Cartes de hauteurs de neige à haute résolution de zones étendues produites à partir de stéréophotographies aériennes numériques

Autor(en): **Ginzler, Ch. / Marty, M. / Bühler, Y.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **111 (2013)**

Heft 9

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-346990

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Cartes de hauteurs de neige à haute résolution de zones étendues produites à partir de stéréophotographies aériennes numériques

Ch. Ginzler, M. Marty, Y. Bühler

L'épaisseur de la couche de neige et sa répartition sur le territoire étudié constituent des informations importantes pour un vaste éventail d'applications dans le domaine de la recherche sur la neige et les avalanches. Aujourd'hui, ce sont généralement des méthodes d'interpolation fondées sur des mesures manuelles ponctuelles et des observations fournies par des stations de mesure automatiques qui servent à déterminer la répartition du manteau neigeux. Ces méthodes ne permettent cependant pas de restituer les fortes variations dans l'espace des hauteurs de neige qui caractérisent la zone alpine.
Si des zones étendues peuvent être couvertes par un balayage laser aéroporté (ALS, airborne laserscanning), cette technique est particulièrement onéreuse. Les capteurs optiques actuels, tels que l'ADS80, permettent quant à eux de calculer des modèles numériques de surface (MNS) par stéréocorrélation. Grâce à la résolution radiométrique élevée de 11bits et à la combinaison des bandes spectrales allant du bleu à l'infrarouge proche, la mise en correspondance d'images est également possible dans des conditions difficiles. Et si des modèles numériques de terrain (MNT) sont disponibles, des hauteurs de neige peuvent en être déduites. Des bandes de vol présentant des résolutions au sol d'environ 25 cm ont été acquises dans la zone d'étude de Davos (Grisons, Suisse) durant les hivers 2009/10 et 2011/12. Les résultats ont été comparés avec des mesures GPS différentielles et des mesures issues d'un balayage laser terrestre afin de quantifier la précision que les cartes de hauteurs de neige peuvent atteindre et d'identifier de possibles restrictions.

Le conoscenze sullo spessore del manto nevoso e sulla sua ripartizione spaziale racchiudono importanti informazioni per tutta una serie di applicazioni nella ricerca sulla neve e sulle valanghe. Oggi le ripartizioni delle neve sono solitamente fornite tramite dei processi di interpolazione di misure manuali puntali e da stazioni automatiche di misurazione. Tuttavia, questo metodo non consente di registrare la variabilità spaziale nel territorio alpino. Grazie all'Airborne Laserscanning (ALS) è possibile rilevare vasti territori, ma i costi continuano a rimanere elevati. Gli attuali sensori ADS80,consentono di calcolare, tramite correlazione stereo, i modelli digitali di superficie (DOM). L'elevata risoluzione radiometrica di 11 bit e la combinazione delle fasce spettrali dal blu fino quasi all'infrarosso sono ideali per il matching dell'immagine anche in condizioni difficili. Se si dispone di modelli digitali del terreno (DTM), allora sarà anche possibile calcolare l'altezza della neve. Nel territorio sperimentale di Davos, nei Grigioni, negli inverni 2009/10 e 2011/12 si sono ottenute delle risoluzioni sul terreno di ~25 cm. Abbiamo confrontato i risultati con delle misurazioni GPS differenziali e delle misurazioni al laserscanning terrestre per quantificare la precisione raggiunte dalle carte dell'altezza della neve e per identificare eventuali limitazioni.

1. Introduction

La neige joue un rôle important dans l'espace alpin, non seulement pour le tourisme, mais aussi dans des domaines tels que la production d'énergie et l'approvisionnement en eau, la flore et la faune locales ou la sécurité en montagne. On sait toutefois depuis longtemps que l'épaisseur du manteau neigeux connaît de très fortes fluctuations en haute altitude (Lehning et al. 2008; Egli 2008, Grünewald et al. 2010). Il a cependant été impossible, jusqu'à présent, de saisir cette variabilité spatiale de la couverture neigeuse de manière satisfaisante sur de grandes étendues. Actuellement, la hauteur de neige est principalement déterminée sur la base de mesures ponctuelles effectuées sur des stations météo automatiques ou par des observateurs qui la mesurent en des endroits bien définis (Egli 2008). Les valeurs ainsi mesurées sont ensuite interpolées sur de vastes zones et combinées à des cartes satellitaires de la couverture neigeuse. Cette technique ne restitue toutefois pas les fluctuations de la hauteur de neige à petite échelle. On sait par ailleurs peu de choses concernant la représentativité des mesures effectuées sur les stations de mesure pour les bassins versants qu'elles concernent. Le balayage laser terrestre (TLS, terrestrial laserscanning) peut servir à obtenir un relevé en continu des hauteurs de neige sur une zone donnée. De vastes bassins hydrographiques tels que la vallée de Dischma ne peuvent néanmoins pas être couverts intégralement par cette méthode. Le balayage laser effectué depuis un avion ou un hélicoptère (ALS, airborne laser scanning) permet lui aussi de couvrir des zones d'une certaine ampleur au relief éventuellement tourmenté, mais cette méthode revient très cher, même lorsque les surfaces concernées sont faibles. Le scanner optoélectronique ADS80 de la société Leica Geosystems a donc été mis en œuvre dans le cadre de la présente étude afin de calculer des modèles de surface pour l'été et l'hiver dans le secteur de Davos. Nous en avons dé-

duit des hauteurs de neige en continu sur la vaste zone couverte (env. 120 km²). Cette méthode se montre nettement moins onéreuse que le balayage laser sur de grandes surfaces (plusieurs km²). Enfin, pour pouvoir évaluer la fiabilité des modèles de surface obtenus par voie photogrammétrique, nous avons comparé les hauteurs de neige fournies à des mesures faites manuellement sur le terrain, en même temps que le survol photographique.

2. Zone étudiée

Les deux zones étudiées se situent dans le sud-est de la Suisse, à proximité de Davos. Le fond de la vallée se trouve à une altitude de 1500 m, tandis que les sommets les plus élevés culminent à plus de 3000 m. Les investigations menées ont concerné deux zones de test, celle de Wannengrat (env. 28 km²) et celle de Dischma (env. 90 km²), toutes deux visibles sur la figure 1. Le «cœur» de la zone de test, où différentes investigations sont réalisées par l'institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF) qui fait partie du WSL (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage), se situe au sud-ouest du domaine skiable de Parsenn, dans le vallon du «Steintälli» et dans le secteur dit du «Vorder Latschüel». Dans la suite, nous désignerons l'ensemble de cette zone sous l'appellation générique de «Wannengrat» (cf. figure 1).

3. Données et méthodes

3.1 Photos aériennes

Une couverture photographique complète des deux zones étudiées (Wannengrat et vallée de Dischma) a été réalisée à deux périodes différentes de l'année: au printemps, lorsque le manteau neigeux atteint son épaisseur maximale (en 2010, à la date du 16 avril, et en 2012, à la date du 20 mars) et en été (en 2010 à la date du 26 août) pour disposer de valeurs de référence. Les prises de vues ont été réalisées à l'aide du scanner linéaire opto-électronique ADS80 par l'entreprise Leica Geosystems qui produit cet instrument.

Les bandes de photos aériennes des deux zones étudiées présentent un recouvrement latéral d'environ 70%. La résolution spatiale des images est de 25 cm (distance d'échantillonnage au sol, GSD). Lors du vol photographique, la saisie s'effectue simultanément dans cinq bandes spectrales (rouge, vert, bleu, infrarouge proche et panchromatique) avec une résolution radiométrique de 11 bits et selon trois directions de prise de vues (–16° vers l'arrière, nadirale, +27° vers l'avant). Ce capteur a déjà été mis en œuvre avec succès pour des applications telles que le calcul de modèles numériques de surface (MNS) en haute montagne (Bühler et al., 2012), des cartes d'avalanches (Bühler et al., 2009) ou la classification d'essences d'arbres (Waser et al., 2011).

3.2 Mesures effectuées sur le terrain

Des mesures directes ont été réalisées sur le terrain en même temps que les vols photographiques. Des grilles de 8 m par 8 m ont été mises en place en 15 endroits différents et une sonde d'avalanche a servi à mesurer la hauteur de neige tous les 2 m sur ces grilles dont les extrémités ont en outre été localisées par GNSS différentiel (figure 2). 375 mesures manuelles de l'épaisseur du manteau neigeux ont ainsi été effectuées. La hauteur de la couche de neige pouvant cependant présenter de fortes disparités, même entre des points distants de quelques centimètres à peine (par exemple lorsqu'un bloc de rocher recouvre le sol), nous n'avons pas comparé les points isolés mais les valeurs moyennes et les écarts-types d'une grille entière avec les zones correspondantes des modèles de surface fournis par la caméra ADS. D'autres données de référence portant sur la hauteur de neige ont également été saisies durant les vols photographiques par GNSS différentiel, TLS et radar pénétrant le sol (GPR, ground penetrating radar). Ces données vont être dépouillées au cours des prochains mois.

3.3 Corrélation d'images

Les modèles de surface sont calculés à l'aide du logiciel SOCETSET 5.6 développé par la société BAE SYSTEMS. Les deux modules NGATE («Next Generation Automatic Terrain Extraction», extraction automatique de terrain de nouvelle génération) et AATE («Adaptive Automatic Terrain Extraction», extraction automatique de terrain adaptative) trouvent à s'appliquer dans ce cadre. NGATE repose sur un algorithme de corrélation d'images hybride combinant des méthodes à base de surfaces et d'arêtes pour déterminer le degré de similitude que présentent les points en correspondance. AATE résulte de la poursuite du développement d'un algorithme plus ancien baptisé ATE, décrit par Zhang et Miller (1997). Le degré de similitude est déterminé par corrélation croisée à deux dimensions en recourant à des méthodes à base de surfaces. L'algorithme de mise en correspondance de multiples images («multi-image matching») et la fonction de correspondance arrière (« back-matching») figurent aussi dans cette version du logiciel. La corrélation d'images est réalisée à intervalles réguliers («Post Spacing»).

Dans la présente étude, les MNS sont calculés avec une résolution spatiale de 1 m. La complexité de la topographie en haute montagne et les parties d'images très faiblement contrastées présentant des étendues de neige fraîche ont compliqué la corrélation des images, à telle enseigne que l'utilisation d'une stratégie de corrélation unique n'a jamais conduit à des résultats satisfaisants pour la grande variété de conditions de terrain et d'éclairage rencontrées. C'est la raison pour laquelle trois MNS différents ont été calculés à partir de chaque bande d'images (2 x NGATE, 1 x AATE) et combinés entre eux. Deux stratégies ont été suivies avec NGATE: faible contraste («low_contrast») et zone urbaine («urban»). Les MNS calculés ont été combinés après élimination des points non corrélés dans la totalité d'entre eux. La hauteur de neige a alors été obtenue par différence entre le MNS combiné et un MNS déduit des bandes d'images stéréoscopiques enregistré lors du vol estival.

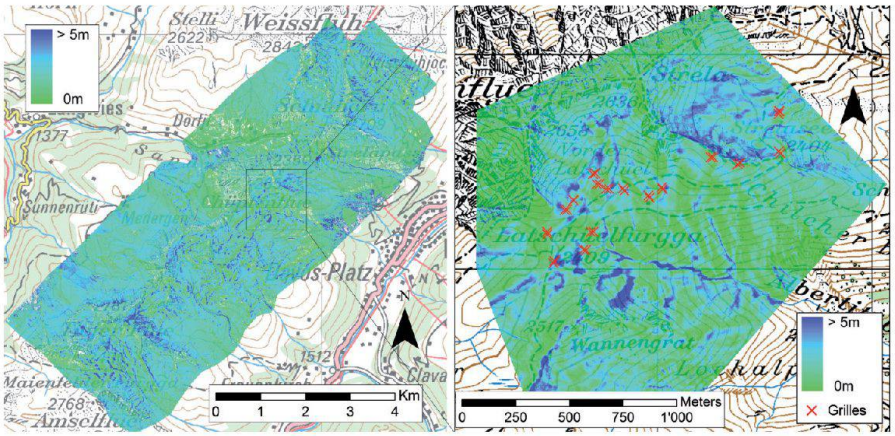


Fig. 4: Carte des hauteurs de neige produite à partir d'une bande d'images et extrait présentant la zone de test de Wannengrat (avec report des grilles de mesure par sonde d'avalanche).
Abb. 4: Schneehöhenkarte von einem Bildstreifen und Ausschnitt im Testgebiet Wannengrat mit eingezeichneten Plots (Grilles).

4. Résultats

Une question revêt une importance primordiale pour évaluer la qualité d'un modèle de surface photogrammétrique, celle de savoir si les points du terrain ont été acquis par corrélation des images ou par interpolation à partir de points voisins. La figure 3 présente les points du terrain corrélés et interpolés du MNS combiné pour la zone de test de Wannengrat. Cet extrait est modélisé à l'aide de 2 377 014 points du terrain, seuls 0,38% (8940) d'entre eux ayant dû être interpolés.
L'expertise qualitative des cartes de hauteurs de neige (figure 4) prouve la vraisemblance des résultats obtenus. Les fortes accumulations de neige à l'abri du vent (à l'arrière de crêtes, formation de surplombs), identifiées dans Grünewald et al. (2010), sont parfaitement reconnaissables ici. Le vent et les amas de neige dus à des avalanches produisent un comblement nettement perceptible de toutes les goulottes et notamment des lits encaissés des ruisseaux.
Nous avons comparé les résultats obtenus avec ceux des grilles mises en place pour les mesures manuelles afin qu'il soit aussi possible d'émettre un avis quantitatif sur la qualité des cartes de hauteurs de neige établies par voie photogrammétrique. La hauteur de neige n'a cependant pas pu être mesurée correctement sur toutes les grilles, pour la simple raison qu'elle excédait par endroits la longueur de la sonde d'avalanche (3,10 m). Le coefficient de corrélation R entre les hauteurs de neige moyennes des données ADS et des données de référence s'est établi à 0,95.

5. Discussion

Cette étude a permis de dresser avec succès la toute première carte des hauteurs de neige pour une zone étendue (en l'occurrence un bassin hydrographique en haute montagne), fondée sur des mesures en continu résultant de modèles de surface photogrammétriques numériques. Contrairement à l'opinion largement répandue selon laquelle la corrélation de points d'images est problématique sur des surfaces recouvertes de neige, il nous a été possible d'obtenir d'excellents résultats. Et cela, en dépit du fait que le survol a été réalisé peu de temps après les dernières chutes de neige de la saison, si bien que la surface était très homogène. La comparaison avec des mesures manuelles, effectuées sur le terrain à la même période que le vol photographique, a fait apparaître un degré de coïncidence élevé (R = 0,95). Nous en avons déduit que la technologie proposée peut être mise en œuvre avec succès pour établir des cartes à haute résolution des hauteurs de neige, fondées sur des mesures en continu, dans les bassins versants du massif alpin et qu'elle se montre bien moins onéreuse que l'ALS. Parmi les restrictions qui s'appliquent à cette méthode, on peut citer l'exploitation impossible des surfaces boisées. Les arbres et les surfaces non recouvertes de neige peuvent cependant être identifiés sur les photos aériennes prises par la caméra ADS, de sorte qu'elles peuvent être délimitées puis exclues du calcul de l'épaisseur du manteau neigeux. Nous utiliserons d'autres données de référence (dGNSS, TLS & GPR) pour analyser la qualité des mesures de la hauteur de neige par la caméra ADS dans d'autres zones (Dischma, Steintälli). Nous pourrons par ailleurs comparer des survols effectués lors de différents hivers, 2010/11 (quantités de neige inférieures à la moyenne) et 2011/12 (quantités de neige supérieures à la moyenne). Les cartes de hauteurs de neige ainsi générées permettront de mener d'autres investigations importantes dans les domaines de l'hydrologie nivale, de la climatologie nivale, de l'écologie, de la recherche sur les avalanches et d'autres champs de recherche propres à l'espace alpin.

Bibliographie:
Voir version allemande.

Christian Ginzler
Eidg. Forschungsanstalt für Land, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf
christian.ginzler@wsl.ch

Mauro Marty
Eidg. Forschungsanstalt für Land, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf
mauro.marty@wsl.ch

Yves Bühler
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung
CH-7260 Davos-Dorf
yves.buehler@slf.ch