

Projet S.V.O.

Compte-rendu d'activité

Octobre 2000 à Janvier 2001

Par P. Briole et Y. Trembley.

Dans le cadre du projet S.V.O. (Space Volcano Observatory), nous nous proposons d'effectuer un ensemble de tests pour évaluer l'aptitude du satellite à apporter une aide efficace dans la surveillance des volcans. Dans un premier temps, les tests sont réalisés sur le Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Ce volcan connaît une activité régulière, en moyenne une éruption par an depuis un siècle. Ces fréquentes évolutions morphologiques (coulée de lave, formation de cônes, fracturation, déformation à grande échelle ...) en font un site idéal pour ces tests.

Les principales caractéristiques du satellite S.V.O. sont :

- Images à haute résolution : mode panchromatique à 1 m par pixel.
- Dimension de l'image au sol : 6 x 6 km.
- Images thermiques à haute résolution (températures inférieures à 450°C).
- Capacité de prise de vue stéréoscopique le long de la trace, avec variation latérale de l'angle de visée.
- Répétitivité de 1 jour.

Nos principaux objectifs sont :

- Vérifier que les choix techniques permettent de suivre l'évolution et l'activité d'un volcan.
- Automatiser au maximum les traitements.

Les données à notre disposition sont :

- Des photos aériennes digitalisées prises à différentes époques (résolutions de 20 à 80 cm, digitalisation de 800 à 1500 dpi.).
- De photos prises du sol ou en hélicoptère depuis 1976 (digitalisation à 2000 dpi. d'après diapositives).
- De photos numériques de l'éruption d'octobre 2000 prises du sol ou d'hélicoptère.
- De données GPS (stations fixes et cinématiques).
- Modèle Numérique de Terrain (M.N.T. au pas de 20 m).

Les photos aériennes ou prises depuis le sol présentent l'avantage d'avoir une résolution comparable à S.V.O.. De plus, nous disposons de plusieurs dizaines d'images nous permettant d'avoir des exemples de tout les types d'évènements.

I) Géoréférencement et rectification

En utilisant les photos aériennes digitalisées à 1500 dpi., nous réalisons une carte du volcan avec une précision de l'ordre de 1 m. Pour cela, chaque photo est rectifiée en utilisant

les caractéristiques de la chambre de prise de vue (focale et dimensions), le M.N.T. (rééchantillonnage au pas de 10 m) et un ensemble de points G.P.S. mesurés la même année que la photo. Nous utilisons les logiciels ER Mapper et Map Info.

Le contrôle de la précision finale est fait en utilisant les points G.P.S. (utilisés ou non lors de la rectification) et des tracés de G.P.S. cinématiques (fichier de plus de 10.000 points). La principale limite de la méthode provient de l'utilisation d'un M.N.T. lors de la rectification. Les petits reliefs ne figurent pas (par exemple les cônes) et les bords de falaises peuvent être sensiblement décalés (le décalage maximal correspond au pas du M.N.T.). La rectification d'ensemble de la photo est correcte, mais localement nous pouvons avoir des erreurs :

- Déformations sur des petits édifices (cônes), l'image est localement déformée.
- Décalage des bords de falaise pouvant aller jusqu'à 5 m.

Nous pouvons observer par compositions colorées de deux photos, l'évolution du volcan :

- apparition de failles
- créer une carte des nouvelles coulées
- identifier les nouveaux édifices

A noter qu'il est nécessaire de disposer de données fréquentes pour détecter des changements planimétriques. En effet, sur de longues périodes (quelques mois ou plus), les changements dus à l'érosion, les précipitations (parfois très violentes dans le cas du Piton de la Fournaise) ou l'évolution de la végétation, entraînent des changements d'aspects de la surface parfois comparables à ceux provoqués par une éruption. L'ouverture d'une faille peut être, par exemple, moins bien détectée (lors d'un traitement automatique) que l'érosion d'un dépôt de cendre après une forte pluie. Il est donc nécessaire de disposer d'images régulièrement et fréquemment, pour suivre efficacement l'évolution du volcan.

Cette méthode est appliquée sur les photos numériques de l'éruption d'octobre 2000 (voir figure 1). Ces photos, prises pour la plupart d'hélicoptère, présentent des angles de prise de vue de l'ordre de 30 à 70° par rapport à la verticale. Une dizaine de points G.P.S. mesurés lors de l'éruption à proximité des coulées complètent les données (G.P.S. non différentiel, précision planimétrique de 5m, ce qui limite la précision du recalage).

Après rectification, nous pouvons créer une carte de la coulée avec une précision variant de 5 à localement 10 m. Les variations de précision sont causées par :

- Les forts angles de prise de vue engendrent des distorsions importantes, la résolution du cliché varie. Sur une même image la résolution varie de quelques centimètres à plusieurs mètres.
- Le recalage précis est délicat : un total de 30 points est nécessaire pour une rectification de l'ensemble. Ces points proviennent, pour les zones non affectées par des changements (coulées), des photos aériennes rectifiées de l'année 1997. Mais la coulée elle-même ne peut être recalée que par rapport aux points G.P.S. nouvellement acquis. D'où, des erreurs sur les zones sans points de calage, les variations locales du relief ne sont pas prises en compte. De plus, on ne rectifie pas les déformations géométriques de l'optique de l'appareil (appareil numérique standard du commerce).

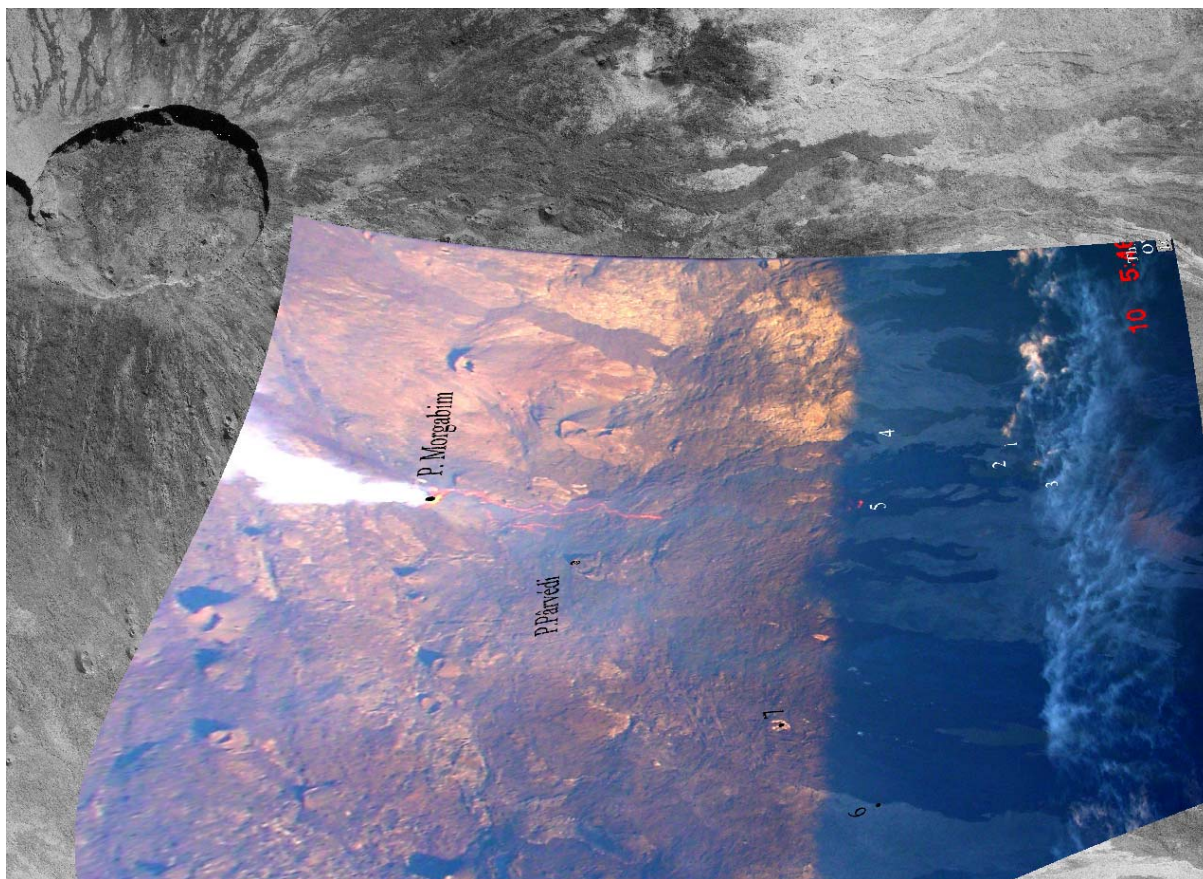


Figure 1 : Eruption d'octobre 2000. Cette image est composée d'un fond provenant d'une photo aérienne de 1997 orthorectifiée et en superposition d'une photo numérique prise d'hélicoptère lors de l'éruption, elle même orthorectifiée. Les chiffres visibles correspondent aux points G.P.S. mesurés sur le terrain.

La précision d'ensemble des cartes se montre tout a fait satisfaisante, compte tenue du fait que les photos n'étaient pas prévues pour être rectifiées (cadrage ajusté sur la coulée, perspectives importantes...). Grâce au recouvrement entre les photos, nous avons une précision de l'ordre de 5 m sur toute la superficie de la coulée. Cette précision est compatible avec une cartographie au 1/50.000.

Une résolution de 1 mètre permet de localiser et de suivre l'évolution d'une coulée (voir figure 2). On peut facilement identifier les zones où la coulée est incandescente et l'ensemble des objets (cônes, nature de la surface des coulées, structure des édifices).

Dans le cadre de S.V.O., la taille des images (6 x 6 km) permet de disposer de points de calage en dehors des zones déformés. De plus, les angles de prises de vue sont plus faibles (de 0 à 30°) et la différence de taille des pixels moindre (variation de 1 à 2 m au maximum). La précision des cartes générées devrait donc se situer entre 1 et 2 m.

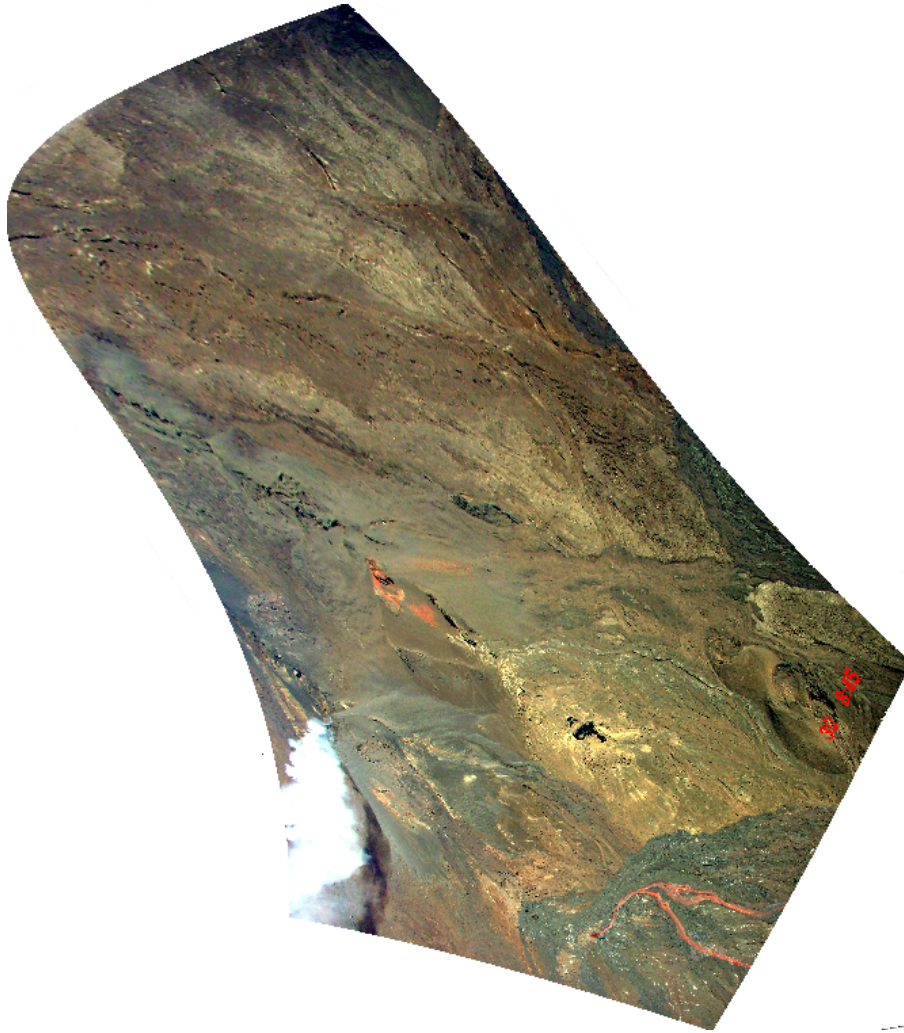


Figure 2 : Exemple de photo prise d'hélicoptère orthorectifiée et à l'échelle de 1 m par pixel. Eruption d'octobre 2000.

II) Utilisation de données stéréo

II.1) Evaluation de la précision de la méthode

Nous utilisons le logiciel de stéréo restitution de l'I.G.N. le Poivillier. Les premiers tests sont réalisés sur des couples photos de 1989 et 1997 (digitalisation à partir des négatifs). La résolution des clichés est respectivement de 20 et 70 cm. Des points G.P.S., pris aux années correspondantes, sont utilisés pour le calage (4 points G.P.S. par couple).

Pour valider la précision des modèles, nous comparons les coordonnées x, y et z des points G.P.S. aux valeurs obtenues par stéréo-restitution. La précision planimétrique est de l'ordre du pixel et de 1 mètre en altitude. Pour améliorer la précision du modèle, nous pouvons comparer les altitudes des points d'un fichiers de G.P.S. cinématique avec les mêmes altitudes calculées automatiquement en stéréo-restitution. Nous calculons un plan de correction, celui ci compense les erreurs de pointage des points de calage. La précision en altitude est alors de 50 cm (vérification sur un deuxième fichier cinématique).

Cette précision ne permet pas de suivre les déformations d'ensemble du volcan (quelques centimètres seulement en vertical), mais permet de suivre facilement l'évolution de la croissance d'un dôme (typiquement la dimension finale est de plusieurs centaines de mètres, la croissance de l'ordre de 30 cm/jour à plusieurs mètres par jour)

II.2) Détection automatique de changements verticaux

Dans un deuxième temps, nous testons la capacité du logiciel à détecter automatiquement les variations altimétriques. Pour cela, nous créons un M.N.T. de 500 m de coté à partir d'un couple de photos aériennes de 1978 (zone entre les cratères Dolomieu et Bory, voir figure 3). Le pas du M.N.T. est de 2 m. La résolution des photos scannées (d'après tirages) est de l'ordre de 1 m. En 1986, une éruption a eu lieu dans la zone, une coulée et un cône sont apparus. Nous recherchons ces déformations sur le couple de 1986 (postérieur à l'éruption). Le M.N.T. est recalculé par corrélation automatique.

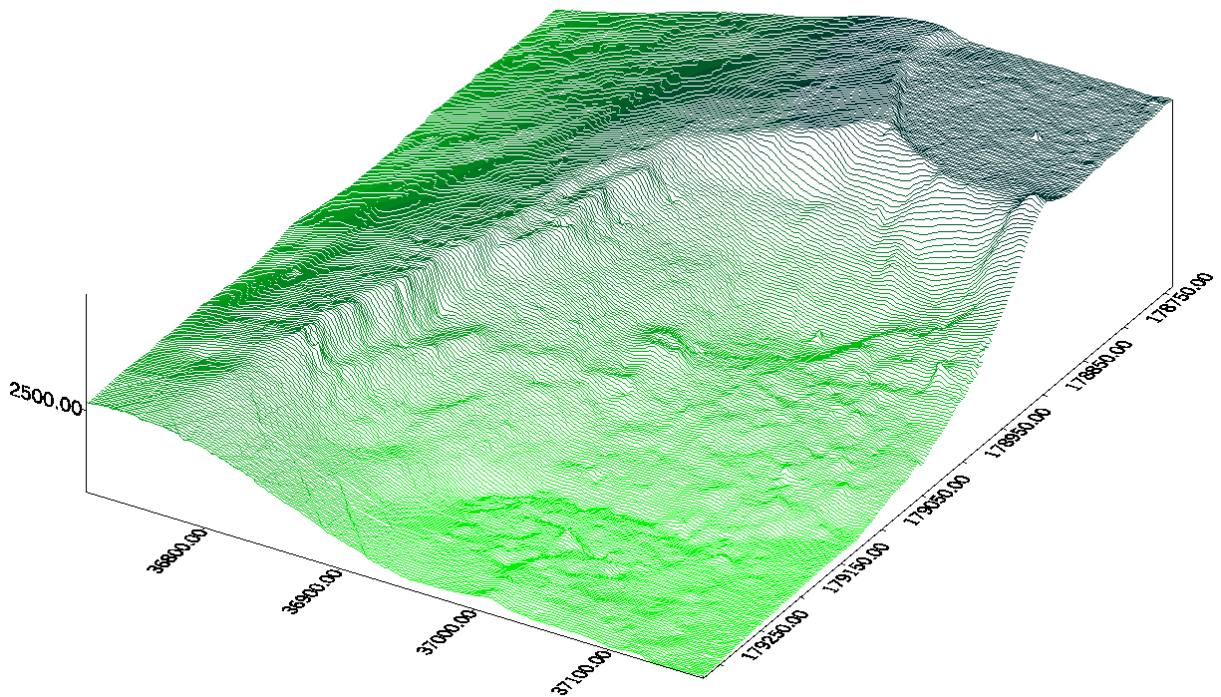


Figure 3 : M.N.T. réalisé par stéréo-restitution. Zone entre les cratères Dolomieu et Bory, photos de 1978.

Les résultats sont les suivants :

- Nous détectons facilement la coulée de lave (limites et épaisseur, voir figure 4). On peut calculer sur la zone le volume émis.
- Le cône n'est reconstitué automatiquement que jusqu'à une altitude d'une quinzaine de mètres. Au delà la différence de position des photos sort de la limite du restituteur (mais ce paramètre peut être étendu, au prix d'une augmentation du temps de calcul, le reste du cône peut être reconstitué par corrélation manuelle). Un mouvement au bord de la falaise du Dolomieu de 1 m en vertical est repéré. Ce mouvement, le glissement d'un bloc, n'était pas identifié jusqu'à présent.
- Tout les points ne sont pas automatiquement recalculés (environ 20 % de rejets). Les changements d'aspect de la surface peuvent localement empêcher la corrélation (dépôt

de cendre, surface d'une coulée particulièrement lisse ou sombre, ombres différentes d'un couple à l'autre)

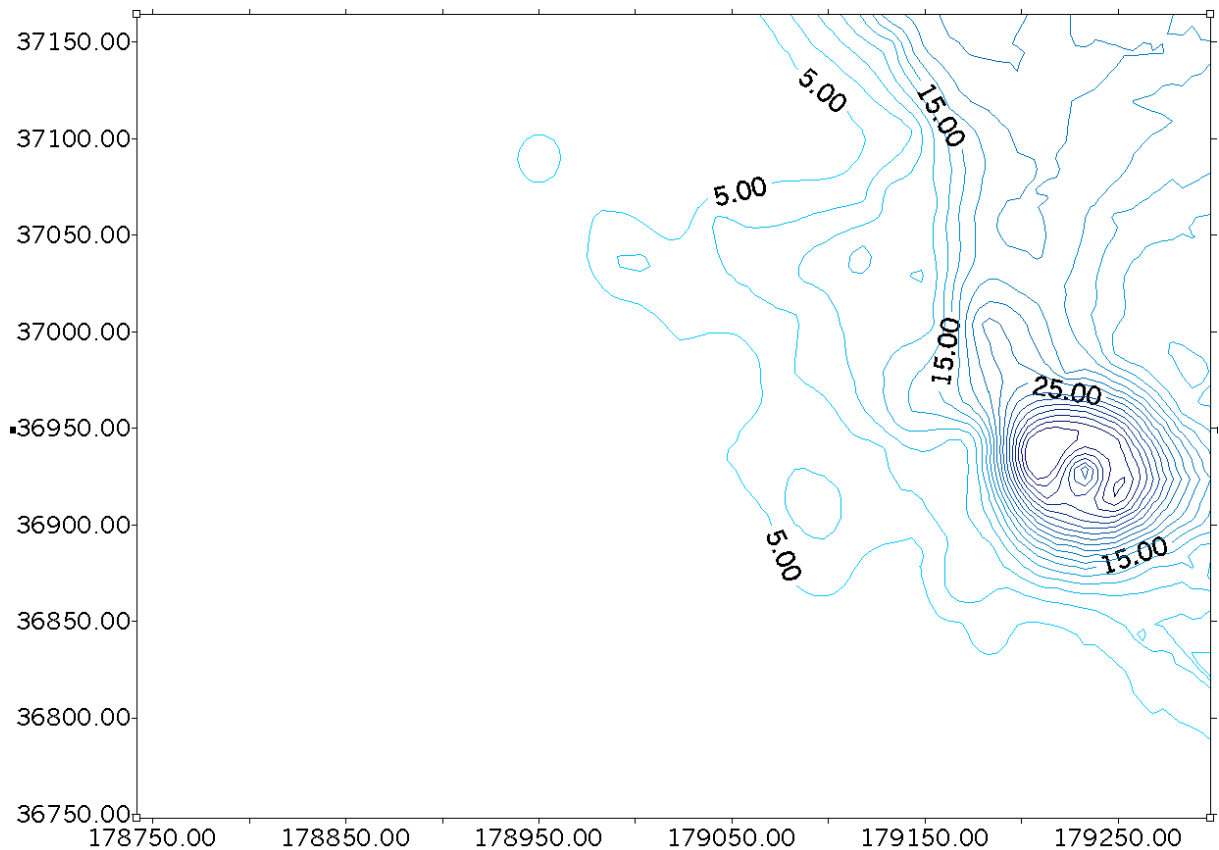


Figure 4 : Carte des déformations entre 1978 et 1986. On voit le bord de la coulée et le cône formée lors de l'éruption de 1986.

En conclusion, la résolution de 1 mètre permet de détecter des changements verticaux à une résolution de l'ordre du mètre. De plus l'utilisation d'un capteur C.C.D. à bord du satellite implique une augmentation sensible de la dynamique de l'image, d'où une meilleure corrélation dans les zones sombres ou lisses. Les données orbitales peuvent aussi améliorer la précision des modèles.

Un programme a été écrit pour générer des déformations sur un M.N.T. et calculer une simulation des résultats obtenus par le logiciel de stéréo-restitution.

II.3) Utilisation de photos obliques

Ne disposant pas de photos aériennes prises en vue oblique et en condition « stéréo », nous utilisons des photos prises en hélicoptère ou depuis le sol. Ceci nous permet d'évaluer la précision et les limites des futures images S.V.O.. En effet, pour augmenter le nombre d'images sur un site donné (le but étant d'avoir une image par jour), l'orbite du satellite impose des vues obliques, avec des angles de l'ordre de 30°. Les photos utilisées n'ont pas été prises en condition stéréo (points visés différents sur les deux images, mauvais recouvrement entre les images). Le résultat s'avère tout à fait satisfaisant, la précision planimétrique (sur les zones en premier plans) est de l'ordre du mètre (pour des pixels allant de 20 cm à 1 mètre).

La précision altimétrique varie de 1 à 3 m (selon les couples sélectionnés et la position du point mesuré dans l'image).

La aussi, la précision attendue de S.V.O. est sensiblement supérieure. Les angles sont plus faibles et la dynamique du capteur très supérieure. La limite de la méthode porte sur le nombre de points de calage visibles sur la scène (au minimum 3).

III) Suites des tests

Un ensemble de photos stéréo seront présent courant février 2001 au Piton de la Fournaise. Les limites exactes des conditions de prise de vue obliques pourront être cernées. De plus, d'autres couples de photos aériennes stéréo digitalisées d'après négatifs à 1500 dpi sont attendues pour compléter les tests.

Des tests sur l'imagerie dans le proche infra-rouge sont aussi en cours. L'utilisation d'images ASTER (résolution de 15 à 90 m, 14 canaux allant du visible à l'infrarouge thermique) et des données du Piton de la Fournaise permettront d'évaluer les capacités et l'intérêt de l'imagerie thermique en milieu volcanique.

IV) Conclusions

Les premiers tests montrent qu'un satellite comme S.V.O. serait tout à fait en mesure de nous informer sur l'apparition de changements à la surface des volcans. Nous pouvons, en utilisant les logiciels actuellement à notre disposition, détecter automatiquement des mouvements verticaux de 1 mètre (50 cm en utilisant du G.P.S. cinématique en complément). La détection des variations horizontales dépend de la taille et de la forme des objets :

- Supérieure 1 m pour un objet ponctuel (peut être diminuée si les images sont très proches temporellement, le « bruit » engendré par les phénomènes climatiques ou saisonniers est alors négligeable).
- moins de 1 m si l'objet présente une extension de plusieurs mètres (ex : faille).

L'utilisation d'une résolution supérieure n'apporterait pas d'amélioration notable. Au contraire, les variations à petite échelle, indépendante des phénomènes volcaniques, sont encore plus importantes et sources d'erreurs. Le traitement automatique des données serait beaucoup plus complexe. Une résolution plus faible ne permettrait pas de détecter certains phénomènes (début de croissance d'un dôme, limite et épaisseur précises d'une coulée...).