen. Auch Meeresspiegelschwankungen können nachgewiesen werden, wenn man einen Satelliten mit Altimeter verfolgt, der wiederholt aus bekannter Position die Höhe über dem Meer misst.

Selbst Störfaktoren, die sich auf die Umlaufbahn der Satelliten auswirken, macht sich die Satellitengeodäsie zunutze. Aus Bahnabweichungen, die unter anderem ein Ausdruck des unregelmäßigen Erdgeschwefelds sind, lässt sich beispielsweise auf die Gestalt der Erde, das Geoid, schließen.

sité de Berne (AIUB), de telles données de localisation constituent une base importante. La position et l'orbite des satellites sont des éléments-clés en matière de mesures de la planète. A partir de ces informations, les coordonnées de points à la surface de la Terre sont déterminées et les déplacements causés par la tectonique des plaques mesurés. Les fluctuations du niveau des océans peuvent aussi être démontrées avec un satellite équipé d'un altimètre qui mesure de façon répétée la hauteur au-dessus de la mer depuis une position connue.

La géodésie satellitaire utilise les facteurs de perturbation qui ont des répercussions sur l'orbite des satellites. A partir des déviations de l'orbite, qui entre autres reflètent les variations du champ de pesanteur terrestre, on peut par exemple déduire la forme de la terre, le géoïde.

## Hochautomatisierter Betrieb

Das Piepen hat aufgehört. «Das Teleskop richtet sich gerade neu aus, um den nächsten Satelliten ins Visier zu nehmen», erklärt der Beobachter. ZIMLAT ist komplett computergesteuert: Ein Programm gibt vor, wann welcher Satellit angepeilt wird. Drehung und Ausrichtung des Teleskops sind vorgegeben und erfolgen automatisch. Ebenso die Schliessung der Teleskopkuppel bei schlechtem Wetter. Manchmal muss der Beobachter aber auch ins Programm eingreifen. Etwa dann, wenn in der angepeilten Himmelsrichtung gerade dicke Wolken vorbeiziehen – sie sind für den Laserstrahl ein Hindernis. Deswegen, und auch, um bei allfälligen Störungen eingreifen zu können, hat rund um die Uhr, 365 Tage im Jahr jemand Dienst. Ziel ist, dass die Lasermessungen, wenn es das Wetter zulässt, ununterbrochen laufen. Auch nachts ist ZIMLAT in Betrieb. Dann werden aber nicht nur Satelliten beobachtet, sondern auch das, was von ihnen irgendwann einmal übrig bleibt: jede Menge Schrottteile.

Sie entstehen zum Beispiel, wenn Trägerraketen explodieren oder Satelliten durch Kollisionen beschädigt werden. Und sie sind für die Raumfahrt zunehmend ein Problem. Mehrfach kam es in den vergangenen Jahrzehnten zu Kollisionen von aktiven Satelliten mit Weltraumschrott. Um dieses Risiko zu minimieren, werden die Schrottteile seit Anfang der 1990er-Jahre von Wissenschaftlern untersucht und katalogisiert.

«Offiziell geht man heute von rund 15 000 Objekten mit einem Durchmesser von mehr als 10 Zentimeter aus», sagt Schildknecht. «In Wahrheit aber sind es viel mehr.» Sie fehlen in den Aufzeichnungen, weil man sie nur schwer sieht – oder in manchen Fällen

## Une opération automatisée

Le bip s'est arrêté. «Le télescope se réoriente pour prendre dans son viseur le prochain satellite» dit l'observateur. ZIMLAT est complètement informatisé: un programme indique quel satellite sera visé, la rotation et la direction du télescope sont prédéfinies et effectuées automatiquement. Egalement la fermeture de la coupole du télescope par mauvais temps. Parfois l'observateur doit intervenir dans le programme. Notamment quand dans la direction du ciel visée d'épais nuages passent – ils sont un obstacle pour le rayon laser. C'est pourquoi et aussi pour pouvoir intervenir lors d'éventuels incidents, il y a quelqu'un de service vingt-quatre heures sur vingt-quatre et 365 jours par an. Le but est que les mesures laser, si le temps le permet, ne soient pas interrompues. ZIMLAT fonctionne aussi la nuit. Ce ne sont pas seulement les satellites qui sont observés, mais aussi ce qu'il en reste quand ils sont abandonnés: les débris spatiaux.

Les débris spatiaux proviennent par exemple de lanceurs qui explosent ou de satellites endommagés lors de collisions. Et ils deviennent un problème de plus en plus important pour l'espace. Plusieurs fois au cours des dernières décennies, des satellites opérationnels sont entrés en collision avec des débris spatiaux. Pour minimiser ce risque, depuis le début des années 1990, ils sont étudiés et répertoriés par des scientifiques.

«Officiellement, on estime à environ 15 000 les objets avec un diamètre de plus de 10 centimètres» dit T. Schildknecht. «En vérité, il y en a beaucoup plus». Ils ne sont pas tous enregistrés car il y en a beaucoup qui sont difficiles à voir et il y en a qu'on n'a pas le droit d'observer. «Cela se comprend aisément que des débris provenant de mis-

nicht sehen darf. «Es versteht sich von selbst, dass Schrott von geheimen militärischen Satellitenmissionen nicht aufgeführt wird», meint Schildknecht vielsagend. Hinzu kommen die mehreren Hunderttausend Bruchstücke, die kleiner als 10 Zentimeter sind.

## Versuchslabor für die Schrott-Detektion

Licht ins Dunkle dieses wachsenden Weltraum-Müllteppichs zu bringen, ist der Forschungsschwerpunkt der Gruppe Optische Astronomie des AIUB. Kaum zehn Mann stark, spielt das Team unter der Leitung von Thomas Schildknecht international eine führende Rolle in Sachen Weltraumschrott. «Als kleine Forschungsgruppe mit bescheidenen Mitteln muss man sich auf seine Stärke konzentrieren», ist Schildknecht überzeugt. «Weltraumschrott ist unsere Nische, hier können wir einen wesentlichen Beitrag leisten.» So haben die Berner Astronomen im Auftrag der ESA und im Rahmen internationaler Kooperationen ausgefeilte Software-Produkte und Algorithmen für die Ortung und Bestimmung von Weltraumschrott entwickelt. «Das Observatorium Zimmerwald ist für uns sehr wertvoll, weil wir unsere Produkte hier in der Anwendung testen können.»

Die Ortung von Weltraummüll ist um einiges schwieriger und aufwändiger als jene von Satelliten. Die Schrottteile sind mit wenigen Ausnahmen zu klein, um Laserpulse zu reflektieren. Kommt hinzu, dass man ihre Umlaufbahn zunächst nicht kennt – wo also mit der Suche beginnen? «Es ist eine ziemliche Sisyphusarbeit», sagt Schildknecht und öffnet auf seinem Computer ein Bild. Eine stark vergrösserte Aufnahme vom schwarzen Nachthimmel mit einigen verschwommenen weissen Punkten. Das Bild

sions satellitaires militaires confidentielles ne soient pas répertoriés» pense T. Schildknecht. De plus, il y a plusieurs centaines de milliers de fragments dont la taille est inférieure à 10 centimètres.

## Un laboratoire d'expérimentation

Apporter de la lumière dans l'obscurité de ce tapis de débris spatiaux de plus en plus important, c'est le programme de recherche sur lequel se focalise le groupe d'astronomie optique de l'AIUB. Avec à peine dix personnes, l'équipe sous la direction de Thomas Schildknecht joue sur le plan international un rôle de premier plan dans le domaine des débris spatiaux. T. Schildknecht est convaincu «qu'un petit groupe de recherche avec de modestes moyens est obligé de se concentrer sur ses points forts». «Les débris spatiaux étant notre spécialité, nous pouvons apporter une contribution significative dans ce domaine». Ainsi pour l'ESA et dans le cadre de coopérations internationales, les astronomes bernois ont développé des logiciels et des algorithmes sophistiqués pour la localisation et la détermination des débris spatiaux. «L'Observatoire Zimmerwald est très précieux car nous pouvons y tester l'applicabilité de nos produits».

La localisation des débris spatiaux est un peu plus difficile et plus compliquée que celle des satellites. Les débris sont, à quelques exceptions près, trop petits pour réfléchir les impulsions laser. A cela s'ajoute le fait que l'on ne connaît pas au départ leur orbite – par où commencer leur recherche? «C'est un vrai travail de Sisyphe» dit T. Schildknecht en ouvrant une image sur son ordinateur. Il s'agit d'une prise de vue fortement grossie d'un ciel nocturne sombre avec quelques points blancs flous. Elle a

stammt von ZIMLAT, das nachts neben dem Lasermessbetrieb auch für optische Beobachtungen genutzt wird. «Die weissen Punkte können Sterne, Satelliten oder auch Schrott sein», erklärt der Astronom. «Erst Bildbearbeitungsalgorithmen machen eine Unterscheidung möglich.»

Nacht für Nacht schießen ZIMLAT und sein kleiner Kollege, ein 50-Zentimeter-Teleskop auf der gegenüberliegenden Ecke des Observatoriums, mehrere Tausend Bilder. Und Nacht für Nacht kommen darauf neue, noch nicht katalogisierte Schrottteile zum Vorschein. Schildknecht: «Wenn man in einer Bildsequenz analysiert, wie sich ein solches Objekt im Verhältnis zu den Sternen fortbewegt, kann man seine Umlaufbahn und Flughöhe berechnen.» Das sind wichtige Parameter, um ein Schrottteil in Zukunft wiedererkennen zu können. «Da braucht es einige Formeln aus der Himmelsmechanik und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, um dieses Problem zu lösen», weiß Schildknecht.

### Detektivarbeit auf Distanz

Doch damit nicht genug: Mit den Algorithmen, welche die Berner Forscher entwickelt haben, lassen sich aus den Bildinformationen der verschwommenen weissen Punkte verschiedene Objekteigenschaften ableiten – und das in einer Entfernung von bis zu 36 000 Kilometern.

Zum Beispiel die Eigenbewegung eines Schrottteils. «Dazu schauen wir uns seine Lichtkurve an», sagt Schildknecht. «Diese zeigt, wie sich die Leuchtkraft des Objekts über einen bestimmten Zeitraum verändert.» Er deutet auf die Grafik auf seinem Bildschirm. «Hier sieht man zum Beispiel, dass die Kurve einem gleichmässigen Auf-

été réalisé par ZIMLAT qui est utilisé la nuit, à côté de sa fonction de mesure Laser, pour des observations optiques. «Les points blancs peuvent correspondre à des étoiles, des satellites ou bien aussi à des débris» explique l'astronome. «Ce sont seulement les algorithmes de traitement d'images qui rendent possible la distinction.»

Nuit après nuit, ZIMLAT et son petit second, un télescope de 50 centimètres sur le coin opposé de l'observatoire, font plusieurs milliers de photos. Et nuit après nuit, de nouveaux débris non catalogués apparaissent. T. Schildknecht : «Quand, dans une séquence d'images, on analyse le déplacement de l'un de ces objets par rapport aux étoiles, on peut calculer sa trajectoire et son altitude de vol». Ce sont des paramètres importants pour pouvoir reconnaître à nouveau à l'avenir un débris. «Cela nécessite quelques formules en mécanique céleste et en calcul de probabilité pour résoudre ce problème» dit T. Schildknecht.

### Un travail de détection à distance

Mais ce n'est pas tout: avec les algorithmes que les chercheurs bernois ont développé, il est possible à partir des images de points blancs flous de déduire les propriétés des différents objets – et cela jusqu'à une distance de 36 000 kilomètres.

Par exemple, prenons le mouvement d'un débris spatial. «Nous allons examiner sa courbe de lumière» dit Schildknecht. «Celle-ci montre l'évolution de la luminosité de l'objet pendant une période donnée». Il montre sur son écran le graphique correspondant. «Ici on voit par exemple que la courbe suit un mouvement régulier de haut en bas: l'objet apparaît en alternance clair et sombre. Cela nous permet de



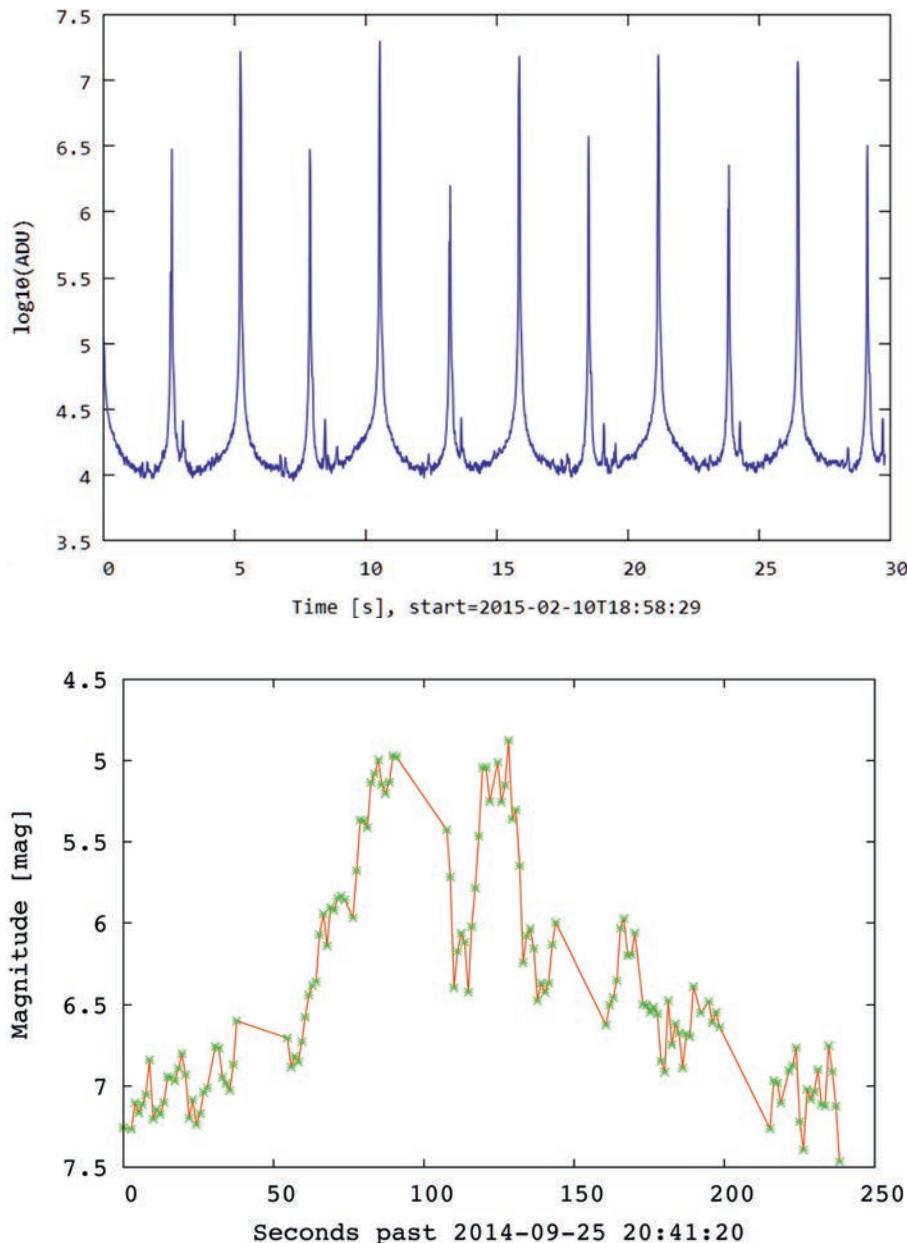
Eine Aufnahme des ZIMLAT-Teleskops. Der mit einem Pfeil markierte weisse Punkt ist ein kleines Schrottteil in 36 000 Kilometern Entfernung. (Bild: ALUB) | Une prise de vue du télescope ZIMLAT. Le point blanc marqué avec une flèche est un petit débris spatial situé à une distance de 36 000 kilomètres.

und Ab folgt: Das Objekt erscheint abwechselnd hell und dunkel. Daraus schliessen wir, dass es regelmässig rotiert.» Ein Objekt, das unkontrolliert taumelt, hätte hingegen eine ziemlich chaotische Lichtkurve. «Wenn wir zusätzlich zur Eigenbewegung nun auch noch das Material kennen, aus dem ein Schrottteil besteht, können wir im Idealfall sogar sagen, um welche Satellitenkomponente es sich handelt.»

Um das Material zu bestimmen, wenden Astronomen eine Methode an, die unser eins vielleicht noch aus dem Chemieunterricht kennt: Die Spektralanalyse. Die Forscher messen, in welchen Frequenzbereichen ein Schrottteil wie stark strahlt, und vergleichen diesen elektromagnetischen

conclure qu'il tourne de manière régulière». Un objet, qui se déplace de manière incontrôlée, aurait une courbe de lumière plutôt chaotique. «Si en plus du mouvement, nous connaissons aussi le matériel dont il est composé, nous pourrons dans le meilleur des cas dire de quel composant satellitaire il s'agit».

Pour déterminer le matériel, les astronomes utilisent une méthode qui nous rappelle peut-être encore les cours de chimie: l'analyse spectrale. Les chercheurs mesurent dans quels domaines de fréquence un débris rayonne et comparent ce rayonnement électromagnétique avec les courbes spectrales de matériaux connus souvent utilisés en aérospatiale. Certes, l'analyse



Die Lichtkurve eines konstant rotierenden Objekts (oben) folgt einem regelmässigen Muster. Eine chaotische Lichtkurve ohne erkennbaren Verlauf (unten) lässt demgegenüber auf ein unkontrolliert taumelndes Schrottteil schliessen. (Grafiken: AlUB) | La courbe de lumière d'un objet en rotation permanente (en haut) montre un dessin régulier. Une courbe de lumière chaotique sans régularité (en bas) correspond en revanche à un débris spatial en rotation incontrôlée.

Fussabdruck mit den Spektralkurven bekannter, in der Raumfahrt häufig verwendet Materialien. So einfach wie im Labor ist die Spektralanalyse von Objekten im Weltraum jedoch nicht. Über diese grosse Entfernung wirken zahlreiche Störfaktoren, welche die Messungen der Spektralkurven verfälschen.

Im Rahmen verschiedener Forschungsarbeiten sind die Berner Astronomen daran, ihre Analyse-Algorithmen stetig zu verbessern und Modelle für verschiedene Kategorien von Weltraumschrott zu entwickeln. Nicht nur um Kollisionen zu vermeiden, sondern auch um herauszufinden, welche Teile von Satelliten und Trägerraketen besonders häufig verloren gehen – und entsprechend besser verbaut werden müssen. Auch das Beseitigen des Weltraumschrotts ist nur möglich, wenn man die Eigenschaften der Bruchstücke kennt. «Es gibt viele Ideen, von Greifarmen bis zu Netzen, welche die Teile einsammeln. Aber das ist technisch sehr anspruchsvoll und teuer. Es wird noch lange dauern, bis diese Ideen reif sind», meint Schildknecht. «Bis dahin sollte die Raumfahrt besser mehr dafür tun, das All nicht noch mehr zuzumüllen.» Mit ihren Entwicklungen schaffen die Berner Forscher die Grundlage, um das Problem in die richtige Bahn zu lenken.

spectrale des objets dans l'espace n'est pas aussi facile qu'en laboratoire. Le grand éloignement engendre de nombreux éléments perturbateurs qui faussent les mesures des courbes spectrales.

Dans le cadre de différents travaux de recherche, les astronomes bernois sont amenés à améliorer constamment leurs algorithmes d'analyse et à développer des modèles pour différentes catégories de débris. Non seulement pour prévenir les collisions, mais aussi pour repérer les parties des satellites et des lanceurs qui sont le plus souvent perdues et donc permettre une amélioration lors de leur fabrication. Mais l'élimination des débris spatiaux n'est possible que si l'on connaît les caractéristiques des fragments. «Il y a beaucoup d'idées, des pinces aux filets pour collecter les fragments. Mais c'est techniquement très complexe et onéreux. Cela prendra encore du temps avant que ces idées arrivent à maturité» pense T. Schildknecht. «Jusque-là, l'astronautique devrait faire en sorte que l'espace ne soit pas encore plus encombré». Avec leurs travaux de recherche, les chercheurs bernois créent les bases pour orienter le problème dans la bonne direction.

#### Traduction:

Danielle Décrouez  
Géologue, membre du Comité de rédaction  
[danielle.decrouez@hotmail.com](mailto:danielle.decrouez@hotmail.com)

## Spurlos den Schnee vermesssen

**Wie erforscht man das Innere eines Gletschers? Man bohrt hinein und gräbt Schneeprofile frei. Oder man geht in die Luft, so wie die Glaziologen der Universität Freiburg. Während drei Jahren haben sie den Findelengletscher im Oberwallis regelmässig mit dem Heliokopter abgeflogen und dabei Radarmessungen der Schneehöhen gemacht.**

LEO SOLD, MATTHIAS HUSS, MARTIN HÖLZLE

Der Massenhaushalt von Gletschern hängt von der Schneezufuhr und der Schnee- und Eisschmelze ab. Aufgrund der ausgeprägten Jahreszeiten in unseren Breiten findet die Akkumulation vorwiegend im Winter und die Ablation hauptsächlich im Sommer statt. Herkömmliche glaziologische Messungen erfolgen jeweils am Ende des Sommers: Es werden Ablationsstangen in das Eis gebohrt, um die Eisschmelze zu erfassen, und Schneeschächte gegraben, um Dicke und Dichte der Schneedecke zu bestimmen. Da Wind und Topografie die Ablagerung und spätere Umlagerung des Schnees beeinflussen, ist die Akkumulation nicht überall auf dem Gletscher gleich gross. Die Bestimmung der Massenbilanz für den ganzen Gletscher auf Basis einer geringen Anzahl Messungen ist daher problematisch.

Um die räumliche Variabilität besser zu erfassen, können die Messprogramme durch eine detaillierte Kartierung der Schneedecke im Frühjahr ergänzt werden. Eine solche lässt sich etwa mit Hilfe von Sondierstangen durchführen. Trotzdem kann dabei meist nicht der gesamte Gletscher abgedeckt werden, da gewisse Bereiche nicht zugänglich sind oder die Fläche zu gross ist.

## Ausculter un glacier depuis le ciel

**Comment ausculter l'intérieur d'un glacier?**  
On effectue des forages et on prélève des carottes de glace. Ou bien, on prend de l'altitude comme les glaciologues de l'Université de Fribourg. Pendant trois ans, ils ont régulièrement survolé en hélicoptère le glacier de Findelen dans le Haut-Valais pour mesurer les épaisseurs de neige par radar.

Le bilan de masse d'un glacier est la différence entre les apports de neige et les pertes par fonte de la neige et de la glace. Sous nos latitudes caractérisées par des saisons, l'accumulation a lieu principalement en hiver et l'ablation en été. Les mesures glaciologiques classiques se font chaque année à la fin de l'été: des balises sont plantées à la surface du glacier pour déterminer la fonte de la glace et des trous sont creusés pour estimer l'épaisseur et la densité du manteau neigeux. Le vent et la topographie influencent le dépôt et la répartition spatiale de la neige, l'accumulation n'est pas homogène sur toute la surface du glacier. Ainsi la détermination du bilan de masse pour l'ensemble du glacier, basée sur un nombre restreint de points de mesure, est problématique.

Pour mieux appréhender la variabilité spatiale, les suivis glaciologiques sont complétés à l'aide d'une cartographie détaillée des épaisseurs de neige au printemps. Des carottages manuels permettent d'obtenir ces données. Mais avec cette méthode laborieuse, il n'est pas possible de couvrir l'ensemble du glacier, certaines zones étant inaccessibles ou la surface à explorer trop vaste.



Im Heliokopter über dem Findelengletscher. (Bild: Leo Sold) | En hélicoptère au-dessus du glacier de Findelen.

## Zugang zu unzugänglichen Regionen

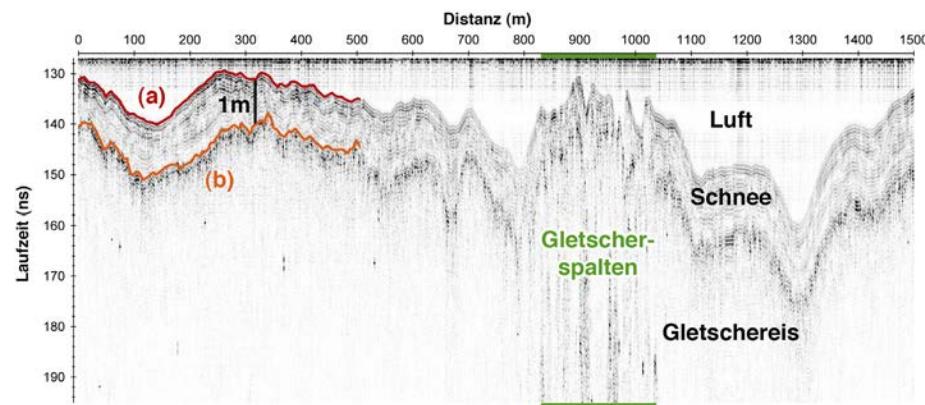
Gletscher lassen sich aber auch indirekt vermessen. Zum Beispiel mit Ground-Penetrating Radar (GPR), einer etablierten geophysikalischen Methode zur Messung der Schichtung im Untergrund. Mit GPR lassen sich geologische Einheiten ebenso bestimmen wie Eisdicken oder Schneehöhen. Durch das Aussenden elektromagnetischer Impulse und den Empfang der entsprechenden Reflexionen gewährt die Methode Einblick in den Untergrund, ohne dabei Spuren zu hinterlassen. Und dank der möglichen Anwendung per Heliokopter kann man damit selbst in abgelegenen und schwer zugänglichen Regionen effizient Daten erheben.

Die Radarwellen werden immer dann reflektiert, wenn sich die dielektrischen Materialeigenschaften im Untergrund ändern. Dies ist etwa an der Schneeoberfläche der

## Atteindre les régions inaccessible

Il est possible de mesurer les glaciers indirectement, par exemple avec un radar à pénétration de sol (géoradar ou Ground-Penetrating Radar, GPR), un appareil géophysique pour étudier la composition et la structure du sous-sol. Le géoradar permet de sonder des unités géologiques mais aussi les épaisseurs de glace ou de neige. L'enregistrement de la réflexion d'ondes électromagnétiques émises dans le sous-sol donne un aperçu de sa structure sans laisser de traces. Et grâce à l'utilisation de cet appareil embarqué dans un hélicoptère, il est possible de recueillir des données de manière rapide et efficace, même dans des zones éloignées et d'accès difficile.

Les ondes radar sont réfléchies quand les propriétés diélectriques des couches du sous-sol changent. Ce phénomène se pro-



Beispiel eines GPR-Profil auf der Zunge des Findelengletschers. Zu sehen sind die Schneedecke (a), die darunter liegende Eisoberfläche (b) und eine Spaltenzone. (Grafik: Leo Sold) | Exemple d'un profil GPR sur la langue du Glacier du Findelen. On peut voir la surface de neige (a), la surface de glace (b) et une zone avec des crevasses.

Fall, am Übergang zwischen Schnee und Eis, aber auch an Schichtgrenzen innerhalb des Schnees oder Firns. Da Schnee und Eis das elektromagnetische Signal nur geringfügig dämpfen, eignet sich Radar besonders gut für glaziologische Untersuchungen. Aus der Laufzeit des Signals und der Geschwindigkeit, mit der es die Schneedecke durchdringt, lässt sich die Schneehöhe berechnen. Die Geschwindigkeit wird im Wesentlichen durch die Dichte und den Gehalt flüssigen Wassers in der Schneedecke bestimmt. Diese beiden Parameter müssen zunächst abgeschätzt oder mittels Sondierungen auf dem Gletscher gemessen werden.

Da Radarmessungen bereits in früheren Studien erfolgreich für die Messung der Schneakkumulation auf Gletschern eingesetzt wurden, liegt eine Anwendung im Rahmen der fortlaufenden Gletscherbeobachtung nahe. Gefördert durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) initiierte die Universität Freiburg im Jahr 2011 ein Forschungsprojekt, um den Nutzen helikopterbasierter Radarmessungen für die Massenbilanzbestimmung von Alpengletschern zu untersuchen. Als Untersuchungsgebiet

duit à la surface du manteau neigeux, à l'interface entre la glace et la neige, ou encore entre les différentes couches dans la neige ou le névé. La neige et la glace étant caractérisées par une légère différence du signal électromagnétique, le géoradar est particulièrement bien adapté pour les études glaciologiques. La durée du signal et la vitesse de pénétration dans le manteau neigeux permettent de calculer l'épaisseur de la couche de neige. La vitesse dépend principalement de la densité et de la teneur en eau liquide de la neige. Ces deux paramètres doivent être au préalable estimés ou mesurés en effectuant des sondages sur le glacier.

Ces mesures radar ayant déjà été utilisées avec succès pour déterminer l'accumulation de neige sur les glaciers, une application pour l'observation continue des glaciers est prometteuse. L'Université de Fribourg a ainsi initié en 2011 un projet de recherche, financé par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (FNS), afin d'effectuer des mesures radar en hélicoptère pour déterminer le bilan de masse des glaciers alpins.

diente der 13 Quadratkilometer grosse Findelengletscher im Oberwallis, der direkt am Alpenhauptkamm liegt. Er zählt zu den in den vergangenen Jahren am besten erforschten Gletschern der Schweiz. Seit über einem Jahrzehnt werden hier systematische Massenbilanzmessungen durchgeführt, ergänzt durch zahlreiche weitere Messungen und Forschungsprojekte verschiedener Institutionen. Erste Versuche, die Schneeverteilung mit helikopterbasiertem Radar zu messen, gab es bereits 2005 und 2010, jedoch nur in kleinen Teilbereichen des Gletschers. Den Freiburger Glaziologen war es nun erstmals möglich, den gesamten Gletscher systematisch mit Messungen abzudecken, die zwischen 2012 und 2014 jedes Frühjahr durchgeführt wurden.

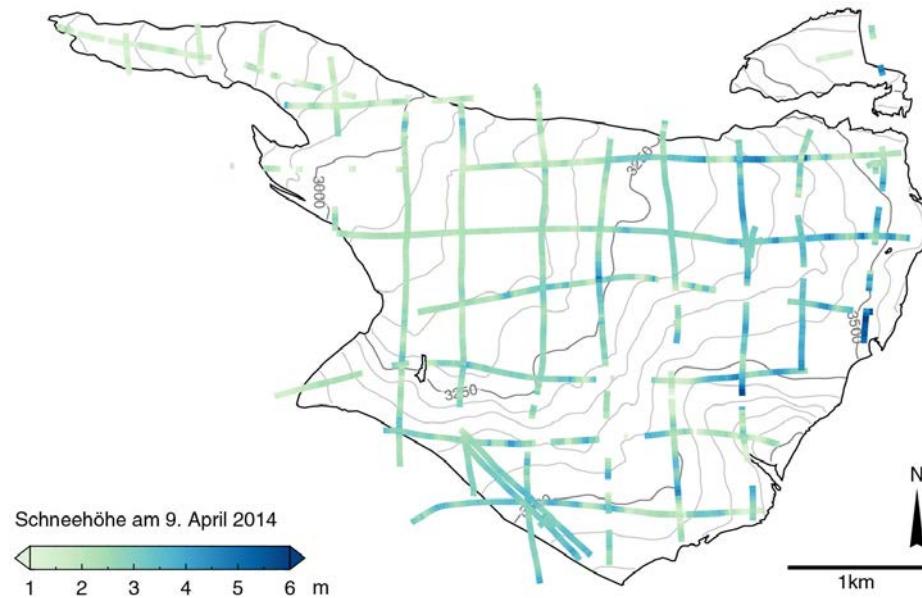
### Ein komplexes Bild

Entlang der Fluglinien des Helikopters erfasst der Radar neben variablen Schneehöhen auch Eigenschaften des Untergrunds, wie etwa Gletscherspalten oder Akkumulationsschichten früherer Jahre. Die Zunahme der Schneakkumulation mit der Höhe wird besonders in den höchstgelegenen Gebieten durch ein kompliziertes Verteilungsmuster überlagert. Dieses entsteht durch intensive Umlagerung des Schnees aufgrund der höheren Windgeschwindigkeiten und des rauen Geländes. Um sowohl die Radarmessungen im Frühjahr, als auch die konventionellen Messungen am Ende des Sommers bei der Berechnung der Massenbilanz berücksichtigen zu können, bedarf es einer Auswertungsmethode, die es ermöglicht, den zeitlichen Verlauf von Akkumulation und Schmelze über die Dauer eines Jahres zu bestimmen. Dies wurde mit einem räumlich verteilten Computermodell

L'étude s'est focalisée sur le glacier de Findelen, un grand glacier de 13 kilomètres carrés, situé dans les Alpes valaisannes. Celui-ci fait partie des glaciers suisses les mieux suivis ces dernières années. Pendant plus d'une décennie, des mesures systématiques du bilan de masse ont été effectuées, complétées par de nombreuses autres mesures et des projets de recherche de diverses institutions. Les premières tentatives pour mesurer la répartition spatiale de la neige par radar depuis un hélicoptère ont eu lieu en 2005 et en 2010, mais alors seules de petites zones du glacier furent concernées. Et entre 2012 et 2014, les glaciologues fribourgeois ont eu la possibilité chaque printemps d'effectuer des mesures sur l'ensemble du glacier.

### Une image complexe

Le long du parcours de l'hélicoptère, le radar renseigne sur les différences d'épaisseur de la neige, ainsi que sur les caractéristiques du sous-sol, comme les crevasses ou les couches accumulées au cours des dernières années. Avec l'altitude, deux paramètres sont à prendre en compte: une augmentation de l'accumulation de la neige et une distribution spatiale de la neige propre aux zones de haute altitude. En effet, il y a une redistribution considérable de la neige à cause de la vitesse élevée des vents et de la forte déclivité du terrain. Afin de prendre en compte à la fois les mesures de neige au printemps et les mesures classiques de la fin de l'été pour le calcul du bilan de masse du glacier, une méthode d'évaluation est nécessaire pour déterminer le taux d'accumulation et de fonte au cours d'une année. Ceci a été réalisé avec un modèle informatique de distribution spatiale qui utilise aussi des



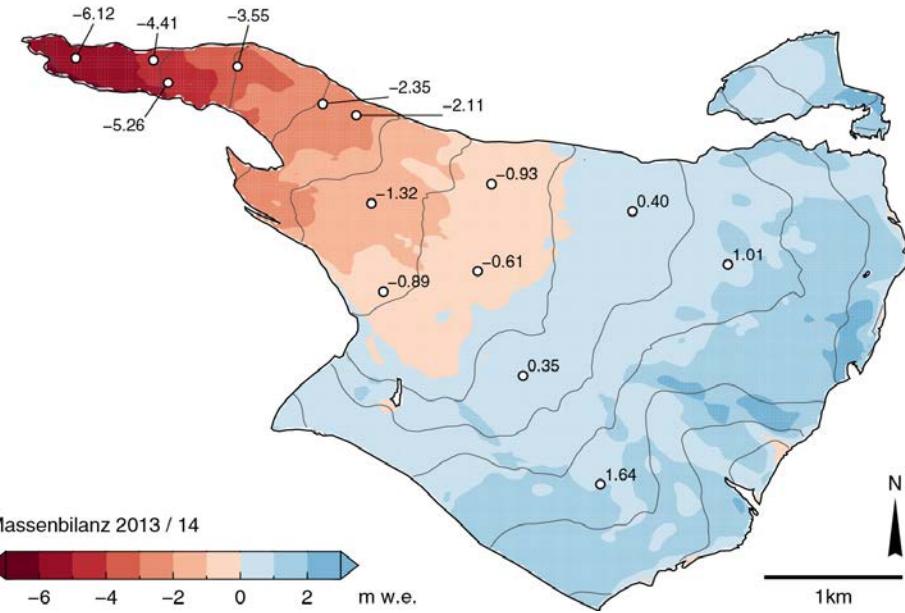
Helikopterbasierte GPR-Messung der Schneehöhenverteilung auf dem Findelengletscher am 9. April 2014. Die Farben zeigen die starke räumliche Variabilität der Schneehöhe an. (Grafik: Leo Sold) | Mesures du géoradar embarqué dans un hélicoptère qui montrent la répartition des épaisseurs de neige dans le glacier de Findelen le 9 avril 2014. Les couleurs indiquent la forte variabilité spatiale de l'épaisseur de la neige.

erreicht, das zusätzlich Temperatur- und Niederschlagsdaten der Wetterstation von MeteoSchweiz in Zermatt verwendet, um für jeden Tag des Jahres Akkumulation und Schmelze zu berechnen.

Die Kombination aus umfassenden radarsierten Messungen der Schneehöhe und den konventionellen jährlichen Messungen an Ablationsstangen und Schneeschächten ergibt ein realistisches Bild der Massenbilanz, welches die räumliche Variabilität beider Prozesse – Ablation und Akkumulation – wiederspiegelt. Wie wichtig dies für die Berechnung der gletscherweiten Massenbilanz ist, zeigt sich in der Auswertung der gesamten Messreihe seit 2004: Für den Findelengletscher ergibt sich erstmals eine Übereinstimmung mit einer langfristigen

données de température et de précipitation de la station MétéoSuisse à Zermatt afin de calculer l'accumulation et la fonte pour chaque jour de l'année.

La combinaison de nombreuses mesures d'épaisseur de neige par radar avec les mesures annuelles classiques, faites grâce à des balises d'ablation et des puits de neige, donne une image réaliste du bilan de masse qui reflète la variabilité spatiale des deux processus – ablation et accumulation. L'importance de ces mesures pour calculer le bilan de masse du glacier apparaît dans l'analyse de toute la série de données depuis 2004. Pour le glacier de Findelen, il y a pour la première fois une concordance avec des mesures de référence sur une longue période de temps qui



Massenbilanz des Findelengletscher für 2013/14 in Metern Wasseräquivalent, bestimmt anhand der jährlichen Messungen (Punkte) und helikopterbasierten GPR-Messungen der Schneakkumulation im Frühjahr. (Grafik: Leo Sold) | Le bilan de masse du glacier de Findelen en 2013/14 en mètres équivalent eau, déterminé avec les mesures annuelles (points) et les mesures du géoradar hélicoporté de l'accumulation de neige au printemps.

Referenzmessung, die durch flugzeuggestütztes Laserscanning über einen Fünf-Jahres-Zeitraum getätigter wurde.

#### Kein Ersatz für direkte Messungen

Der Vorteil von helikopterbasiertem GPR gegenüber konventionellen Messungen anhand direkter Sondierungen besteht in der effizienten Datenerfassung und der Möglichkeit, auch unzugängliche Gebiete zu erreichen. Trotzdem werden auch weiterhin Schneedichtemessungen an mehreren Orten auf dem Gletscher benötigt. Einerseits um die Geschwindigkeit der Radarwellen innerhalb der Schneedecke zu bestimmen, und andererseits, um das Wasseräquivalent zu berechnen, die tatsächliche Wassermenge, die in Form von Schnee gespei-

a été effectuée grâce au laser à balayage pendant cinq ans.

#### Pour des mesures complémentaires

L'avantage du géoradar embarqué dans un hélicoptère par rapport aux mesures classiques utilisant des sondages directs est l'acquisition efficace des données et la possibilité d'atteindre des zones inaccessibles. Cependant, des mesures de la densité de la neige sont nécessaires en différents points sur le glacier.

Ceci est nécessaire d'une part pour déterminer la vitesse des ondes radar dans le manteau neigeux, et d'autre part, pour calculer l'équivalent eau, à savoir la quantité réelle d'eau qui est stockée sous forme de neige. Le géoradar embarqué dans un héli-

chert ist. Das helikopterbasierte GPR ist daher als ergänzendes Verfahren zu verstehen und nicht als Alternative zu direkten Messungen. Das Projekt am Findelengletscher hat gezeigt, dass umfangreiche Messungen der Schneekumulation notwendig sind, um die Veränderung der Gletschermasse von Jahr zu Jahr verlässlich bestimmen zu können. Ob man dafür einen helikopterbasierten Radar einsetzt, ist eine Frage der Kosten und der Grösse des Gletschers.

**Leo Sold**  
Physische Geografie  
Universität Freiburg  
[leo.sold@unifr.ch](mailto:leo.sold@unifr.ch)

**Matthias Huss**  
Physische Geografie  
Universität Freiburg  
[matthias.huss@unifr.ch](mailto:matthias.huss@unifr.ch)

**Martin Hözle**  
Physische Geografie  
Universität Freiburg  
[martin.hoelzle@unifr.ch](mailto:martin.hoelzle@unifr.ch)

coptère doit donc être considéré comme une méthode de mesure complémentaire et non comme une alternative remplaçant complètement les mesures directes. Le projet sur le glacier de Findelen a montré que les nombreuses mesures de l'accumulation de neige sont nécessaires afin de déterminer les changements de masse du glacier chaque année avec fiabilité. Le choix d'utiliser un radar embarqué dans un hélicoptère est une question de coût et de taille du glacier.

## Ein Apparat, der Geschichte schrieb

**Nicht immer war die Vermessung der Erde so einfach wie heute. Früher mussten Forscher auf ihren Expeditionen schweres Geschütz mitführen, um Topografie, Massenbewegungen, Eis- und Schneeprofile erfassen zu können. Ein Relikt aus dieser Pionierzeit findet man am Geografischen Institut der Universität Zürich: den Theodoliten von Alfred de Quervain.**

ISABEL PLANÀ

«Zeltplatz 20. 12. Juli, vormittags. Heute Nacht hatten wir –23 Grad und sind noch in den Hundestagen. Jetzt haben wir 410 Kilometer auf dem Inlandeis gemacht. Es steigt immer noch, aber viel weniger als die früheren Tage. Der Theodolit gibt drei Minuten an. (...) Schneetreiben hat eingesetzt; es wird ein ungemütlicher Marsch werden.» Dies hält Alfred de Quervain in seinem Expeditionstagebuch fest, als er im Juli 1912 mit seinen Kollegen Hössli, Fick

und Gaule den grönländischen Eisschild mit Hundeschlitten überquert. Am Ende jenes Sommers haben die vier Forscher nicht nur ganze 700 Kilometer zurückgelegt, sie haben auch als Erste das gesamte Profil der grönländischen Eiskappe und die Geometrie einzelner Gletscher vermessen.

Der Theodolit, eines der Vermessungsinstrumente, die damals zum Einsatz kamen, hat die vier Forscher überlebt und wird heute am Geografischen Institut der Universität



Der Glaziologe Andreas Vieli mit dem Theodoliten von Alfred de Quervain. (Bild: Isabel Planà)



Handkoloriertes Bild des Expeditionsquartetts Hössli, Fick, Gaule und de Quervain (von links), aufgenommen im Juli 1912 auf 2501 Meter über Meer, dem höchsten Punkt ihrer Grönlandpassage. (Bild: ETH-Bibliothek)

Zürich wie ein Schatz gehütet. Nicht blos wegen seines historischen Werts.

«Die Messungen, die de Quervain und seine Kollegen unter anderem mit diesem Theodoliten gemacht haben, sind für die Gletscherforschung noch heute von grosser Bedeutung», sagt Andreas Vieli, Glaziologe am Geografischen Institut. Dass man über 100-jährige Referenzwerte habe, wie etwa für den Stand des Eqip-Gletschers, sei eine Seltenheit. «In den meisten Fällen reichen Gletscherdaten nur etwa 20 Jahre zurück – solange wie es Satellitenmessungen gibt.» Kommt hinzu, dass auf de Quervains Expedition viele weitere Grönlandexpeditionen folgten, aus denen ganze Messreihen für bestimmte Gletscher hervorgegangen sind.

#### Auf de Quervains Spuren

Der Theodolit begleitet Vieli bei seiner Forschungstätigkeit. Nicht physisch, aber sinnbildlich: Der Glaziologe und sein Team

forschen derzeit am Eqip-Gletscher, den de Quervain bei seiner Expedition 1912 minutiös vermessen hat. «Wir untersuchen die Fließgeschwindigkeit dieses kalbenden Gletschers und verwenden dabei noch die gleichen Referenzpunkte wie de Quervain damals.» Mit dem Unterschied, dass Radarinterferometer und Satellitendaten die Messungen um ein Vielfaches erleichtern und beschleunigen. «Es ist beeindruckend, mit welch einfachen Methoden die Forscher damals Messdaten erhoben haben, auf die wir uns heute noch beziehen können», sagt Vieli. Eine Pionierleistung, an die ihn der Theodolit im Institut immer wieder erinnere.

#### Bilder zu den Expeditionen

Im Online-Bildarchiv der ETH-Bibliothek findet man Aufnahmen von de Quervains Grönlandexpedition: [www.e-pics.ethz.ch/](http://www.e-pics.ethz.ch/)

## La géodésie au service de la physique des particules

Depuis quelques années, un nouvel accélérateur de particules est en projet au CERN. Sa réalisation implique non seulement des physiciens et des ingénieurs mais également des géodésiens. Afin que la collision des particules réussisse dans un espace de l'ordre du nanomètre, les scientifiques de l'Institut de géodésie et de photogrammétrie de l'ETH de Zurich ont déterminé le champ gravitationnel de la Terre avec une très grande précision dans la région lémanique genevoise.

SÉBASTIEN GUILLAUME

Le 4 juillet 2012, le CERN annonce la découverte d'une nouvelle particule élémentaire lourde qui s'avère compatible avec le boson de Higgs dont l'existence a été postulée par de brillants physiciens théoriciens en 1964. Cette observation, 50 ans plus tard, a été possible grâce à la mise en œuvre d'un accélérateur de particules (27 kilomètres de circonférence), le célèbre LHC du prestigieux laboratoire scientifique genevois. Bien que le gigantisme de cet accélérateur de particules soit souvent souligné, cette expérience unique n'a pu être réalisée que grâce aux nouvelles technologies et au travail de centaines d'ingénieurs et de techniciens.

Parmi les multiples défis technologiques engendrés par un nouvel accélérateur, à chaque fois il y a le problème du positionnement précis des cavités accélératrices ou autres électro-aimants. Prenons le cas du nouvel accélérateur en projet au CERN, le CLIC, acronyme de Compact Linear Accelerator. Cette machine de 50 kilomètres, enterrée dans un tunnel à plus de 150 mètres de profondeur, est conçue pour produire des collisions entre électrons et positrons à très haute énergie. De plus, afin de garantir la production d'un nombre suffisant d'événements rares (comme les bosons de Higgs), il faut s'assurer d'un nombre suffisant de collisions par seconde. Par conséquent, il est nécessaire que le diamètre des faisceaux

de particules soit extrêmement compact, de l'ordre de quelques nanomètres. Imaginez donc deux faisceaux de particules en sens opposés, accélérés sur 25 kilomètres en ligne droite avant leur focalisation et leur collision dans un espace cent fois plus petit qu'une bactérie. De telles performances ne sont possibles que si les faisceaux de particules sont soigneusement pilotés tout au long de leur parcours. Ils sont accélérés par de subtils champs électriques générés par des cavités accélératrices, tandis que des champs magnétiques créés par des quadripôles les empêchent de diverger.

#### Déterminer le géoïde pile-poil

Un tel pilotage sur 50 kilomètres a un prix. S'il n'est pas assez précis, les faisceaux vont inexorablement perdre leur confinement et il sera impossible de les focaliser à quelques nanomètres près. Pour le CLIC, les déviations latérales ne devraient pas être supérieures à 10 microns (0.01 millimètres) pour des points distants de 200 mètres. Cela représente environ un dixième du diamètre d'un cheveu. La géométrie théorique correspond à la trajectoire naturelle des particules qui ne sont soumises à aucune force et qui ont une vitesse proche de celle de la lumière, une ligne droite dans un espace Euclidien. Comment donc positionner avec autant de précision un accélérateur de

particules par rapport à une ligne droite? A priori, on pourrait croire que c'est facile avec un bon laser. Hélas, bien que cette solution semble valable d'un point de vue conceptuel, elle n'est pas encore assez fiable pour garantir de telles performances. De plus, afin de maintenir les contraintes d'alignement de manière constante, il ne suffit pas d'aligner l'accélérateur une bonne fois pour toutes, les mouvements naturels du sol ne le permettant pas. Il faut donc concevoir un système de mesure continu qui permet d'actionner un mécanisme pour corriger automatiquement, en cas de besoin, l'alignement.

Pour la composante horizontale, un système de positionnement sophistiqué basé sur des fils tendus devrait faire l'affaire. Pour la composante verticale (ou altitudinale), cela se fait à l'aide d'un système basé sur le principe des vases communicants avec un fluide en équilibre hydrostatique comme référence altimétrique. Ce type de système est le HLS (Hydrostatic Levelling System). De nos jours, il est d'une précision et d'une robustesse extrêmes. Il permet de faire des transferts altimétriques au micron près sur de très longues distances. Le seul problème est que la forme géométrique d'une surface d'eau en équilibre hydrostatique est tout sauf une ligne droite, elle dépend en effet de la répartition de toutes les masses environnantes, selon la loi de la gravitation universelle d'Isaac Newton. En simplifiant, on dira qu'elle suit la courbure de la Terre. Mais en fait, cette surface est une équipotentielle du champ de gravité terrestre, appelée géoïde, c'est-à-dire une surface pour laquelle le potentiel de gravité est identique en tous points. Pas de miracle, le HLS ne pourra être utilisé pour l'alignement que si

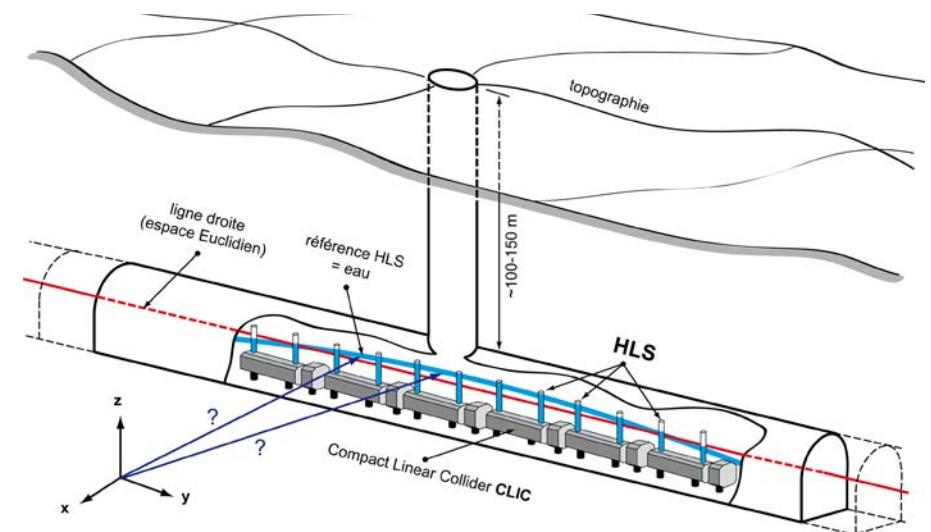
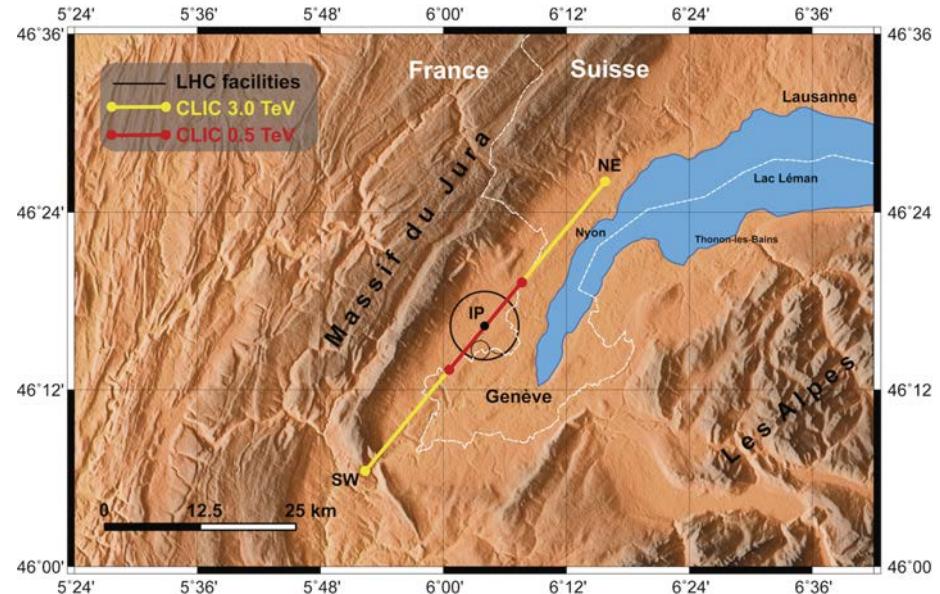
nous sommes capables de connaître la géométrie de cette surface équipotentielle avec une précision de 10 microns pour des points distants de 200 mètres.

#### Une instrumentation unique en son genre

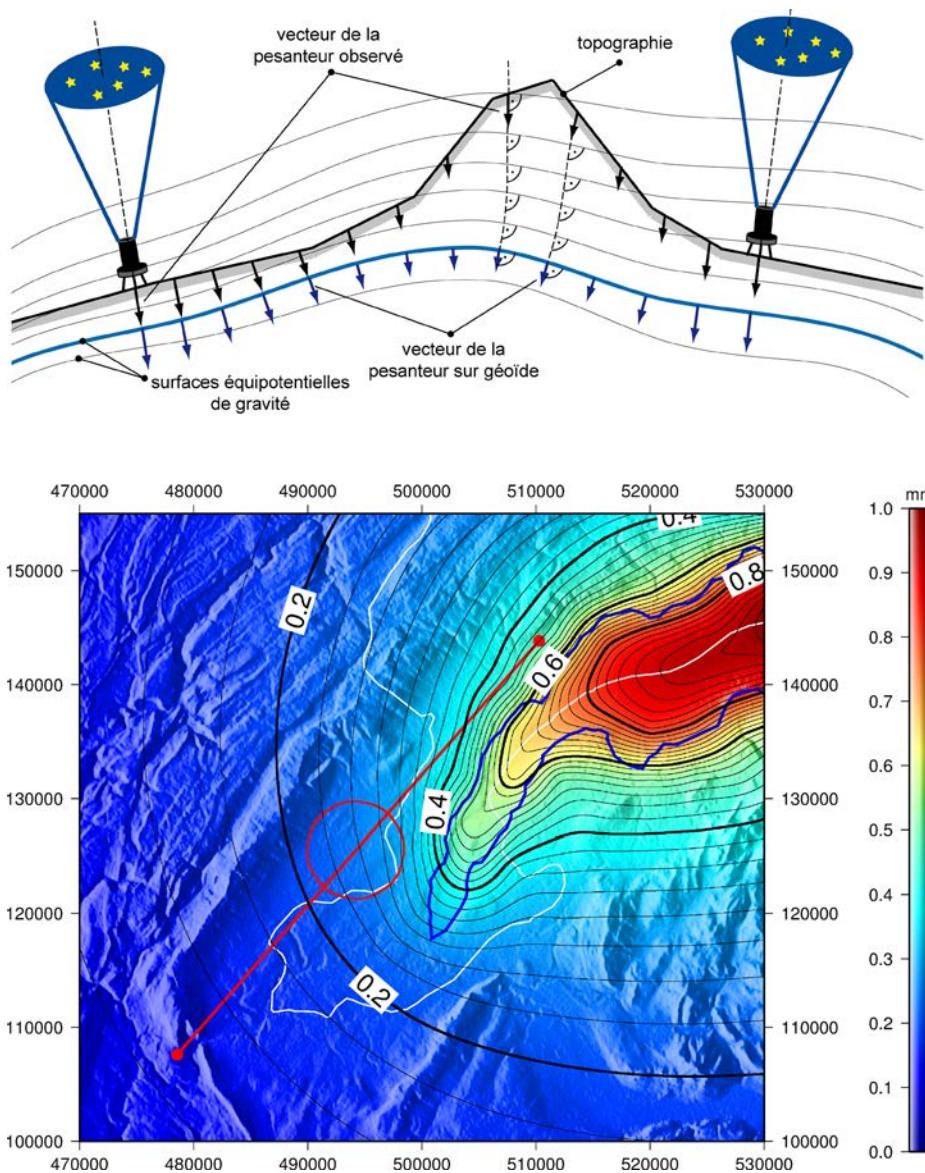
A partir de ce constat, les géodésiens du CERN se sont dirigés vers l'un des plus grands spécialistes dans ce domaine, le Dr. Urs Marti de swisstopo. Après une première étude, ce dernier a conclu que le challenge serait de taille mais peut-être pas impossible à relever si la détermination se base sur une mise en œuvre «lourde» de la méthode astro-gravimétrique. En bref, cette méthode permet de déterminer le géoïde sur la base de mesures absolues du vecteur de champ de pesanteur (sa direction et son module) le long du profil à déterminer.

Théoriquement bien connu des géodésiens depuis longtemps, ce procédé ne pouvait cependant être réalisé que par l'Institut de Géodésie et de Photogrammétrie de l'EPF Zurich, quasiment le seul laboratoire au monde à développer et posséder l'instrumentation appropriée. Une collaboration entre le Dr. Urs Marti, les géodésiens du CERN et le Dr. Beat Bürki, en charge des développements astrogéodésiques à l'EPF Zurich, a été lancée afin de mettre sur pied un projet de recherche pour répondre aux questions en suspens et étudier en profondeur la faisabilité et la mise en œuvre efficace d'une telle détermination.

Les études se sont penchées à la fois sur des aspects théoriques et expérimentaux. Par exemple, il a été vérifié si certaines hypothèses de base (comme le cadre théorique de la mécanique classique, ou l'hypothèse hydrostatique) sont encore valables à des ordres de grandeur micrométriques.



En haut: Carte de la région de Genève avec l'emplacement du LHC et du projet CLIC. En bas: Représentation schématique du tunnel du CLIC et du système de positionnement hydrostatique HLS. (Figures: Sébastien Guillaume, «Determination of a Precise Gravity Field for the CLIC Feasibility Studies», PhD Thesis, ETH Zurich, 2015.)



En haut: Représentation schématique de la méthode de détermination du géoïde par mesure astro-géodésique.  
En bas: Simulation de la variation du géoïde consécutive à une variation du niveau de la surface du lac Léman d'un mètre.  
(Figures: Sébastien Guillaume, « Determination of a Precise Gravity Field for the CLIC Feasibility Studies », ETH Zurich, 2015)

En outre, il a été nécessaire de réaliser des simulations de champs gravitationnels inédites afin de savoir avec quelle résolution les variations de la densité du sous-sol devaient être connues, ou encore, si des déplacements de masses, comme les variations de la surface du Léman, pouvaient avoir une incidence significative sur les variations spatio-temporelles du géoïde le long du CLIC.

### Un record mondial

En ce qui concerne la partie expérimentale, il a été nécessaire de procéder à l'amélioration des performances de la caméra zénithale existante au niveau de sa précision, de sa transportabilité ainsi que de sa rapidité de mesure. Et en fin de compte, il a été décidé de concevoir une nouvelle caméra zénithale en exploitant au maximum les technologies actuelles. Celle-ci permet de mesurer la direction absolue du vecteur de la pesanteur en couplant de façon judicieuse des observations astrométriques d'étoiles avec des inclinomètres ultra-précis.

D'une part, en pointant un télescope au zénith, il est possible de voir une multitude d'étoiles dont la direction apparente peut être prédite avec une extrême précision. De cette façon, la direction du télescope par rapport à notre voûte céleste peut être déterminée de manière absolue. D'autre part, les inclinomètres fixés sur le télescope permettent de connaître son inclinaison par rapport à la direction de la pesanteur locale. En combinant ces deux informations, il est possible d'obtenir la direction de la pesanteur locale par rapport aux étoiles et donc de façon absolue peu importe le lieu d'observation sur Terre. Elle permet finalement d'atteindre une précision exceptionnelle de 0.05 secondes d'arc

après 30 minutes d'observation, un record mondial. Cela représente l'angle apparent d'une pièce de cinq centimes à une distance de 70 kilomètres.

Au bout du compte, grâce à de nombreuses simulations et expérimentations en conditions réelles, il a été démontré qu'il est techniquement réaliste de déterminer le géoïde selon les exigences de précision nécessaire pour l'alignement du CLIC, et par la même occasion, de pouvoir utiliser pleinement les avantages d'un système de positionnement hydrostatique.

Sébastien Guillaume  
Institut de Géodésie et  
Photogrammétrie, EPF Zurich  
[guillaume@geod.baug.ethz.ch](mailto:guillaume@geod.baug.ethz.ch)

### Plus d'informations

L'institut de Géodésie et Photogrammétrie de L'EPF Zurich regroupe trois chaires : géodésie mathématique et physique, géosensorique et géométrie, photogrammétrie et télédétection. Il est au cœur de la formation « Géomatique et aménagement » de l'EPF Zurich.

## Neue Koordinaten für die Schweiz – auf den Zentimeter genau

Der Bund führt in Zusammenarbeit mit den Kantonen bis 2016 neue Landeskoordinaten ein. Sie sind nicht nur genauer als die alten Koordinaten, sondern lassen sich auch besser lesen.

ADRIAN WIGET

Über die ganze Schweiz verteilt gibt es Tausende von Vermessungsfixpunkten, deren Lage und Höhe in Form von Koordinaten und Höhenwerten festgelegt sind. Sie bilden den sogenannten Bezugsrahmen für alle Vermessungen in der Schweiz. Die Grundlagen der heutigen Landeskoordinaten wurden vor mehr als 100 Jahren geschaffen. Damals wurden vor allem Winkel gemessen, weil die Genauigkeit der Distanzmessungen noch deutlich schlechter war als heute. Die aus der Landesvermessung von 1903 stammenden Koordinaten des Bezugsrahmens LV03 weisen daher zwischen Genf und dem Unterengadin Ungenauigkeiten von zwei bis drei Metern auf.

### Die neue Landesvermessung LV95

In den 1990er-Jahren konnte das Bundesamt für Landestopografie swisstopo die Landesvermessung dank satellitengestützter Messmethoden wie GPS verbessern. Daraus resultierten das geodätische Bezugssystem CH1903+ und der neue Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (LV95). Die Schweiz verfügt nun landesweit über Vermessungspunkte mit zentimetergenauen Koordinaten.

Das Projektionssystem und der Ausgangspunkt der Kartenprojektion wurden im CH1903+ gegenüber dem bisherigen System (CH1903) nicht verändert. Um die neu be-

## Nouvelles coordonnées pour la Suisse – au centimètre près

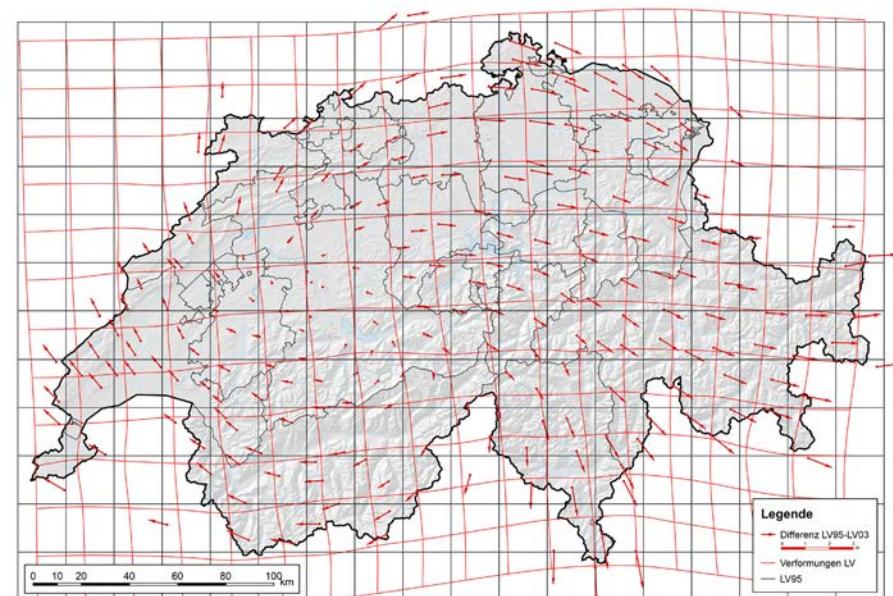
La Confédération, en collaboration avec les cantons, introduit de nouvelles coordonnées nationales pour 2016. Celles-ci sont non seulement plus précises que les anciennes coordonnées, mais également plus lisibles.

Des milliers de points fixes sont répartis à travers la Suisse. Leurs positions et leurs altitudes sont définies sous forme de coordonnées. Le système de coordonnées constitue ce que l'on appelle le cadre de référence pour tous les travaux de mensuration en Suisse. Les bases sur lesquelles reposent les coordonnées nationales actuelles sont vieilles de plus d'un siècle. A cette époque, des angles étaient avant tout mesurés, car la précision des mesures de distance était bien inférieure à celle d'aujourd'hui. C'est pourquoi les coordonnées fondées sur le cadre de référence de la mensuration nationale de 1903 (MN03) présentent des inexactitudes de deux à trois mètres entre Genève et la Basse-Engadine.

### La nouvelle mensuration nationale MN95

Durant les années 1990, les nouvelles méthodes de mensuration par satellites comme le GPS ont permis à l'Office fédéral de topographie swisstopo d'améliorer la mensuration nationale. Il en résulte le système de référence géodésique CH1903+ et le nouveau cadre de référence de la mensuration nationale 1995 (MN95). La Suisse dispose désormais de points fixes avec des coordonnées précises au centimètre.

Le système de projection et l'origine de la projection cartographique n'ont pas été modifiés dans CH1903+ par rapport à l'ancien système (CH1903). Pour distinguer les nou-



Differenzen zwischen LV03 und LV95 sowie die Verformung von LV03 gegenüber LV95. (Grafik: swisstopo) | Les différences entre MN03 et MN95, ainsi que les déformations de MN03 par rapport à MN95.

stimmten Koordinaten von den alten unterscheiden zu können, wird den bisherigen, sechsstelligen Koordinaten nun eine siebte Ziffer vorangestellt: Eine «2» in Ostrichtung und eine «1» in Nordrichtung. Damit ändern die Werte des Ausgangspunktes der Landeskoordinaten für die alte Sternwarte in Bern (Fundamentalpunkt) wie folgt:

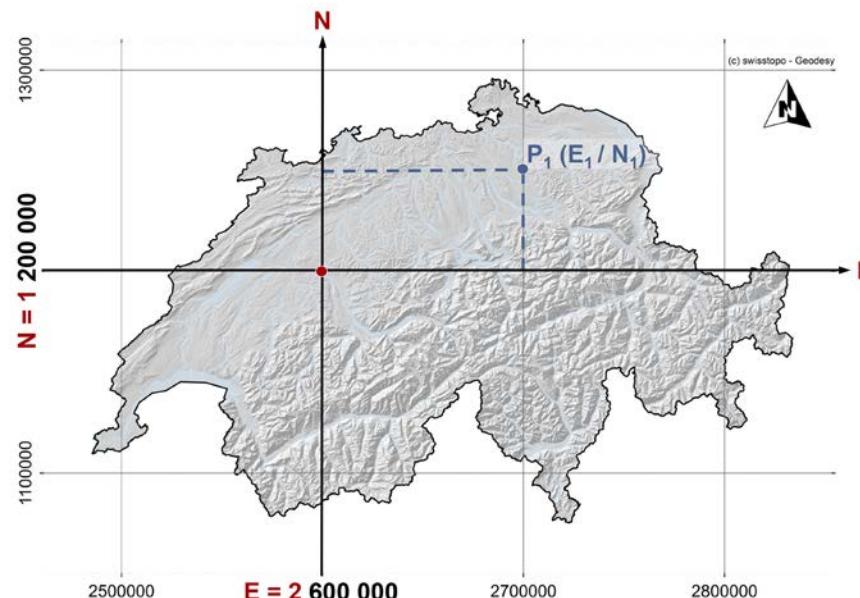
	Ost   Est	Nord
CH1903 (bisher/auparavant)	$y = 600\,000 \text{ m}$	$x = 200\,000 \text{ m}$
<b>CH1903+ (neu/désormais)</b>	$\mathbf{y = 2\,600\,000 \text{ m}}$	$\mathbf{N = 1\,200\,000 \text{ m}}$

Der unterschiedliche Zuschlag im Fundamentalpunkt bringt weiter den Vorteil, dass innerhalb der Schweiz keine negativen Koordinatenwerte vorkommen und die Ost- und Nord-Komponente klar auseinandergehalten werden können.

velles coordonnées des anciennes à six chiffres, un septième chiffre précède les coordonnées : un «2» dans la direction est et un «1» dans la direction nord. Les valeurs du point d'origine des coordonnées nationales de l'ancien observatoire de Berne (point d'origine) sont modifiées comme suit :

Le choix de valeurs différentes pour le point d'origine a en outre l'avantage, que sur territoire suisse, aucune coordonnée négative n'apparait et que les composants Est et Nord sont clairement distinguables.

De plus les axes de coordonnées sont nouvellement désignés par «E» pour Est et



Die neuen Landeskoordinaten LV95 sind mit «N» für Nord und «E» für Ost gekennzeichnet. (Grafik: swisstopo) | Les nouvelles coordonnées nationales sont désignées par «N» pour Nord et «E» pour Est.

Zusätzlich werden die Koordinatenachsen neu mit «E» für Ost und «N» für Nord gekennzeichnet. Die bisherigen Bezeichnungen «y» und «x» geben oft zu Fragen Anlass, zumal die Achsen anders bezeichnet wurden als in der Geometrie üblich.

### Warum diese Anpassungen?

Die Einführung der neuen Koordinaten ist wichtig, damit globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) wie GPS optimal genutzt werden können. Zudem ist die neue Landesvermessung kompatibel mit denjenigen unserer Nachbarländer, die ebenfalls solche Umstellungen vornehmen.

Die neue Landesvermessung wird zusätzlich zu den Fixpunktnetzen auch mittels permanenter GNSS-Stationen realisiert und bereitgestellt. swisstopo betreibt das automatische GNSS-Netz der Schweiz (AGNES) mit 31 Permanentstationen. Deren Messdaten werden für die Positionierungsdienste

«N» pour Nord. L'ancienne désignation «y» et «x» a souvent donné matière à questions, d'autant plus que les axes n'étaient pas désignés comme dans la géométrie usuelle.

### Pourquoi ces adaptations?

L'introduction des nouvelles coordonnées est importante pour une utilisation optimale des systèmes de positionnement par satellites (GNSS) telles que GPS. En plus, la nouvelle mensuration nationale est compatible avec celles de nos pays voisins, qui effectuent les mêmes modifications.

La nouvelle mensuration nationale est réalisée et mise à disposition, en plus du réseau de points fixes, au moyen de stations GNSS permanentes. Le réseau automatique GNSS suisse (AGNES) est exploité par swisstopo. Il comprend 31 stations permanentes. Leurs mesures sont utilisées pour le service de positionnement swipos, qui en temps réel permet de déterminer en Suisse des

swipos verwendet, mit denen landesweit auf wenige Zentimeter genaue Koordinaten in Echtzeit bestimmt werden können. In den Landeskarten ändert sich nur die Beschriftung der Koordinaten am Kartenrand. Die Verschiebung der Koordinatengitter ist vernachlässigbar, da die maximale Abweichung von drei Metern auf einer Landeskarte im Massstab 1:25 000 lediglich 0,12 Millimetern entspricht.

Bedeutender sind hingegen die Änderungen für Vermessungs- und Baufachleute und für alle Personen, die hohe Ansprüche an die Genauigkeit ihrer Geodaten stellen. Sie müssen die neuen Koordinaten beachten, wie folgendes Beispiel zeigt:

	Nyon (VD)		Maloja (GR)	
LV03	y 508 133.62 m	x 138 346.61 m	y 773 456.21 m	x 140 975.89 m
LV95	<b>E 2 508 133.00 m</b>	<b>N 1 138 347.24 m</b>	<b>E 2773 457.26 m</b>	<b>N 1 140 975.42 m</b>

Die Georeferenzdaten des Bundes liegen bereits in LV95 vor. Die Kantone müssen die amtliche Vermessung bis Ende 2016 auf LV95 umgestellt haben. Die übrigen Geobasisdaten des Bundesrechts müssen bis Ende 2020 in LV95 überführt werden. Für die Umrechnung zwischen LV03 und LV95 stellt swisstopo Transformationsdienste und Software zur Verfügung. Mit dem Web-Service REFRAME unter [www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)/online können Geodaten unterschiedlicher Formate transformiert werden.

### Weitere Informationen:

[www.swisstopo.ch/lv95](http://www.swisstopo.ch/lv95)

coordonnées à quelques centimètres près. Au niveau des cartes nationales seule l'inscription des coordonnées sur le bord des cartes change. Etant donné qu'un écart de trois mètres ne représente que 0,12 millimètre sur une carte nationale à l'échelle 1:25 000, le décalage de la grille des coordonnées est négligeable.

En revanche, ces modifications sont essentielles pour les professionnels de la mensuration et de la construction, ainsi que pour tout utilisateur ayant de hautes exigences d'exactitude pour les données géographiques. Ceux-ci doivent tenir compte des nouvelles coordonnées, comme le montre l'exemple suivant:

Les géodonnées de référence de la Confédération existent déjà en MN95. Les nouvelles bases vont être introduites par les cantons dans la mensuration officielle d'ici 2016. Les autres géodonnées de base relevant du droit fédéral doivent être transformées en MN95 jusqu'au 31 décembre 2020. Pour la conversion entre MN03 et MN95, swisstopo met à disposition des services de transformation et des logiciels. Des géodonnées de différents formats peuvent être transformées grâce au service web REFRAME sur [www.swisstopo.ch/online](http://www.swisstopo.ch/online).

### Plus d'informations:

[www.swisstopo.ch/mn95](http://www.swisstopo.ch/mn95)



## «Mon but est de fournir de la chaleur locale et propre»

**Michel Meyer, responsable du programme géothermie aux Services Industriels de Genève (SIG) depuis 2011, est certainement l'un des géologues qui connaît le mieux le sous-sol de la région genevoise. Mais patience et conviction sont aussi des aptitudes indispensables et complémentaires qu'il possède en plus de ses compétences.**

**GeoPanorama:** Qu'est-il écrit sous votre nom sur la carte de visite?

**Michel Meyer:** Il est écrit «Responsable géothermie, direction transition énergétique, SIG».

### Concrètement, en quoi consiste votre métier au quotidien?

Je cherche à faire progresser le développement de la géothermie à Genève et en Suisse. Cela passe par des travaux selon deux axes : l'amélioration de la connaissance du sous-sol du bassin genevois et celle du cadre entourant le développement de la géothermie.

### Quels sont vos principaux lieux de travail?

Ils sont multiples. Il y a bien entendu le siège de SIG au Lignon mais aussi de nombreux autres lieux pour diverses séances, notamment avec les services cantonaux qui pilotent le programme genevois GEothermie 2020, mais aussi avec les autorités fédé-

### Quel fut votre parcours scolaire et universitaire?

J'ai fait ma scolarité obligatoire, ma maturité scientifique, un diplôme d'ingénieur géologue puis un doctorat en sciences de la Terre à Genève. Mes travaux de recherche à l'Université se sont focalisés sur la géologie du bassin genevois.

### Qu'est-ce que vous appréciez le plus dans votre métier?

La diversité et la richesse des tâches à accomplir. Je suis amené à travailler avec des chercheurs sur l'amélioration de la connaissance du sous-sol genevois, à communiquer auprès de décideurs et la population pour faire avancer cette thématique, à réfléchir à des mécanismes de financement ou de soutien de la géothermie ou encore à discuter

**À quelle heure vous levez-vous le matin (journée de travail)?**  
*Vers 6h15, et parfois bien plus tôt lorsque je pense un peu trop à ma journée de travail à venir.*

**Que faites-vous avant de partir au travail?**  
*Un bisou à ma famille.*

**Comment vous rendez-vous au travail?**  
*Toujours à vélo! Quelle chance de s'éviter ainsi les embouteillages genevois.*

**Que faites-vous en premier en arrivant au bureau le matin?**  
*Je consulte mes mails.*

**Croissant au chocolat ou pomme pour le dix heures?**  
*Une pomme ... pour compenser le chocolat de l'après-midi.*

**Quelle est votre préférence: bureau ou travail sur le terrain?**  
*Le terrain est devenu tellement rare qu'il a une place encore plus importante dans mon cœur.*

**A quelle heure se termine votre journée?**  
*Ce n'est jamais à la même heure d'un jour à l'autre.*

**Quel était votre rêve d'enfant?**  
*Je vis mon rêve d'enfant: chercher des trésors et ramasser des cailloux.*

avec des professionnels de l'énergie pour apprendre à valoriser cette ressource.

### Quelles tâches déléguez-vous volontiers?

Vu la complexité de ce dossier pionnier, j'ai besoin de l'aide de nombreux collègues notamment pour mener des tâches spéciali-

sées qui requièrent des compétences que je n'ai pas.

### Quelle est la particularité de votre travail par rapport aux autres?

Le caractère novateur de cette thématique, et unique dans sa mise en œuvre, implique

qu'il n'existe pas de solutions ou de procédures toutes faites pour avancer dans ce dossier. Il s'agit donc d'un travail créatif, dans lequel il faut ouvrir de nombreuses pistes, sans se disperser et en gardant bien en tête le calendrier de réalisation et les objectifs.

#### **Y a-t-il un point (ou des points) que vous souhaiteriez améliorer?**

Non aucun! Si ce n'est que j'aimerais que les journées soient plus longues pour mener à bien l'ensemble des tâches passionnantes que je dois accomplir.

#### **Etiez-vous spécialement formé pour votre travail?**

Même si je n'ai pas été formé pour cette fonction, je pense que mes expériences professionnelles préalables, donc une somme d'expériences acquises, me permettent de disposer de beaucoup des compétences requises pour ce poste. Mais comme évoqué précédemment, il s'agit d'un travail d'équipe qu'il serait impossible de mener tout seul.

#### **Selon vous quelles sont les qualités requises pour exercer ce métier?**

De la polyvalence et une bonne dose d'organisation. Il faut aussi de la créativité, un bon esprit de synthèse et l'envie de communiquer.

#### **Quelle est la plus belle chose qui vous soit arrivée dans la vie professionnelle?**

Il ne s'agit pas d'une seule belle chose mais d'une somme de rencontres de personnes extraordinaires, très compétentes, engagées et agréables.

#### **Avez-vous un rêve dans le domaine professionnel?**

Mes rêves professionnels rejoignent les objectifs du programme Géothermie 2020: pouvoir fournir de la chaleur locale, propre et renouvelable aux habitants du bassin genevois. Et il ne s'agit pas d'un rêve lointain mais d'un objectif atteignable.

#### **Quel conseil donneriez-vous à une personne qui veut faire le même métier que vous?**

Je lui dirais qu'il faut savoir être patient, mais tenace et engagé, pour réussir à construire la base de confiance nécessaire afin de permettre le développement de la géothermie. Cette thématique dispose d'arguments suffisamment forts pour réussir à convaincre les gens et ne pas avoir besoin de l'imposer par la force.

#### **Est-il facile de concilier vie professionnelle et vie personnelle?**

Pas toujours, mais l'entourage sait se montrer conciliant quand il sait que c'est la passion qui nous anime au niveau professionnel.

Michel Meyer  
michel.meyer@sig-ge.ch

## **Prix Carto 2015 – Drei Arbeiten prämiert**

Die Schweizerische Gesellschaft für Kartografie (SGK) hat Anfang November zum sechsten Mal den «Prix Carto» vergeben. Die Auszeichnung ist für herausragende, innovative und richtungsweisende kartografische Erzeugnisse bestimmt. Der Preis wurde in drei Sparten vergeben: in der Kategorie «Prix Carto – digital», der Kategorie «Prix Carto – print» für gedruckte Karten sowie – erstmals – in der Kategorie «Prix Carto – start» zur Förderung des Nachwuchses auf dem Gebiet der Kartografie, Geomatik und Geovisualisierung.

Der «Prix Carto – digital» geht 2015 an die OCAD AG in Baar, die ihre Kartografie-Software mit einem neuartigen Modul zur Herstellung von thematischen Karten ergänzt hat. Mit dem ThematicMapper ist es nun möglich, Diagrammkarten durch eine intelligente, prozessbegleitende Benutzerführung zu erzeugen. Dazu wird ein

kartografischer Wizard eingesetzt, der die Kartenerstellung regelbasiert unterstützt.

Als Gewinner des «Prix Carto – print» wurde die Mera Peak / Island Peak-Karte der Climbing-Map GmbH erkoren. Bei diesem gedruckten Produkt handelt es sich um eine thematische Bergsteiger- und Trekkingkarte zu den beiden 6000er-Gipfeln im Everest-Gebiet von Nepal.

Den dieses Jahr erstmals vergebenen «Prix Carto – start» erhalten Fabian Ringli und Pascal Tschudi, Studenten der ETH Zürich, für ihre Faltkarte «Individuelles Reisen entlang der Transsibirischen Eisenbahn» von Moskau nach Wladiwostok (Bild).

Weitere Auskünfte:  
Schweizerische Gesellschaft für Kartografie  
sgk@kartografie.ch | www.prixcarto.ch



Ausschnitt der Karte von Fabian Ringli und Pascal Tschudi, Gewinner des «Prix Carto – start» 2015.  
(Bild: ETH Zürich)

## Geologentag 2016

### Tiefenzeit – Die Uhr der Erde tickt langsamer

16. März 2016, EPFL, Lausanne

Selbst als Fachleute der Geologie teilen wir unsere etwa 80 Jahre dauernde Lebenszeit in Minuten, Stunden, Tage und Jahre ein. Gleichzeitig befassen wir uns mit der Tiefenzeit, dem Bewusstsein, dass unser Planet seit rund 5 Milliarden Jahren besteht und wohl noch ein paar weitere Milliarden erhalten bleiben wird. Im Verlauf der Tiefenzeit ist unser Planet mindestens einmal fast gänzlich zugefroren, ein paar Mal sind jeweils ein grosser Teil der Arten ausgestorben und das Klima und die Zusammensetzung der Atmosphäre haben sich kontinuierlich wie auch schlagartig verändert.

Der Geologentag 2016 versucht Einblick in das Spannungsfeld zwischen Tiefen- und Lebenszeit zu verschaffen.

Mit Vorträgen von:

- Marcelo Sánchez, Paläontologisches Institut der Universität Zürich: «Deep Time and origins – what fossils tell us about evolution in a molecular age»
- Ben Moore, Center for Theoretical Astrophysics and Cosmology der Universität Zürich: «Our place in time and space».

Weitere Informationen:  
[www.geologentag.ch](http://www.geologentag.ch)

## Journée du Géologue 2016

### Aux racines du temps – La Terre vit plus lentement

16 mars 2016, EPFL, Lausanne

Comme tout un chacun, nous autres géologues divisons nos quelque huitante ans de vie en minutes, en heures, en jours et en années. Mais nous nous confrontons aussi aux racines du temps, qui nous apprennent que notre planète existe depuis cinq milliards d'années et qu'elle a encore quelques milliards d'années devant elle. Depuis ses origines, notre planète a gelé presque entièrement au moins une fois et a vu à plusieurs reprises l'extinction d'une grande partie de sa faune, tandis que le climat et la composition de l'atmosphère ont subi des évolutions constantes et significatives.

La Journée Suisse du Géologue 2016 s'efforce de mettre en relation la profondeur du temps géologique et la durée d'une vie humaine.

Avec la contribution de:

- Marcelo Sánchez, Institut paléontologique de l'Université de Zurich: «Deep Time and origins – what fossils tell us about evolution in a molecular age»
- Ben Moore, Center for Theoretical Astrophysics and Cosmology de l'Université de Zurich: «Our place in time and space».

Plus d'informations:  
[www.geologentag.ch](http://www.geologentag.ch)

## CAS Urbanisme durable

### Diagnostic territorial, gestion de l'information et prospective

Février à mai 2016, Université de Genève

La notion de développement durable opère une conversion progressive des conceptions et des pratiques urbanistiques. Quelles compétences renforcer pour appréhender le plus efficacement possible ces nouveaux enjeux sociaux et environnementaux ?

«Méthodologies du diagnostic territorial, gestion de l'information et prospective» est une formation certifiante qui forme les participants à analyser et comprendre l'état et l'évolution du territoire, anticiper l'impact d'une politique publique territoriale, identifier les principes stratégiques et maîtriser la conduite de projets urbains durables. Destinée aux géographes, architectes, urbanistes, politologues, ingénieurs, sociologues et juristes ainsi qu'au personnel des administrations et entreprises de services publics ou privés, cette formation mène à un Certificate of Advanced Studies (CAS) en Urbanisme durable.

Cette formation continue se déroulera tous les mardis, de février à juin 2016, à l'Université de Genève. Délai d'inscription est le 31 décembre 2015.

Informations et inscription:  
[www.unige.ch/formcont/cas2urbanismedurable/](http://www.unige.ch/formcont/cas2urbanismedurable/)

## PLANAT Plattformtagung

### Integrales Risikomanagement zum Schutz vor Naturgefahren

13. April 2016, Kongresshaus Biel

Das Integrale Risikomanagement Naturgefahren und die risikoorientierte Denkweise beginnen sich in der Praxis zu bewähren. Zugleich löst die Umsetzung Fragen und Bedenken aus. Die Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT geht diesen Anliegen an der Plattformtagung 2016 nach und zeigt praxiserprobte Handlungsansätze auf. Im Fokus stehen die Themen:

- Risikobetrachtung statt nur Naturgefahrenbetrachtung
- Angestrebtes Sicherheitsniveau: Was heißt «aushandeln»?
- Integrale Massnahmenplanung: übers Bauen hinausdenken
- Aktiver Dialog mit den Betroffenen – und mit Blick aufs Risiko

Die Teilnehmer erwarten Praxisberichte, Fachreferate und Workshops zu Schlüsselstellen im Integralen Risikomanagement. Tagungssprachen sind Deutsch und Französisch. Die Tagung richtet sich an alle, die das Integrale Risikomanagement Naturgefahren bereits umsetzen oder künftig umsetzen wollen.

Weitere Informationen:  
[www.planat.ch/de/planat/plattformtagung-2016/](http://www.planat.ch/de/planat/plattformtagung-2016/)

## ETH Zertifikatslehrgang

### Schadensfälle und Stolpersteine in der Ingenieurgeologie

24. bis 30. April 2016, Ascona

Es ist eine wichtige Aufgabe von Geologen und Ingenieuren, die Auswirkungen von Naturkatastrophen zu mildern und die Umwelt so zu gestalten, dass dies zu Nutzen und nicht zu Schäden führt. Manchmal geht es schief und führt dann unter Umständen zu Schadensfällen.

Im Weiterbildungskurs «Schadensfälle und Stolpersteine in der Geotechnik und Ingenieurgeologie» werden die Teilnehmenden mit modernen Methoden der Fehleranalyse vertraut gemacht. Mit Fallbeispielen können sie ihr Prozessverständnis vertiefen und Strategien, Methoden und die neusten Techniken der Schadensvermeidung diskutieren. Sie sollen insbesondere erlernen, wie durch optimiertes Vorgehen bei ihrer Arbeitsausführung ein bestmöglichlicher Schutz von Leben und Infrastruktur erreicht werden kann.

Der Kurs richtet sich an Praxisgeologen und Fachleute, die für Erkundung, Planung und Ausführung von Rohstoffgewinnung, Bau- und Sanierungsmassnahmen beauftragt sind. Vorkenntnisse der Geologie, Boden- und Felsmechanik werden vorausgesetzt.

**Informationen und Anmeldung:**  
[www.zlg.ethz.ch/index.html?prog/  
text2.html](http://www.zlg.ethz.ch/index.html?prog/text2.html)

## Swiss Climate Summer School

### Climate Risks – Coping with Uncertainty

28 August till 2 September 2016, Grindelwald

Swiss Climate Research, the network of leading Swiss institutions in climate research and education, invites young scientists to join high-profile climate researchers in a scenic Swiss Alpine setting for keynote lectures, workshops and poster sessions on the occasion of the 15th Swiss Climate Summer School. The focus is set on the theme «Climate Risks – Coping with Uncertainty». The specific topics include: What is «dangerous climate change?»; Emergent climate risks and vulnerability; From global climate change to regional impacts; Economics of climate change and adaptation, geo-engineering.

The courses cover a broad spectrum of climate and climate impact research issues and foster cross-disciplinary links. Each topic includes keynote plenary lectures and workshops with in-depth discussion in smaller groups. All Summer School participants are expected to present a poster of their research and there will be ample opportunity for discussion.

Deadline for applications: 20 january 2016.

#### Informations and application:

[www.oeschger.unibe.ch/education/  
summer\\_school/2016/index\\_en.html](http://www.oeschger.unibe.ch/education/summer_school/2016/index_en.html)

## COMPRENDRE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE 100 QUESTIONS BRÛLANTES, 100 RÉPONSES LA TÊTE FROIDE

FRANÇOIS VUILLE, DANIEL FAVRAT ET SUREN ERKMAN



Presses polytechniques et universitaires romandes

## Comprendre la transition énergétique

François Vuille, Daniel Favrat,

Suren Erkman:

« Comprendre la transition énergétique: 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide »

1ère édition 2015

Format 135x200 cm

224 pages

25.00 CHF

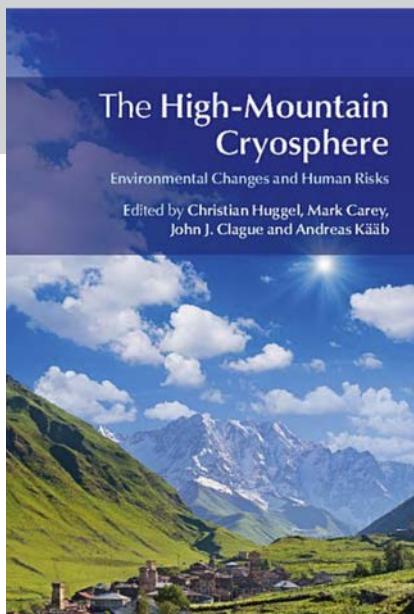
EAN 9782889151103

PPUR, Lausanne

La «transition énergétique» est au cœur des préoccupations politiques de nombreux pays. Dans ce contexte, la Suisse affiche des ambitions particulièrement élevées en la matière: renoncer progressivement à l'énergie nucléaire, diminuer sa dépendance aux énergies fossiles et réduire ses émissions de gaz à effet de serre, tout en cherchant à accroître son indépendance énergétique envers l'étranger.

Diverses stratégies existent afin d'opérer la transformation de notre système énergétique, ce qui suscite des débats nourris et parfois passionnés. Pourtant, la portée de ces orientations technologiques et politiques échappe souvent à notre compréhension. L'ouvrage «Comprendre la transi-

tion énergétique: 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide» a pour ambition d'aider les citoyens-consommateurs à prendre position et voter, en connaissance de cause, sur les enjeux cruciaux de notre futur énergétique. Les auteurs proposent ainsi des réponses concises, factuelles et accessibles aux questions complexes soulevées par la transition énergétique en Suisse.



## The High-Mountain Cryosphere

**Christian Huggel, Mark Carey,  
John J. Clague, Andreas Kääb (Hg.):  
«The High-Mountain Cryosphere.  
Environmental Changes and  
Human Risks»**  
1. Auflage 2015  
Format 254x178 cm  
376 Seiten  
160.00 CHF  
ISBN 978-1-107-06584-0  
Cambridge University Press

This edited volume, showcasing cutting-edge research, addresses two primary questions: What are the main drivers of change in high-mountains and what are the risks implied by these changes? From a physical perspective, it examines the complex interplay between climate and the high-mountain cryosphere, with further chapters covering tectonics, volcano-ice interactions, hydrology, slope stability, erosion, ecosystems, and glacier- and snow-related hazards. Societal dimensions, both global and local, of high-mountain cryospheric change are also explored.

The book offers unique perspectives on high-mountain cultures, livelihoods, governance and natural resources management, focusing on how global change influences societies and how people respond

to climate-induced cryospheric changes. Written by world-leading experts, it is the first book to focus on high-mountain cryosphere changes and to integrate these impacts with a socio-environmental risk perspective. It covers all major high-mountain systems worldwide, providing unprecedented insights into environmental changes and their implications for people across high-mountain regions.

An invaluable reference for researchers and professionals in cryospheric science, geomorphology, climatology, environmental studies and human geography, this volume will also be of interest to practitioners working in global change and risk, including NGOs and policy advisors.

## Sel

19 septembre 2015 au 10 juillet 2016

Musée d'histoire naturelle Fribourg  
[www.fr.ch/mhn](http://www.fr.ch/mhn)



## Un minéral pas si ordinaire

Extraire le sel de nos cuisines pour dévoiler les enjeux qui l'entourent – sanitaires, économiques, politiques et culturels – voilà le défi relevé par l'exposition SEL présentée au Musée d'histoire naturelle de Fribourg.

Composé de chlorure de sodium, le sel est un minéral naturel de forme cubique, qui se trouve en abondance sur terre. Si toutes les mers devaient s'assécher, il en resterait une couche de 75 mètres sur les trois quarts de la planète. Le sel est toutefois loin d'être anodin et se trouve aujourd'hui au carrefour d'intérêts liés à l'économie et à la santé. Une cuillère de sel valait une fortune, avant que les techniques d'extraction

ne le rendent si ordinaire. De l'Himalaya à Hawaï, en passant par l'Iran, le sel s'habille de rose, de noir ou de bleu pour le plaisir de nos yeux. Sur la langue, il relève les saveurs sucrées et atténue les saveurs amères. Des sensations à découvrir dans le bar à sel, tout en admirant les formes et couleurs des cristaux de sel et la beauté des lieux d'extraction.

Sous la forme d'un parcours interactif, l'exposition invite à goûter, toucher et admirer les mille et une facettes du sel.

## Filmcollage

3. Oktober 2015 bis 4. September 2016



Alpines Museum der Schweiz

[www.alpinesmuseum.ch](http://www.alpinesmuseum.ch)

## Die Erweiterung der Pupillen beim Eintritt ins Hochgebirge

Was wäre der Schweizer Film ohne die Berge? Das Alpine Museum wagt den Panoramablick. Es setzt Szenen aus 100 Schweizer Spiel-, Animations- und Kurzfilmen in einer kühnen Collage zu einer neuen Geschichte zusammen. «Die Erweiterung der Pupillen beim Eintritt ins Hochgebirge» erzählt auf neue Art die vertraute Geschichte einer Bergtour. Raus aus der Stadt, hinauf in die Berge, hoch auf die Alp und auf den Gipfel. Alles wäre gut, wären da nicht die Lawinen und der heimtückische Steinschlag.

Anders als im Kino wird das Bergabenteuer nicht sitzend im Sessel erlebt, sondern wandernd durch zehn Räume und zwei

Stockwerke. Bis zu 20 Personen machen sich zusammen auf den Weg und sind während der Tour durch die Ausstellung schicksalhaft wie eine Seilschaft verbunden. Der Filmparcours beginnt im 20-Minuten-Takt und dauert eine Stunde.

Mit der Filmcollage präsentiert das Alpine Museum eine Weltpremiere. Es ist der erste begehbarer Bergfilm und zugleich eine Liebeserklärung an 100 Jahre Schweizer Kino.

## IMPRESSUM

Herausgeber | Editeur: Platform Geosciences, Swiss Academy of Sciences (SCNAT)

Redaktion | Rédaction: Isabel Plana, Pierre Dèzes, Platform Geosciences

Redaktionskomitee | Comité de rédaction: Saskia Bourgeois, Meteotest, Bern; Danielle Decrouez, géologue et directrice honoraire du Muséum d'histoire naturelle, Genève; Lorenz Meier, Geopraevent, Zürich; Edith Oosenbrug, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Kaarina Riesen Kuhn, Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt, Aarau; Marcel Pfiffner, Landesgeologie, Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Wabern; Bärbel Zierl, Umwelt- und Gesundheitsschutz Stadt Zürich

### Beiträge | Contributions:

Die nächsten Redaktionsschlüsse: 31. März 2016, 30. Juni 2016, 30. September 2016.

Die Autoren sind für den Inhalt ihrer Beiträge verantwortlich. |

Prochains délais rédactionnels: 31 mars 2016, 30 juin 2016, 30 septembre 2016.

Les auteurs sont responsables du contenu de leurs articles.

Abonnement: CHF 25.– pro Jahr für vier Ausgaben | par année pour quatre éditions

### Redaktionsadresse | Adresse de la rédaction:

Akademie der Naturwissenschaften, Platform Geosciences, GeoPanorama, Haus der Akademien, Laupenstrasse 7, Postfach, 3001 Bern  
Tel. 031 306 93 26, [redaktion@geosciences.snat.ch](mailto:redaktion@geosciences.snat.ch), [www.geopanorama.ch](http://www.geopanorama.ch)

### Layout | Mise en page: Isabel Plana

Druck | Impression: gdz, Zürich

Auflage | Tirage: 1000 Ex.

ISSN 1662-2480



<b>14.1.16</b> 20.15 Uhr	<b>«Schnee, das heisse Material – Vom Snow Farming bis zur Pistenbegrünung»</b> , Vortrag, Naturforschenden Gesellschaft Graubünden, Saal Brandis, Chur. <a href="http://www.naturmuseum.gr.ch/veranstaltungen30.html">www.naturmuseum.gr.ch/veranstaltungen30.html</a>
<b>4.2.16</b> 11 Uhr	<b>«Hitzesommer 2015: Auswirkungen auf Bodentemperatur und Hangstabilität im Permafrost»</b> , Kolloquium, SLF, Davos. <a href="http://www.slf.ch/dienstleistungen/events/index_DE">www.slf.ch/dienstleistungen/events/index_DE</a>
<b>18.2.16</b> 18:00 h	<b>«Colonisation de l'espace: une fuite en avant?»</b> , Cafés scientifiques, conférence ouverte au public, Université de Fribourg. <a href="http://agenda.unifr.ch/e/fr/1133/">agenda.unifr.ch/e/fr/1133/</a>
<b>15.3.16</b>	<b>5. Schweizer Geologentag</b> , Schweizer Geologenverband, SwissTech Convention Center, EPFL Lausanne. <a href="http://www.geologentag.ch">www.geologentag.ch</a>
<b>21.–23.3.16</b>	<b>NAC+ 2016</b> , «The North Atlantic Craton and surrounding belts», Royal College of Surgeons, Edinburgh, UK. <a href="http://www.bgs.ac.uk/NAC2016/">www.bgs.ac.uk/NAC2016/</a>
<b>13.4.16</b>	<b>PLANAT Plattformtagung</b> , Kongresshaus Biel. <a href="http://www.planat.ch/de/planat/plattformtagung-2016">www.planat.ch/de/planat/plattformtagung-2016</a>
<b>24.–30.4.16</b>	<b>Zertifikatslehrgang ZLG</b> , «Schadensfälle und Stolpersteine in der Geotechnik und Ingenieurgeologie», ETH Zürich und Seminarzentrum CSF Monte Verità, Ascona. <a href="http://www.ndk.ethz.ch">www.ndk.ethz.ch</a>
<b>30.5.–2.6.2016</b>	<b>Interpraevent 2016</b> – Leben mit Naturrisiken, Kongress, KKL Luzern. <a href="http://interpraevent2016.ch">interpraevent2016.ch</a>
<b>7.–9.6.16</b>	<b>GEOSummit 2016</b> , Schweizerische Organisation für Geoinformation, Bernexpo, Bern. <a href="http://www.geosummit.ch">www.geosummit.ch</a>
<b>28.8.–2.9.16</b>	<b>Swiss Climate Summer School</b> , Grindelwald, Oeschger Centre for Climate Change Research. <a href="http://www.oeschger.unibe.ch/studies/summer_school/2016/scope">www.oeschger.unibe.ch/studies/summer_school/2016/scope</a>

**Abonnement für**

Name \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_