

Analyse multi-temporelle de la base de données photogrammétrique du Piton de la Fournaise

■ Simon MOSER

Cette étude porte sur l'analyse de stéréo-photos du volcan du Piton de la Fournaise (île de la Réunion) acquises de décembre 2009 à avril 2010. Elle a permis de mettre en lumière différentes notions associées à l'étude temporelle de couples photogrammétriques terrestres. La première étape a consisté à recalcr les deux piles d'images par rapport à des photos de référence. Cela a pour but de corriger les petits mouvements des caméras qui résultent en des décalages entre les photos d'une même pile. Les photos ayant ainsi été rendues superposables, il est possible de les analyser zone par zone, aussi bien pour une étude monoscopique que stéréoscopique. La seconde étape a consisté à créer des modèles numériques de terrain de façon automatisée. La définition de points homologues stéréoscopiques de façon automatique ainsi que le pilotage du logiciel PhotoModeler depuis Matlab par le biais de l'interface DDE (Dynamic Data Exchange) ont permis d'extraire plus de 300 nuages de points de manière autonome. Ces derniers ont été utilisés dans différentes applications telles que le cubage de l'éruption de janvier 2010 et une analyse de l'instabilité du versant ausculté.

■ MOTS-CLÉS

Photogrammétrie, traitement d'images, stéréoscopie, interface DDE

Le Piton de la Fournaise est le volcan actif de l'île de la Réunion. La forte occurrence des éruptions, une moyenne de neuf mois constatée ces dernières années, est une aubaine pour les chercheurs. Outre la surveillance du volcan destinée à sécuriser la population environnante, la montagne constitue un laboratoire de mesures en conditions réelles. Le Piton de la Fournaise

est équipé d'un des réseaux d'instrumentation les plus importants au monde, permettant à la fois un suivi en temps réel du risque volcanique et une compréhension générale des processus en cause avant, pendant et après une éruption. Dans le cadre du projet ANR UnderVolc mené par l'IPGP (Institut de physique du globe de Paris) et le BRGM, deux appareils photos ont

été installés au sommet du cratère Dolomieu fin 2009. Le choix de leurs positions a été fortement influencé par une étude de stabilité des zones fournie par l'observatoire volcanologique ainsi que par la trajectoire apparente du soleil. La Figure 1 permet de visualiser sur une prise de vue aérienne la position des stations photogrammétriques ainsi que la zone stéréo étudiée.

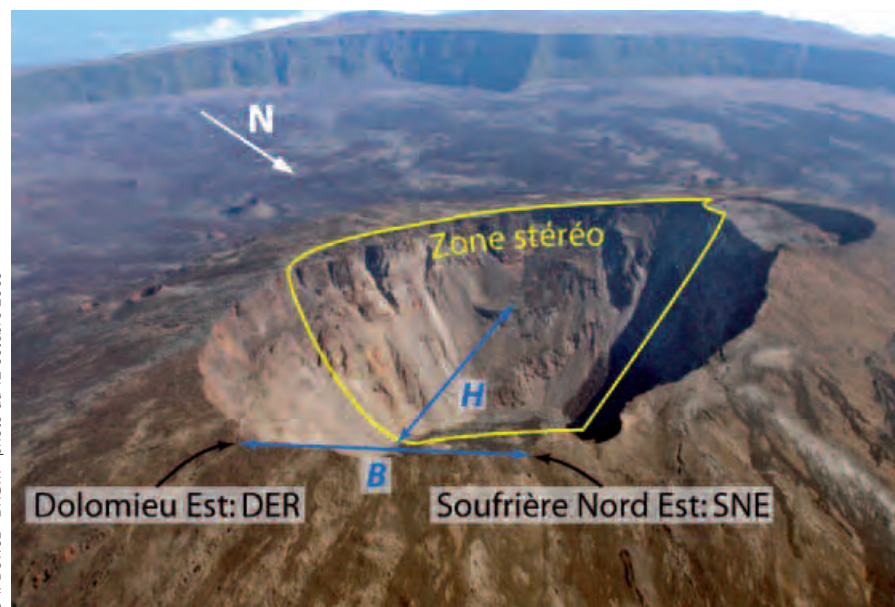


Figure 1 : Position des stations photogrammétriques au sommet du cratère Dolomieu - Zone stéréo

H = 800 mètres, distance moyenne entre les appareils et la zone étudiée

B = 400 mètres, ligne de base entre les deux appareils - Rapport B/H = 0.5.

L'instrumentation au sommet du volcan se compose de deux stations photogrammétriques (DER pour Dolomieu Est Réunion et SNE pour Soufrière Nord Est) qui sont composées d'un appareil photo associé à un système de déclenchement automatique et de communication. Les photos sont prises toutes les heures entre 4h TU et 12h TU, c'est-à-dire entre 8h et 16h en heure locale, ce qui correspond à la période d'ensoleillement du cratère. Une boîte de contrôle ainsi qu'un micro-ordinateur de type netbook permettent de stocker une partie des données et font office d'interface entre l'appareil photo et l'observatoire volcanologique, situé à 15 km de là. Une antenne radio suivie d'un réseau câblé ADSL permet le rapatriement des données quotidiennement. Enfin, des panneaux solaires associés à des batteries fournissent l'alimentation électrique du dispositif,

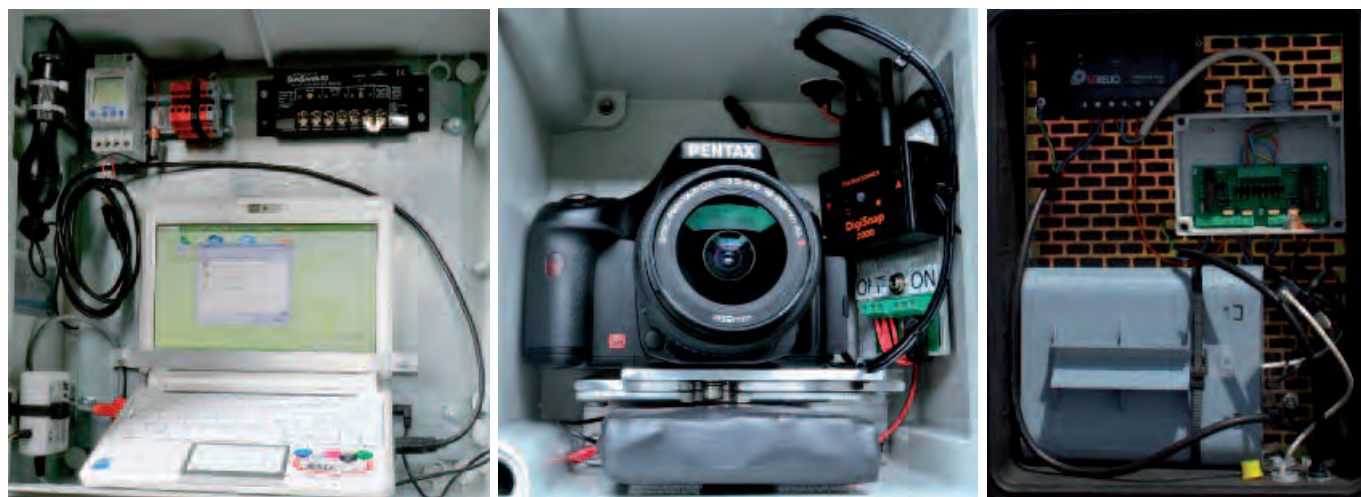


Figure 2. De gauche à droite : Appareil Pentax K2000 et système de déclenchement - Netbook Linux pour le stockage et le rapatriement des données - Gestion de l'alimentation et de la communication

garantissant l'autonomie des stations. Ces éléments constitutifs sont illustrés en Figure 2.

Les deux appareils photos utilisés ont été calibrés avant installation à l'aide de cibles et du logiciel PhotoModeler. Les paramètres de calibration sont destinés à prendre en compte les déformations propres à la géométrie interne de chaque appareil ; les photos pouvant ainsi être corrigées de leurs distorsions. Les caractéristiques des appareils permettent également de déterminer la taille du pixel sur la scène, qui est d'environ 30 cm. Nous nous intéressons dans cette étude à la période allant de décembre 2009 à avril 2010, ce qui correspond au premier jeu de données disponible avant une panne de plusieurs mois. Le jeu de données stéréo trié, c'est-à-dire après suppression des photos inutilisables pour cause de nuages ou de pluie, comporte environ

300 paires stéréoscopiques, dont un exemple est illustré en Figure 3.

Deux problématiques principales sont abordées dans ce projet. Tout d'abord, les caméras DER et SNE bougent légèrement du fait des conditions physiques et météorologiques au sommet du volcan. Cela se traduit par des décalages allant jusqu'à vingt pixels entre les photos d'un même ensemble. Comme nous souhaitons analyser des zones spécifiques dans le temps, ces mouvements doivent être corrigés par un recalage d'images. Celui-ci consiste à identifier des points homologues monoscopiques entre deux photos puis à rendre superposables la photo à recaler et celle de référence. La première partie du projet consiste donc à recalibrer les piles d'images DER et SNE.

La seconde problématique consiste en la création automatisée de modèle numérique de terrain (MNT) pour

chaque paire de photos utilisables générant un gain de temps important par rapport à un traitement manuel. Pour ce faire, il est tout d'abord nécessaire de déterminer un jeu de points homologues stéréoscopiques pour chaque paire de photos. L'interface DDE (*Data Dynamic Exchange*) fait alors office de lien programmatique entre les logiciels Matlab et PhotoModeler afin d'automatiser le processus d'extraction de nuages de points. Différentes applications issues de ces nuages de points dont le cubage de l'éruption de janvier 2010 seront enfin abordées.

Recalage des photos

Le recalage des photos a pour objectif de corriger les petits mouvements des caméras pour chaque pile de photos, qui sont de l'ordre de vingt pixels au maxi-

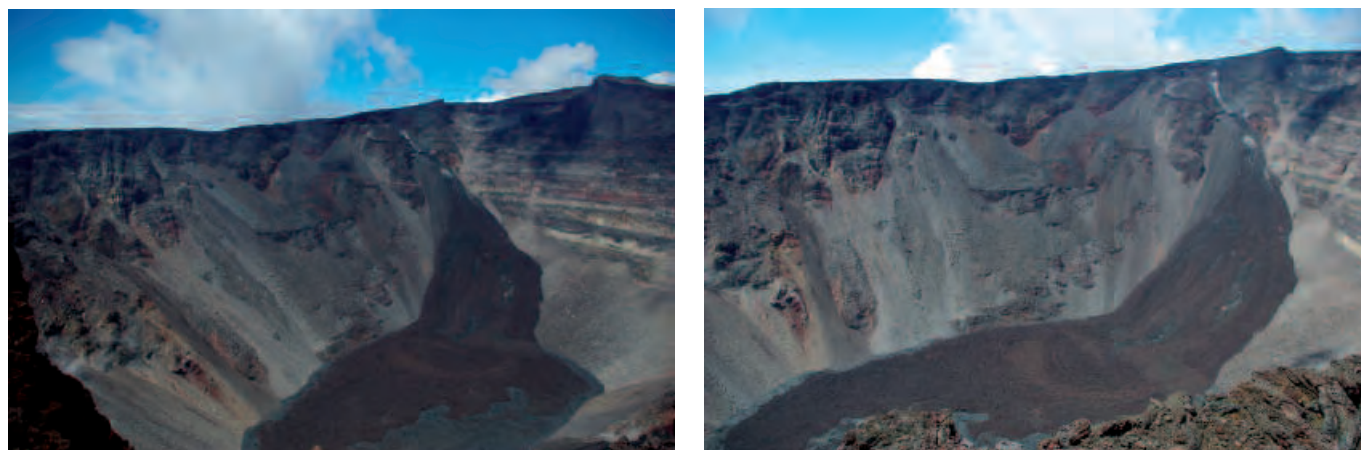


Figure 3. Paire stéréoscopique (DER à gauche, SNE à droite) au 12 janvier 2010 à 9h TU



mum. Le mouvement relatif de zones réputées fixes entre deux photos successives et a fortiori entre deux photos davantage éloignées dans le temps nous indique la non-stabilité des appareils. Ces mouvements sont potentiellement explicables par un ensemble de facteurs physiques et météorologiques. En effet, l'activité sismique du volcan, les changements de température importants ainsi que le fort vent soufflant au sommet sont autant d'éléments susceptibles d'altérer la stabilité des appareils.

Une photo de référence est ainsi choisie pour chaque heure de la journée, ce qui permet une relative cohérence dans l'éclairage des scènes, et par conséquent une meilleure identification des points homologues monoscopiques. Le choix des photos de référence est issu d'un compromis entre la proximité temporelle des clichés sélectionnés et le contraste local des images. Les photos choisies proviennent ainsi de la même journée d'observation, se situant de plus au début de la période étudiée.

La seconde étape consiste à repérer des descripteurs d'intérêts sur la photo à recaler et sa photo de référence grâce à la méthode des points de Harris (Harris et Stephens [1988]). Cette étape est réalisée sur des photos redimensionnées, afin d'éviter des erreurs de mémoire. La fonction utilisée a été développée par Peter Kovesi (Kovesi@ [2010]) et les paramètres ont été optimisés après la réalisation de différents tests. L'application de cette fonction permet d'obtenir une liste de points pour l'image à recaler et celle de référence.

Ces points sont ensuite associés. En premier lieu, les couples de points de Harris sont déterminés par comparaison en recherchant le maximum de corrélation entre les points de Harris sur les deux images. Cette comparaison est issue d'une corrélation NCC (*Normalized Cross Correlation*) également implémentée par Peter Kovesi. Connaissant *a priori* le décalage maximal entre les photos, un seuil de distance de vingt-cinq pixels est fourni à la fonction. Soulignons que cette étape est simplement une association de points, sans certitude que les points sont attachés au même objet. Par conséquent, un tri sur le score de corrélation est effectué et

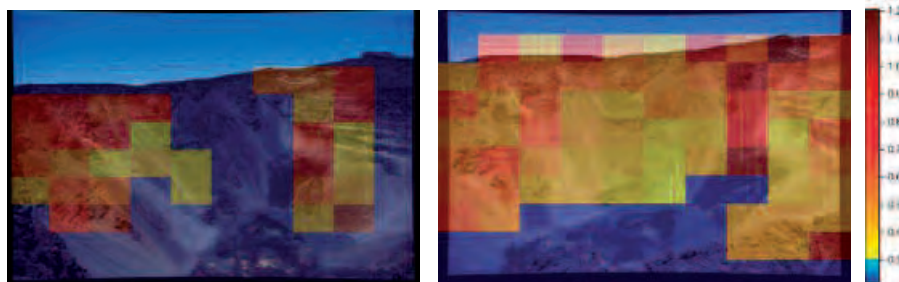


Figure 4. Cartes de précision représentant les erreurs moyennes quadratiques moyennes en x pour DER (gauche) et SNE (droite). Pas de corrélation spatiale apparente

consiste à conserver uniquement les paires de points dont le score est supérieur à 0,9, sachant que ces derniers sont compris dans l'intervalle [0 ; 1]. Une corrélation subpixelaire est ensuite réalisée sur ces paires de points. L'algorithme de Guizar-Sicairos et al. [2008] développé par Manuel Guizar (Guizar@ [2008]) est utilisé. Cette fonction travaillant sur des imagerie et non plus sur l'image entière, l'image en pleine résolution peut être réutilisée après rétablissement de la correspondance avec les points de Harris précédemment déterminés. L'algorithme se base sur une corrélation NCC dans le domaine fréquentiel et consiste à déterminer le déphasage entre les transformées de Fourier des imagerie, l'erreur moyenne quadratique affichée étant proche de 0,1 pixel. Enfin, un affinement sur l'échantillon des distances est effectué. Concrètement, cela consiste à garder 80 % de l'échantillon des points en excluant ceux dont les distances entre les points homologues sont inférieures au quantile 10 % ou supérieures au quantile 90 %. Cette étape permet d'éliminer des points qui sont effectivement homologues comme représentant les mêmes objets, mais qui se sont déplacés entre deux images.

Disposant de deux listes de points triés, il est à présent possible de déterminer une transformation géométrique liant ces paires de points. Il s'agit de transformer l'image d'origine par une translation, une rotation et un facteur d'échelle. C'est un cas particulier de la transformation affine, avec un facteur d'échelle identique dans chaque direction et pas d'erreur de perpendicularité entre les axes. L'application de la méthode des moindres carrés permet de minimiser les erreurs et d'aboutir à

l'écriture de l'image corrigée des mouvements de la caméra sur le disque dur. La méthode de rééchantillonnage choisie est l'interpolation bilinéaire, qui s'est révélée être le meilleur compromis pour favoriser le temps de calcul et optimiser la conservation de la radiométrie originale et de la géométrie réelle.

L'analyse des résidus de la transformation géométrique permet de conclure sur l'erreur moyenne quadratique qui est inférieure à deux pixels pour chaque pile d'images.

Par ailleurs, le calcul d'un jeu de points persistants indépendant a été effectué. L'analyse du mouvement de ces points dans les photos recalées consiste en une validation indépendante de la méthode de recalage. Ce contrôle aboutit sur des cartes de précision (Figure 4), qui corroborent l'analyse des résidus de la transformation.

Nous pouvons conclure qu'il n'y a pas de corrélation spatiale apparente. Les erreurs mises en causes sont inférieures à 1,2 pixel dans chaque direction.

Le processus de recalage fonctionne en autonomie et permet de recaler une image en environ 28 secondes, avec une erreur moyenne quadratique inférieure à deux pixels. L'approche multi-échelle peut s'apparenter à une méthode pyramidale consistant à utiliser différents niveaux de résolution (généralement plus de deux) pour optimiser le temps de calcul ainsi que la gestion de la mémoire. Le recalage aboutit à la création d'environ 300 couples stéréoscopiques recalés à exploiter.

Création de MNT

Un ensemble de points homologues stéréoscopiques a tout d'abord été





déterminé et associé à un jeu de points de calage. Une méthode d'automatisation de l'extraction de nuages de points a ensuite été implémentée.

■ Définition des points homologues stéréoscopiques

La méthode de définition de points homologues stéréoscopiques se base sur les points SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) qui sont des descripteurs d'intérêt développés par Lowe [2004], les algorithmes utilisés ayant été implémentés par Andrea Vedaldi et disponibles sur Vedaldi@ [2006]. Les points de Harris utilisés lors du recalage d'images suivis d'une corrélation "basique" ne fonctionnent pas bien en stéréo, du fait de la différence d'orientation des scènes. Les points SIFT associés à leurs descripteurs de voisinage sont donc ici préférés car ils permettent d'obtenir des paires de points homologues stéréoscopiques pour une paire de photos donnée. Souhaitant minimiser les erreurs relatives lors de comparaisons de MNT, nous cherchons à utiliser les mêmes points homologues pour l'ensemble des paires stéréoscopiques.

Pour ce faire, des points homologues ont été déterminés sur deux paires stéréoscopiques datant du début et de la fin de la période étudiée. Un recoupement des deux listes de paires de points a permis de déterminer quels points sont à la fois homologues et persistants dans le temps. Ces points étant nombreux mais non répartis uniformément, des points supplémentaires ont été placés manuellement après analyse visuelle de leur persistance. L'ensemble de ces points destinés à l'orientation relative associés à des points de calage issus d'un levé topographique réalisé en mars 2011 sont disposés sur une photo de référence. Afin de pallier les erreurs résiduelles du recalage, les points sont ensuite placés sur chacune des paires stéréoscopiques par corrélation subpixelaire.

Nous pouvons ici noter la rapidité d'exécution de la méthode. Moins de trois secondes suffisent pour placer plus de 100 points sur une photo et créer un fichier texte contenant les coordonnées des points dans la photo. Le gain de temps est donc substantiel

par rapport à un placement manuel. De plus, la précision théorique de l'algorithme de corrélation subpixelaire est proche de 0,1 pixel. Aux fautes de corrélation ou de placement près, cette méthode garantit un nombre de points important et un placement précis. Les éléments nécessaires à la création de modèles numériques de terrain sont réunis.

■ Automatisation de la création de MNT

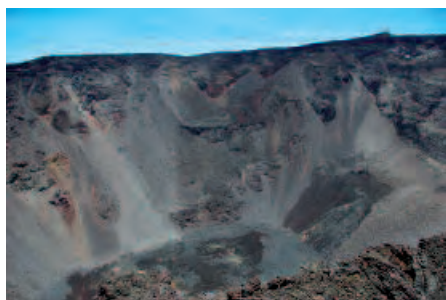
Afin d'automatiser la création de MNT, les logiciels Matlab v2012 et PhotoModeler 2012 sont utilisés. Le logiciel photogramétrique est en effet pilotable grâce à l'interface DDE (*Dynamic Data Exchange*). Cette interface, très limitée sur les versions antérieures de PhotoModeler, est dotée d'un nombre important de fonctionnalités dans la version 2012. Pratiquement, il s'agit d'envoyer des requêtes au logiciel photogramétrique depuis Matlab en passant par une librairie d'échange d'instructions développée par Microsoft, et présente par défaut dans Windows XP. Celles-ci permettent de réaliser la quasi-totalité des opérations, qui sont dans notre cas les suivantes :

- Déclaration des caméras DER et SNE (paramètres d'orientation interne – distorsions)
- Association des photos à ces caméras (photos idéalisées et corrigées du mouvement de la caméra)
- Ajout des points homologues (tie points)
- Ajout des points de calage et de leurs précisions théoriques (control points)
- Orientation absolue ou orientation LOS (Line Of Sight, en direction de prise de vue)
- Optimisation (bundle adjustment)
- Tri sur les résidus par importation des points sous Matlab
- Suppression des points dont les résidus sont supérieurs à un certain seuil (3 pixels)
- Optimisation du modèle (bundle adjustment)
- Création d'un nuage de points 3D dans une zone prédéfinie (dense point matching)
- Exportation de ce nuage de points au format ASCII

La création des nuages de points sur une zone prédéterminée pour plusieurs paires de photos n'est pas facilitée dès lors que les surfaces de référence définissables au moyen de l'interface DDE ne sont pas utilisables pour la création de MNT, car la triangulation PhotoModeler produit parfois des facettes inversées et qu'il n'est pas possible de corriger l'inversion via l'interface DDE. Pour une analyse temporelle automatisée, l'alternative retenue est de créer un projet "modèle". Le principe est d'utiliser un premier couple de photos pour définir certains paramètres tels que les caméras, les unités du projet, ainsi que la zone dans laquelle doit s'opérer l'étape du dense point matching. De plus, des essais nous ont montré qu'il est souhaitable de fixer les paramètres d'orientation des caméras, afin de limiter les erreurs dans l'analyse différentielle des nuages de points. Pour ce faire, le modèle est orienté une première fois avec une paire de photos de référence. On indique ensuite dans les options des photos qu'on ne souhaite plus modifier l'orientation des caméras. Ainsi, seule la position des points est ajustée et optimisée lors des calculs.

Concrètement, le script Matlab fonctionne comme suit. Les photos composant les paires sont tout d'abord sélectionnées par l'utilisateur. Un contrôle permet de vérifier que les listes de photos de chaque station correspondent aux mêmes couples. Ensuite, pour chaque paire de photos, une nouvelle session DDE est ouverte entre les logiciels Matlab et PhotoModeler. Les deux photos de la paire courante remplacent celles contenues dans le dossier cible de PhotoModeler.

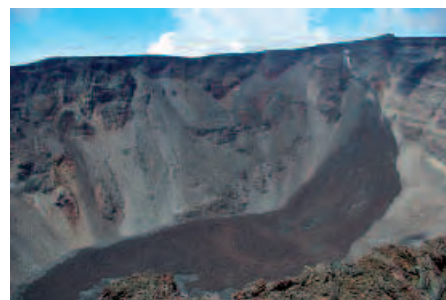
Le projet "modèle" peut alors être ouvert et immédiatement renommé avec l'identifiant de la paire courante, avant d'être réenregistré. Les photos sont alors affichées, ce qui permet de suivre l'évolution du traitement à l'écran. Les fichiers de points associés à chaque photo sont ensuite chargés dans Matlab. Ceux-ci sont stockés dans le même dossier que les photos, le nom de fichier étant celui de la photo ajouté du suffixe "_points_homologues.txt". Cette liaison permet de ne pas avoir à



SNE 2 janvier 2010 11 h TU



SNE 3 janvier 2010 4 h TU



SNE 12 janvier 2010 9 h TU

Figure 5. Déroulement de l'éruption de janvier 2010

désigner les fichiers contenant les points. Ces fichiers sont scannés : on en extrait l'identifiant des points ainsi que ses coordonnées image sur chaque photo. Un changement d'origine est ensuite opéré : il s'agit de retrancher un pixel aux coordonnées issues de Matlab du fait d'une différence d'origine dans les coordonnées image entre les deux logiciels. Ces points sont finalement disposés sur les photos de manière automatique.

Dans le cas d'une orientation absolue, les points de calage ainsi que leurs précisions sont également fournis à PhotoModeler, il faut alors associer les coordonnées image aux coordonnées objet connues dans le référentiel UTM zone 40 Sud utilisé à l'île de la Réunion. Si on souhaite analyser les variations de profondeur de la paroi, l'orientation absolue peut être abandonnée au profit d'une orientation en LOS (*Line Of Sight*), c'est-à-dire en direction de prise de vue. Avec cette méthode, l'axe Z est orienté vers le centre de la zone étudiée, son origine étant l'une ou l'autre des caméras suivant son orientation par rapport à la scène. L'axe X du repère est quant à lui défini par les deux caméras. Les modifications de morphologie seront donc accessibles en comparant les coordonnées Z d'une même zone dans le temps. Dans cette configuration, les points de calage sont utilisés comme points homologues supplémentaires, et nous procédons à la mise à l'échelle du modèle par le biais de la distance entre les caméras.

Quelle que soit la méthode employée (orientation absolue ou LOS), le modèle peut alors être ajusté par PhotoModeler selon la position des points. Les caractéristiques des points homologues et

plus spécifiquement leurs résidus sont ensuite importés sous Matlab. Nous supprimons les points dont la résultante des résidus est supérieure à 3. Ces valeurs correspondent à des erreurs lors du placement manuel de certains points ou à des fautes de corrélation lors de leur placement sur la pile de photos. Le modèle est ensuite réajusté.

Un nuage de points de la zone prédéfinie peut alors être créé et exporté au format ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). Enfin, le projet est sauvegardé avant la fermeture de la session de communication entre Matlab et PhotoModeler.

Ce processus peut théoriquement s'effectuer en autonomie sur un nombre infini de paires. Cependant, les défauts de stabilité de l'interface DDE limitent le traitement à environ 50 paires successives. En résumé, cette méthode permet d'extraire des nuages de points de manière intensive sur une zone prédéfinie pour une période donnée. Ces

nuages de points peuvent ensuite être importés sous des logiciels de traitement afin d'être analysés en vue de différentes applications temporelles.

Applications

L'application principale du projet a porté sur le cubage de l'éruption du Piton de la Fournaise de 2010. D'autres applications ayant pour objectif d'analyser l'instabilité d'un versant seront également explicitées.

■ Cubage de l'éruption de janvier 2010

L'éruption s'est déroulée du 2 au 12 janvier 2010 à l'intérieur du cratère observé. Comme nous pouvons le voir sur la *Figure 5*, la plus grande partie de la lave s'est déposée au fond du cratère. La première étape a consisté à extraire deux nuages de points par la méthode précédemment décrite, le premier à une date pré-éruption et le second à

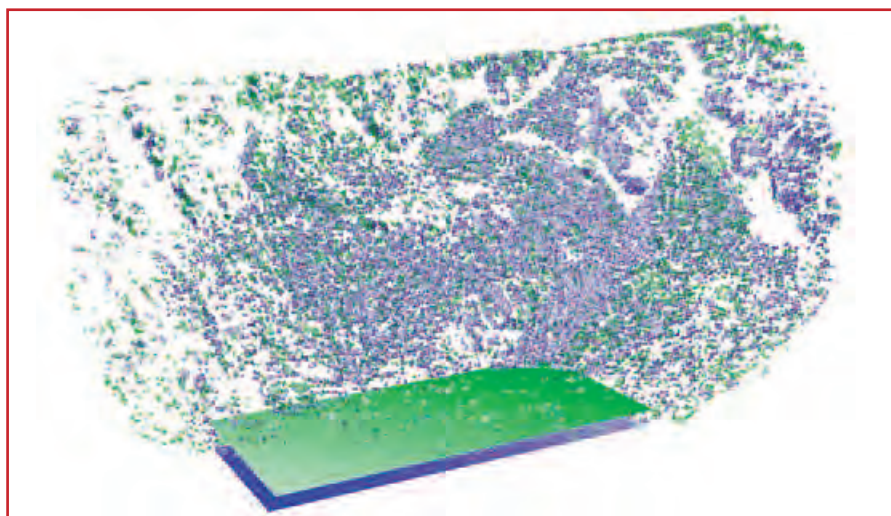


Figure 6. Représentation des nuages de points 3D et des plans du fond de cratère avant éruption (en bleu) et après éruption (en vert)



une date post-éruption. Ces derniers ont été utilisés pour échantillonner une surface planaire représentative de la topographie de la zone visible (Figure 6). L'hypothèse que la lave s'est déposée sur une zone planimétrique et qu'elle a elle-même formé un nouveau plan est vérifiée par la distribution spatiale des résidus des points par rapport à ce plan ainsi que par leur magnitude. La taille des cellules des plans étant d'un mètre carré, un calcul différentiel fournit le volume les séparant.

La totalité du fond du cratère n'étant pas visible par le système stéréoscopique, des photos héliportées ont été ajoutées au modèle afin de mesurer la surface totale du fond. Les surfaces visible et totale ainsi que le volume visible étant connus, une extrapolation permet de conclure sur le volume de lave total en cause au fond du cratère. Il s'agit d'y ajouter le volume s'étant déposé sur la paroi du cratère. Ce dernier a été déterminé par le biais d'une analyse en LOS, en orientant l'axe Z de la caméra DER vers le centre de la scène considérée.

Lors des différentes étapes de calcul, des études d'erreurs ont été menées. Elles prennent en compte la position des points par rapport au plan, la variabilité des plans, la forme de la surface définissant le fond du cratère ainsi que le bruit de mesure sur la paroi. Un calcul de transmission d'erreur permet de conclure sur l'erreur totale, qui est environ égale à 6,3 % du volume de lave calculé.

Finalement, le volume total de lave accumulé en janvier 2010 au fond et sur la paroi du cratère Dolomieu, et cubé par stéréophotogrammétrie *in situ* est de :

Volume_(Éruption Janvier 2010) = $1\,507\,203 \pm 95\,661 \text{ m}^3$

Volume_(Éruption Janvier 2010) = $1\,507\,203 \text{ m}^3 \pm 6,3 \%$

Ce volume est cohérent par rapport aux estimations précédemment réalisées (T. Staudacher, IPGP, pers. comm. 2012) et le calcul d'erreur a permis d'évaluer la précision du résultat.

■ Analyse d'un versant instable

L'analyse temporelle du versant instable a pour objectif d'identifier des changements morphologiques dans le temps. Ces changements correspondant à des variations de profondeur de



Figure 7. Chute de bloc (en vert) et zone d'éboulis (en rouge)

la paroi, nous utilisons le système LOS avec la caméra SNE comme origine de l'axe Z. La création d'un modèle PhotoModeler suivie des étapes précédemment décrites permet d'obtenir des nuages de points dans les zones considérées. Une chute de blocs et une zone d'éboulis ont été étudiées.

Concernant la chute de blocs (en vert sur la Figure 7), l'exportation d'une dizaine de nuages de points suivie de la création d'une grille de coordonnées Z a permis de mettre en évidence une chute de blocs se produisant en deux temps, entre le 28 décembre 2009 et le 1^{er} janvier 2010, soit quelques jours avant le début de l'éruption ci-dessus cubée. Le volume total de cette chute de blocs est estimé à $12\,000 \text{ m}^3$, le bruit de mesure étant évalué à environ $2\,000 \text{ m}^3$.

Concernant la zone d'éboulis, 300 nuages de points ont été extraits de PhotoModeler. Cette zone est très peu

variable en termes de morphologie, mais est le siège de nombreux éboulis. Afin d'étudier l'apport de matière dans la zone, nous définissons un plan moyen du versant et cherchons à déterminer des événements détectables par l'écart des nuages de points à ce plan. L'écart moyen n'étant pas assez sensible aux variations, on cherche dans la queue de la distribution (quantile à 5 %). Cette valeur indique qu'il n'existe que 5 % des points qui ont un écart au plan supérieur à la différence identifiée. Les résultats sont très bruités du fait de la faible variabilité de la zone et de la sensibilité du système d'acquisition ; mais une tendance cyclique pouvant traduire un phénomène d'apport puis de relâchement de matière semble présent. Une analyse monoscopique, consistant à analyser le mouvement d'éléments dans la zone, principalement des cailloux, a permis de confirmer cette hypothèse. Le calcul d'images de score permet d'identifier ces éléments et leurs mouvements dans le temps par le biais de la création d'un film. La zone représentée en rouge (Figure 8) est le lieu de véritables écoulements gravitaires ; c'est-à-dire que la matière glisse jour après jour sur cette surface. Pour la zone représentée en bleu, il s'agit de petits éboulements successifs.

Des analyses complémentaires pourraient permettre de conclure sur la

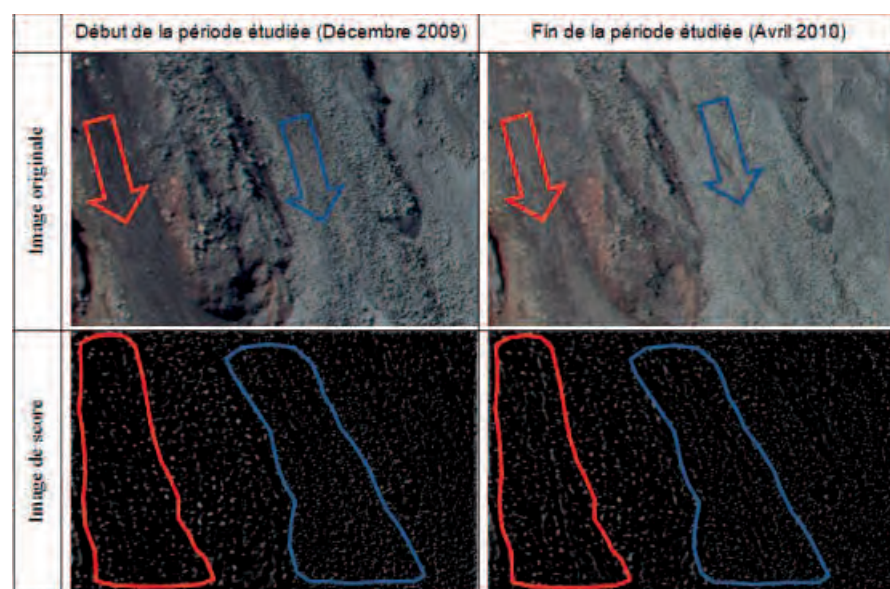


Figure 8. Images originales et images de score au début et à la fin de la période étudiée - Mise en évidence des couloirs d'éboulis (en rouge et en bleu)



quantité de matière journalière ou mensuelle qui transite par ces couloirs d'éboulis, et de les coupler avec le catalogue d'événements sismiques de l'observatoire volcanologique.

Conclusion

Ce projet a permis de mettre en lumière différentes notions associées à l'étude temporelle de couples photogrammétriques terrestres. Deux problématiques principales ont été traitées : le recalage d'une pile d'images monoscopiques par rapport à des photos de référence et la création automatisée de MNT.

À moyen terme, une analyse temporelle automatique associée à une alimentation de la base de données en temps réel suivie d'un traitement PhotoModeler-Matlab automatisé est une perspective crédible au suivi du Piton de la Fournaise. ●

Remerciement

L'auteur remercie Thomas Dewez du BRGM qui a dirigé son étude. Le projet

ANR-UNDervolc coordonné par l'IPG Paris a financé son stage et l'acquisition des données traitées.

Bibliographie

Ouvrages

Harris, C.G. et Stephens M.J. [1988], *A combined corner and edge detector* ; Proceedings Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, pp. 147-151.

Lowe, D.G. [2004], *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints* ; International Journal of Computer Vision, Vol. 60 Issue 2, pp. 91-110.

Sites Internet (pour les codes Matlab)

Kovesi@ [2010], *Centre for Exploration Targeting - School of Earth & Environment - The University of Western Australia.*

URL <http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/>

Guizar@ [2008], *Efficient subpixel image registration by cross-correlation.*

URL <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18401-efficient-subpixel-image-registration-by-cross-correlation>

Vedaldi@ [2006], *An implementation of SIFT detector and descriptor.* <http://www.vlfeat.org/~vedaldi/code/sift.html>

ABSTRACT

This study deals about the analysis of stereo-photos of the "Piton de la Fournaise" volcano, Réunion Island. Several subjects linked to the temporal study of stereoscopic couple of photos have been discussed. The first step was to co-register the two series of photos in order to make them stackable. The shifts involved are due to camera movements. This correction allows making temporal analysis area by area, in both monoscopic and stereoscopic fashions. Secondly, we managed to automate the creation of digital elevation model by using the software PhotoModeler piloted with Matlab. Firstly, a set of tie points have been defined for all the photos using SIFT points. Second, the DDE (Dynamic Data Exchange) interface allowed us to supply some data to the photogrammetric software in order to extract more than 300 point clouds. Post processing studies lead us to several applications such as the quantification of the lava volume of an eruption which occurred in January 2010 in the Dolomieu crater.

Le lycée Caraminot n'a pas peur de se mouiller

L'eau est une ressource et un produit de consommation. Du 18 au 22 mars 2013, les étudiants de la section BTS géomètre-topographe du lycée Pierre Caraminot d'Egletons ont, sur le territoire communal, réalisé le levé du lac du Deiro accompagnés par Bernard Flacelière, ingénieur géomètre-topographe spécialiste en bathymétrie. Préparée de longue date par les enseignants de la section, Dominique Coudert, Serge Bachellerie et Jean-Louis Berthéas l'intervention avait pour but de

mesurer l'envasement du fond du lac. Les étudiants ont utilisé un échosondeur, offert au lycée par EDF, embarqué sur une barque motorisée afin de mesurer la profondeur par rapport à la surface de l'eau. Appartenant au lycée, le système RTK GPS Leica couplé à ce dispositif et sa station de référence ont permis d'associer une position planimétrique de l'endroit de la profondeur levée, ainsi que de déterminer l'altitude de l'antenne. L'étalonnage du sondeur, vitesse du son dans l'eau, et la détermination de

la hauteur de l'antenne par rapport à l'échosondeur et au plan d'eau ont été soigneusement effectués par les participants. Prêté par la société Iota-Survey de Mauguio (Hérault), le logiciel de navigation Autonav permettant l'acquisition et le stockage des profondeurs et de la position a été paramétré pour saisir une mesure tous les mètres. Ainsi étudiants et professeurs ont pu naviguer selon des directions prédéfinies espacées de 10 mètres, puis suivant des profils perpendiculaires, pour effectuer le levé complet du fond du lac. Parallèlement à ce levé bathymétrique, il a été réalisé un levé topographique terrestre des berges et abords du plan d'eau. Une fois le levé terminé, les données recueillies ont été traitées pour établir un plan et une modélisation 3D du fond du lac. A la surprise générale, les auteurs des relevés ont constaté que la profondeur n'était que de quatre mètres au point le plus profond. ●

