

Scannerisation laser et photogrammétrie : deux techniques complémentaires pour l'étude des risques naturels par télédétection rapprochée en haute montagne

■ Thierry VILLEMEN

MOTS-CLÉS

Risque naturel, paroi rocheuse, montagne, télédétection

Le besoin d'études structurales quantitatives pour améliorer la connaissance et la prévision des risques naturels en montagne fait maintenant appel aux techniques modernes

de photogrammétrie numérique et de scannerisation laser. Prises individuellement ces deux techniques présentent des inconvénients qui font qu'elles sont encore peu utilisées par les géologues. C'est la combinaison des deux types d'informations, images de qualité photogrammétrique et nuages de points, qui pourrait permettre de généraliser l'utilisation de ces données nouvelles, notamment au travers du concept d'image "solide".

Les risques naturels en montagne sont de différente nature mais la plupart ont un mécanisme et un moteur en commun : sur des pentes fortes à escarpées des masses de différente nature (neige, glace, roche, boue) se trouvent à un instant déstabilisées et mises en mouvement. Une fois mises en mouvement et détachées de leur support ces masses acquièrent une vitesse croissante lors d'une phase d'écoulement le long de la pente sous-jacente. L'énergie ainsi acquise lors de cette propagation peut être considérable et provoquer d'importants dégâts matériels et humains. De ce fait, même la chute de petits volumes (e.g. une pierre de l'ordre du dm^3) peut avoir des conséquences catastrophiques lorsqu'ils impactent le mauvais endroit (le pare-brise d'une voiture circulant sur une route de montagne, par exemple).

Cet article s'intéresse principalement aux chutes de masses rocheuses et aux stratégies d'étude qui permettent de réduire les conséquences de ces aléas. Celles-ci ont été définies par le passé aux travers de différents guides à l'usage des bureaux d'études spécialisés (e.g. [Rouiller et al., 1998 ; LCPC, 2000, 2001, 2004]). Les études faites dans ce domaine reposent à la base sur des reconnaissances sommaires ou approfondies des compartiments rocheux susceptibles de poser problème. Il s'agit notamment, pour le géologue, d'identifier dans un massif rocheux les principales discontinuités préexistantes, d'en qualifier leur nature (strati-

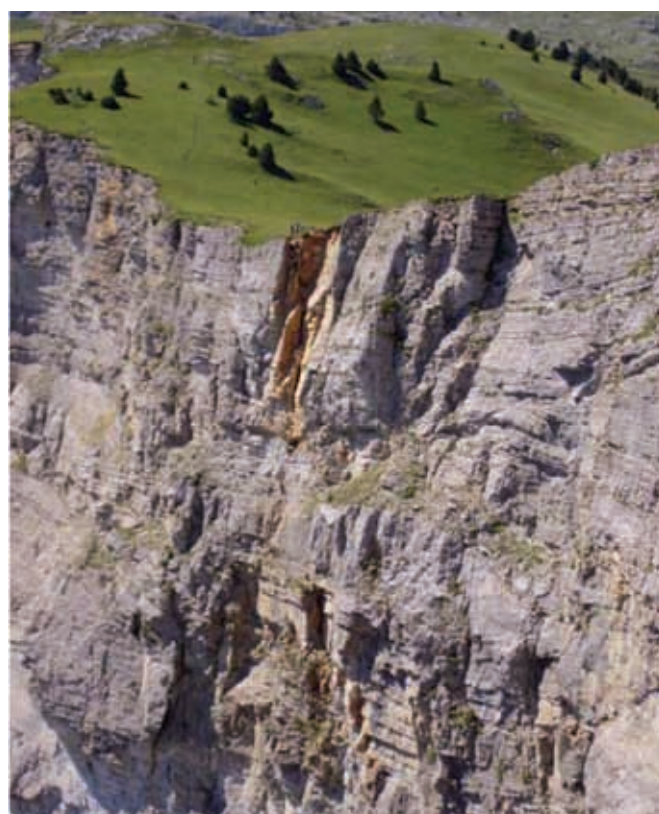


Figure 1 : Exemple typique de site d'étude complexe : le rebord du plateau du Vercors, ici au niveau de Chamousset (SE Vercors). La falaise fait plusieurs centaines de mètres de hauteur et des écaïlles s'en détachent régulièrement. L'inspection directe de tels sites est très difficile et nécessite d'avoir recours à des techniques de télédétection rapprochées.

fication, fracture, schistosité) et d'en quantifier les principaux paramètres (orientation moyenne, espacement, rugosité...). Dans certains cas, les études détaillées vont jusqu'à une cartographie de ces discontinuités dans la paroi et l'élaboration de modèles 3D des volumes instables. Toutes ces données servent de base à des calculs mécaniques qui tentent d'estimer soit un coefficient de sécurité (bilan entre forces résistantes et motrices), soit une probabilité de rupture. Les données géométriques issues des études géologiques sont essentielles dans ces estimations dont découlent l'évaluation du risque et l'adoption de stratégies qui visent à sa réduction.

Intérêt des méthodes de morphologie numérique

Du fait de l'escarpement des sites (Figure 1), ces études géologiques sont cependant difficiles à mener pour deux raisons principales :

(1) la difficulté, voire l'impossibilité matérielle d'un accès direct : dans la plupart des cas l'observateur en est réduit à une descente sur corde, sans possibilité de prendre du recul ni même d'opérer des déplacements latéraux sur la paroi ;

(2) la dangerosité liée aux menaces permanentes de chutes de blocs exposant les géologues à des risques d'accident aujourd'hui difficilement acceptables. Le géologue est donc restreint dans ses approches de terrain traditionnelles et doit s'orienter vers les techniques d'approches déportées (observations à la jumelle, examen monoscopique ou stéréoscopique de photographies, inspection rapide par survol hélicoptère...) qui sont restées jusqu'à présent essentiellement qualitatives.

Les progrès technologiques réalisés récemment dans les domaines de l'imagerie numérique et du positionnement spatial ont fait apparaître de nouvelles démarches pouvant être utilisées dans le cas particulier de l'analyse structurale des parois rocheuses. La morphologie numérique regroupe aujourd'hui un ensemble de techniques permettant de caractériser et modéliser la forme d'objets comme dans le cas qui nous intéresse, celle des parois rocheuses. Ces techniques reposent sur deux types de données :

- des images numériques, stéréoscopiques ou non, mais dont on connaît les caractéristiques géométriques qui s'y rattachent (position du centre de perspective, orientation de la vue, longueur focale et distorsions éventuelles résultant des optiques)
- des scannerisations laser opérées en terrestre par rotation depuis un point fixe ou en aéroportée par balayage. Cette scannerisation aboutit à la connaissance 3D de plusieurs millions de points constitutifs des escarpements.

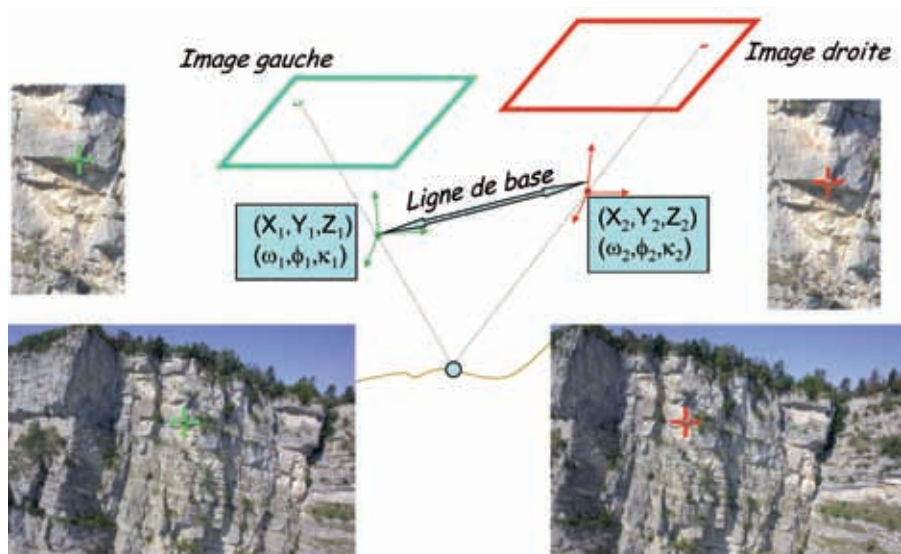


Figure 2 : Principe de base de l'approche photogrammétrique stéréoscopique : sur un couple de deux images orientées des détails homologues sont identifiés sur les deux images et permettent de restituer la position terrain à partir du recoupement des deux perspectives.

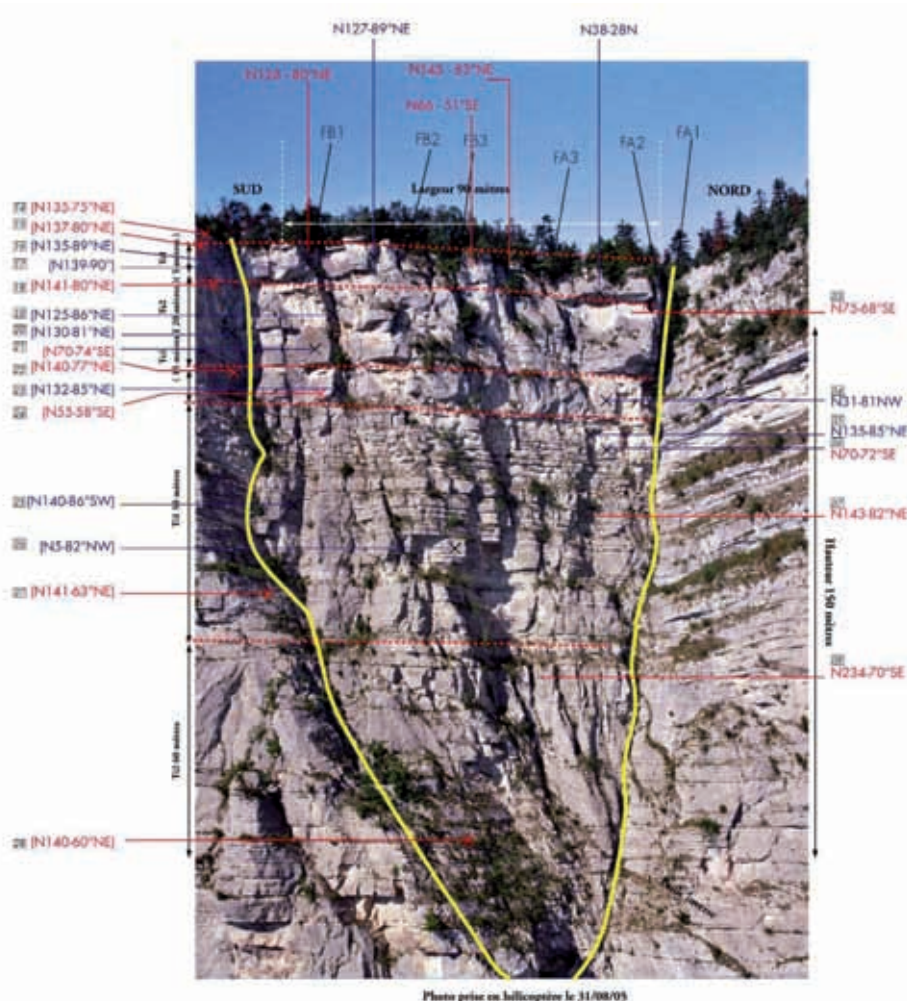


Figure 3 : Orientation de facettes représentatives de discontinuités géologiques : écaïlle du Ravin de l'Aiguille, rebord est du plateau de la Chartreuse, Isère, France. En bleu, plans de fracture mesurés sur le modèle stéréoscopique, en rouge plans de fracture mesurés sur l'image solide. D'après [Fricout, 2008].

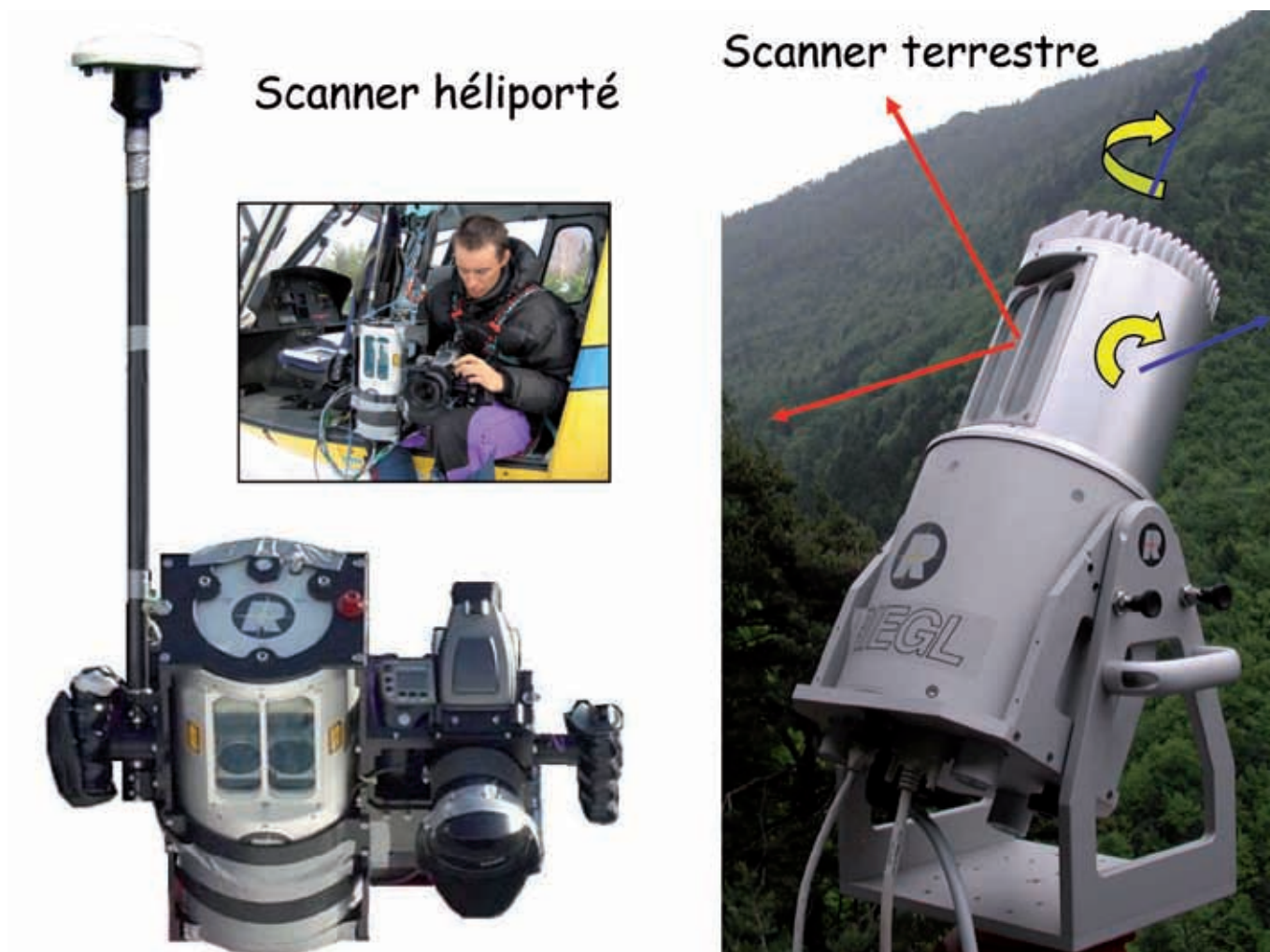


Figure 4 : Les deux modes de scannérisation des parois rocheuses : à gauche hélicopté (système Helimap, [Vallet, 2002 et Buckley et al., 2008]) et scannérisation terrestre à l'aide d'un scanner Riegl Z420 à droite.

- ▶ A partir de ce type de données, il devient possible
- (1) d'analyser la planéité de surfaces caractéristiques et d'identifier celles qui pourraient correspondre à des discontinuités : les principales familles de fractures sont alors caractérisables, en orientation et en densité ;
 - (2) de cartographier en 3D les blocs complexes, et d'en estimer leurs principales faces limite et leur volume. Cette approche permet donc de réaliser, au bureau, une étude structurale fine.

L'approche photogrammétrique

Un minimum de deux images, partiellement chevauchantes (Figure 2), est nécessaire à cette approche. Les orientations externes et internes doivent être connues. Comme chacune des images représente une projection plane centrale de l'objet 3D, il est possible, par recoupement des deux projections, de déterminer les coordonnées 3D de tout point de la zone commune (Figure 2).

Deux possibilités sont offertes par cette approche : examen manuel ou analyse automatique de corrélation

entre les deux images. Dans l'examen manuel, le couple d'images est observé en stéréoscopie à l'aide d'un dispositif et d'un logiciel appropriés. C'est l'opérateur qui décide des points dont il veut retrouver les coordonnées. L'analyse automatique de corrélation entre images permet, en ce qui la concerne, de mettre automatiquement en correspondance les pixels homologues, d'image à image et de recalculer leur position tridimensionnelle. Le produit de cette analyse est un nuage de points échantillonnant de manière discrète la surface de l'objet étudié. On obtient par cette deuxième approche un ensemble de données dont l'analyse repose plus ou moins sur les mêmes techniques que celles issues de la scannérisation laser détaillée au paragraphe suivant.

Réaliser une étude de fracturation par photogrammétrie (Figure 3) reste cependant une opération longue et fastidieuse, même une fois l'orientation des modèles réalisée. Pour cette raison elle n'est généralement pas appliquée dans la pratique habituelle des bureaux d'études. Notons également que le recours à des logiciels de restitution capable de gérer correctement des géométries obliques "non conventionnelles" est indispensable.

Données LIDAR - Représentation 3D

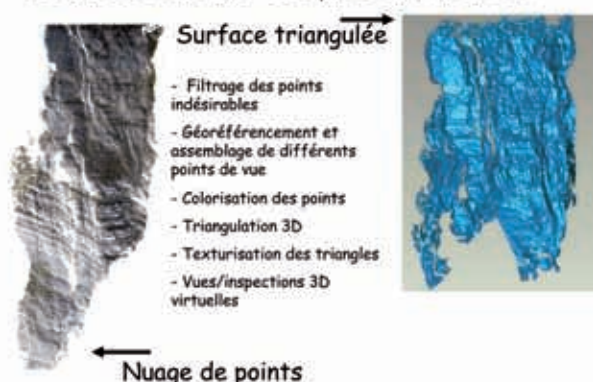


Figure 5 : Les deux produits élaborés à partir de la scannerisation laser : le nuage de points (ici colorisé par combinaison avec une image) et la surface triangulée. Dans le cas des escarpements rocheux de montagne (exemple type de la Figure 1) il est très souvent impossible d'obtenir une couverture complète de l'escarpement à partir de scannerisation terrestre en raison de l'absence de points de vue frontaux.

La scannerisation laser

La scannerisation laser est une technique nouvelle qui permet de disposer rapidement de la position 3D d'un très grand nombre de points. La couverture de l'objet à scanneriser peut être réalisée à partir d'un point fixe par un balayage dans un plan dont l'orientation tourne séquentiellement autour d'un axe contenu dans le plan de balayage. Ce mode de scannerisation laser terrestre (Figure 4) permet, en fonction des appareils et des conditions de terrain, de mesurer des nuages de points avec une précision finale d'ordre centimétrique. La portée maximale de ce type d'instrument, de l'ordre de quelques centaines de mètres, est cependant un facteur limitant dans les études en montagne, compte tenu de la difficulté à trouver des points de vue à moins d'un kilomètre de distance et qui ne soient pas rasants.

Un autre mode d'acquisition peut être opéré en combinant un balayage plan du faisceau laser avec le déplacement du capteur dans une direction approximativement perpendiculaire à ce balayage. La surface est alors "peignée" par le laser. C'est cette technique qui est utilisée en scannerisation laser aéroportée ou héliportée (Figure 4). Sa mise en œuvre est cependant beaucoup plus lourde que la technique terrestre. Son utilisation requiert des mesures complémentaires (GPS, IMU) à fréquence comparable et synchronisée avec celle du laser. La résolution et la précision sont réduites d'un facteur 10 par rapport à la technique précédente [Vallet, 2002 et Buckley et al., 2008].

Les nuages de points issus de scannerisation laser peuvent être utilisés directement pour examiner certaines particularités morphologiques des escarpements. Pour percevoir le relief de celui-ci, il faut utiliser soit l'effet "travelling" en vision monoscopique (impression visuelle de relief qui naît

du changement de point de vue), soit directement l'effet stéréoscopique binoculaire. Dans ce deuxième cas, un dispositif d'affichage stéréoscopique est nécessaire.

Comme dans le cas précédent, réaliser une étude structurale à partir d'un nuage de points n'est pas très aisé : bien que l'opérateur n'ait qu'à sélectionner les points qui l'intéressent, c'est, dans ce second cas, la perception du modèle qui pose problème. L'utilisation des nuages de points bruts souffre de l'impossibilité d'éliminer les parties cachées et du manque d'information radiométrique. On est limité à examiner des perspectives proches de celles de la prise de vue initiale et à l'identification des discontinuités les plus grandes.

L'image solide ou image géoréférencée dans sa géométrie d'origine

Contrairement à l'utilisation faite de la scannerisation laser en rétro-ingénierie ou en architecture, il est vite apparu indispensable pour les études géologiques de combiner au mieux les images et les nuages de points pour une utilisation approfondie.

Une première approche, assez classique, consiste à créer un modèle synthétique en combinant une triangulation des nuages de points et une ou plusieurs images, le tout étant co-référencé. Les images sont re-projetées sur le modèle maillé et l'habillent de leur texture. Il est possible de créer autant de scènes virtuelles que l'on souhaite, de visualiser le massif en relief... Ces différentes images, souvent d'effet visuel spectaculaire, ne permettent généralement qu'une inspection qualitative des escarpements. Elles sont très utiles pour les opérations de communication et certaines figurations (e.g. représentation du départ d'un bloc). Pour autant le travail d'étude structural quantitatif n'est pas forcément facilité. Pour être drapées, les images doivent être déformées, parfois de manière exagérée. La résolution s'en trouve diminuée et des effets particuliers apparaissent (trous et zones ultracondensées). Un autre défaut de ce type d'image synthétique est de mal représenter les arêtes des objets, tout simplement parce qu'elles ont été émoussées lors de l'opération de triangulation.

A cette approche nous préférons utiliser celle définie initialement sous le terme de "Solid Image" [Bornaz et Dequal, 2003]. Dans cette approche ce sont directement les points du nuage de points qui sont re-projetés dans la géométrie de l'image et rajoutés à celle-ci sous la forme d'une couche d'information supplémentaire, en plus des couches d'information radiométrique. On obtient ainsi des images dont chaque pixel est renseigné sur sa localisation. Cette approche permet un travail quantitatif simplifié sur l'image qui n'est plus altéré par un quelconque ré-échantillonnage ou défaut de maillage. Des outils spécifiques [Bornaz et al., 2002 ; Agosto et al., 2006 et 2007 ; Fricout, 2008] peuvent alors être facilement développés et adaptés aux exigences de l'étude structurale [Deparis et al., 2008] (Figure 6). La plupart de ces outils ont l'avantage d'être produits dans le cadre du logiciel libre et de pouvoir être

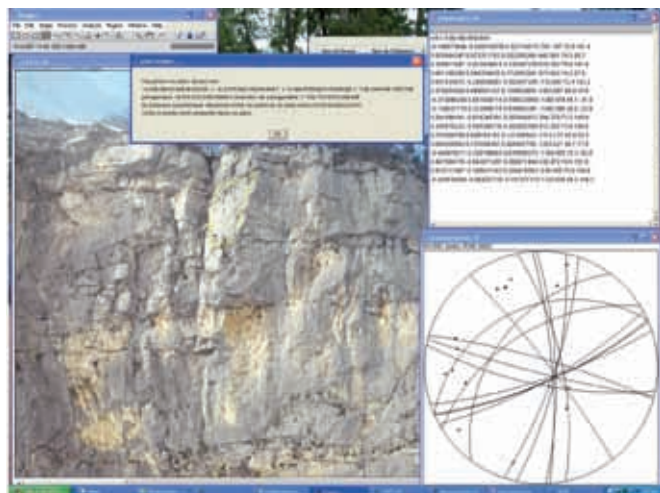


Figure 6 : Interface de travail du logiciel ImageJ pour lequel des greffons spécifiques aux études structurales ont été développés [Fricout, 2008]. L'utilisateur doit sélectionner une partie de l'image (ici en jaune) qui lui semble correspondre à une discontinuité. La position de l'ensemble des pixels est alors utilisée pour calculer l'orientation du plan moyen correspondant à cette zone. La projection hémisphérique est construite automatiquement et permet de caractériser les principales familles de fractures présentes dans le massif.

► utilisés très facilement par des non professionnels de la photogrammétrie et de la scannerisation laser, ce qui est le cas de beaucoup de géologues chargés d'études structurales. Par contre l'élaboration de l'image solide reste une procédure délicate, notamment en ce qui concerne le référencement conjoint des deux sources d'information (images et nuages de points).

Conclusions

La combinaison d'images de qualité photogrammétrique et de nuages de points issus de scannerisation laser, notamment au travers de modèles de type "image solide", permet au géologue de réaliser des relevés structuraux à distance et en toute sécurité sur des modèles de parois rocheuses sur lesquelles il n'aurait pas pu réaliser ce travail directement. Des logiciels pour effectuer ces études sont disponibles gratuitement et leur prise en main est simple. Les applications de l'image solide à l'étude des escarpements rocheux sont potentiellement nombreuses mais nécessitent que des bureaux spécialisés en topographie et photogrammétrie et équipés de moyens de scannerisation laser élaborent de tels modèles pour les utilisateurs finaux qui feront l'interprétation géologique. ●

Contact

Thierry VILLEMEN - Professeur
EDYTEM, Université de Savoie
thierry.villemin@univ-savoie.fr

Références

- Agosto E., Bornaz L., Rinaudo F. (2006).** *The visualization of the solid image on the web: a new tool for 3D information on the net based on an Open Source environment.* Goedatabase for sustainable development, ISPRS Commission IV Symposium, Goa, India.
- Agosto E., Picco E., Rinaudo F. (2007).** *The Solid Image Web Viewer: a new way for 3D survey data web-fruition.* XXI International CIPA Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece.
- Bornaz L., Dequal S. (2003).** *The Solid Image: A new concept and its applications.* ISPRS. Commission V, WGV/4. Ancona.
- Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F. (2002).** *A new software for the automatic registration of 3D digital models acquired using laser scanner devices.* Proceeding of International Workshop CIPA on Scanning for Cultural Heritage Recording. Corfu.
- Buckley S.J., Vallet J., Wheeler W. and Braathen A. (2008)** *Oblique helicopter-based Laser scanning for digital terrain modelling and visualisation of geological outcrops,* The Internal Archives of the Photogrammetry, remote sensing and Spartial Information sciences, Beijing, Commission 4.
- Deparis J., Fricout B., Jongmans D., Villemin T., Effendiantz L et Mathy A. (2008)** *Combined use of geophysical methods and remote techniques for characterizing the fracture network of a potential unstable cliff site (the "Roche du Midi", Vercors massif, France).* Journal of Geophysics and Engineering. 5, p. 147-157.
- Fricout (2008).** *Application de deux méthodes de télédétection rapprochée à l'étude des escarpements rocheux instables : la photogrammétrie et la scannerisation Laser.* Thèse Université de Savoie. 221p.
- LCPC (2004).** *Les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux.* Guide technique. Editions LCPC - Collection Environnement, Les risques naturels. 86 p.
- LCPC (2001).** *Parades contre les instabilités rocheuses.* Editions LCPC - Collection Environnement, Les risques naturels. 143 p.
- LCPC (2000).** *Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain.* Editions LCPC - Collection Environnement, Les risques majeurs. 91 p.
- Rouiller, J-D., Jaboyedoff, M., Marro, C., Philippossian, F. et Mamin, M. (1998).** *MATTEROCK: une méthodologie d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeurs potentiels.* Rapport final PNR 31, VDF, Zurich, 239 p.
- Vallet, J. (2002).** *Saisie de la couverture neigeuse des sites avalanches par des techniques aéroportées* PhD Thesis n°2610 EPFL.

ABSTRACT

Numerical photogrammetry and laser scanning are now two techniques essential for studying natural risks in mountain areas. Used separately these two techniques have inconveniences which make that they have been little used by structural geologist. On the other hand, the combination of image and point cloud, accurately co-registrered as it should be for solid images, give the opportunity for new remote analyses of mountain cliffs, more secure and more efficient than field measurements.