


 GDR
2839

Observation, surveillance et alerte temps réel de l'activité des volcans par télédétection des points chauds et des panaches de cendres

Yannick Guéhenneux¹, Philippe Labazuy¹, Jean-Claude Bergès², Philippe Cacaault³, Thierry Souriot¹

1. *Laboratoire Magma et Volcans, CNRS, IRD, Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France*

2. *PRODIG, UMR 8586, CNRS, Université Paris 1, Paris, France*

3. *Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, CNRS, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France*

Email: Y.Guehenneux@opgc.univ-bpclermont.fr

ABSTRACT

Les satellites météorologiques Meteosat Seconde Génération (MSG), grâce à la très haute répétitivité temporelle (une image toutes les 15 minutes), et la grande couverture spectrale (12 canaux du visible à l'infrarouge) de leur capteur SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager), représentent de formidables outils pour la détection, la surveillance et l'analyse des zones volcaniques actives et des panaches de cendres volcaniques. L'intérêt des données à basse résolution spatiale et haute résolution temporelle, des satellites géostationnaires, dans la surveillance quasi temps réel de l'activité volcanique a déjà été démontré (e.g. : Harris et al., 2000). L'objectif des travaux actuels est de concevoir et rendre opérationnel un service d'observation temps réel des anomalies thermiques liées à l'activité des édifices volcaniques ainsi que le suivi et la quantification des émissions de panaches de cendres associées, au sein de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC). C'est dans ce contexte qu'une convention permettant la réception et le droit à l'utilisation temps réel des données MSG a été signée entre EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), MétéoFrance et l'OPGC, permettant l'installation, début 2009, d'une station de réception des données MSG au sein de l'OPGC.

L'étape préliminaire du projet de surveillance thermique a débuté par une phase de test des capacités de détection des points chauds par le capteur SEVIRI. Cette phase de test a été réalisée par comparaison avec un autre radiomètre imageur : MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) qui offre une image dans 36 bandes spectrales du visible à l'infrarouge thermique avec une résolution spatiale de 250m pour le visible à 1km pour l'infrarouge thermique et une résolution temporelle maximale de 6h. La comparaison se base sur l'utilisation de l'algorithme de détection de l'activité volcanique MODVOLC développé pour MODIS par Wright et al. (2004). Cet algorithme définit le NTI (Normalized Thermal Index) comme le rapport de la différence de radiance entre les canaux à 3,9µm et 12µm, et de la somme de ces radiances :

$$NTI = \frac{[Rad_{3,9\mu m} - Rad_{12\mu m}]}{[Rad_{3,9\mu m} + Rad_{12\mu m}]} [1]$$

Le NTI permet une bonne discrimination entre les surfaces volcaniques actives et les autres types de surfaces susceptibles d'être imagées, et cela par un simple système de valeur limite, fixée à -0,84 pour les scènes de jour et -0,64 pour les scènes de nuit. Tout pixel qui a une valeur de NTI supérieure à ces seuils est considéré comme une cible thermiquement anormale.

Les résultats de la comparaison entre SEVIRI et MODIS effectuée pour l'éruption du Piton de la Fournaise du 02 janvier 2010 sont présentés dans la figure 1. A 08h00 GMT soit 12h00 Local, l'observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (OVVPF) signale le début d'une crise sismique sous le Piton de la Fournaise, au même moment l'image obtenue par MSG dans le canal à 3,9µm (Figure 1C) met en évidence une anomalie thermique au sud-est de l'île. A 10h00 GMT, l'OVVPF annonce le début de l'éruption avec des fontaines de laves s'élevant à une vingtaine de mètres et la mise en place de petites coulées, sur l'image MSG correspondante (Figure 1D) l'anomalie thermique est toujours

clairement identifiable. Il faut attendre 19h05 GMT pour que MODIS image l'île de la Réunion et détecte l'éruption du Piton de la Fournaise, soit plus de 10 heures après la détection effectuée par MSG.

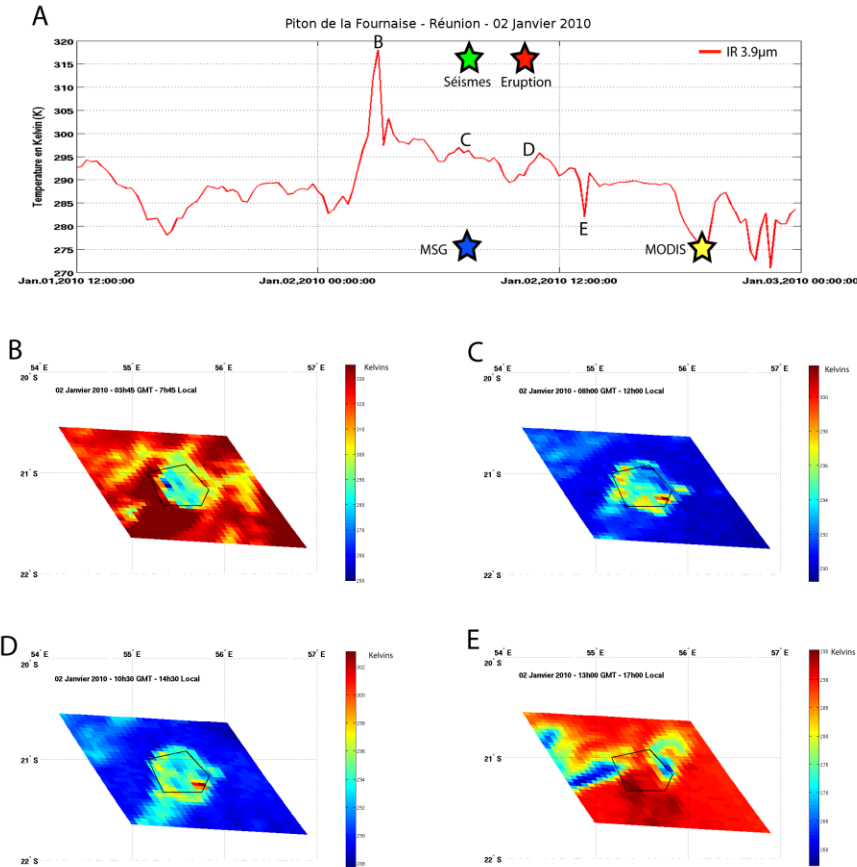


Figure 1 : Suivi thermique de l'éruption du Piton de la Fournaise, le 02 janvier 2010.

La figure 1A représente le profil d'évolution de la température de brillance au dessus du Piton de la Fournaise entre le 01 janvier 2010 à 12h00GMT et le 03 janvier 2010 à 00h00GMT. L'étoile verte marque le début de la crise sismique signalée par l'OVPF, la rouge : le début de l'éruption, la bleue : la détection d'une anomalie thermique par MSG, et la jaune : la détection de l'éruption par MODIS. Les lettres « B,C,D,E » resituent les figures 1B, 1C, 1D, et 1E dans la chronologie. Les figures 1B à 1E sont des images MSG de la température de brillance dans le canal à 3.9µm, l'échelle de couleur est en Kelvins, les pentagones noirs au centre représentent grossièrement les limites de l'île de la Réunion.

Le pic imagé par la figure 1B correspond à la variation journalière de température et au réchauffement de la mer quand le soleil se lève. Les figures 1C et 1D présentent l'état thermique de l'île de la Réunion, respectivement au début de la crise sismique, et au début de l'éruption. Enfin la figure 1E illustre le passage d'une couverture nuageuse au dessus l'île de la Réunion bruitant le signal thermique.

Le deuxième volet de la mise en place d'un service d'observation, de surveillance et d'alerte de l'activité volcanique concerne l'automatisation de la détection des panaches de cendres et de la discrimination entre les nuages de cendres et les nuages d'eau liquide et/ou de glace. Ce travail s'appuie sur le développement d'un nouvel algorithme simple et robuste, basé sur la méthode d'absorption inverse définie par Prata (1989a et b). Cette méthode dual-band utilise les canaux de l'infrarouge thermique à 10.8µm et 12µm pour discriminer les nuages d'eau et de glace des nuages de cendres, qui absorbent et réfléchissent différemment les radiations à ces longueurs d'ondes. Prata

(1989a et b) définit ainsi la différence de température de brillance (BTD) comme étant la différence entre la température de brillance dans le canal à 10.8µm et la température de brillance dans le canal à 12µm :

$$BTD = Tb_{IR10.8\mu m} - Tb_{IR12\mu m} [2]$$

La cendre réfléchissant plus de rayonnement à 8-11µm qu'à 12-13µm, et la température de brillance étant inversement proportionnelle à la radiance, la BTD est alors négative pour les pixels contenant de la cendre. A l'inverse un nuage d'eau liquide, ou de d'eau glacée aura une BTD positive car l'eau réfléchit moins de rayonnement à 8-11µm qu'à 12-13µm.

Eruption de l'Etna du 24 novembre 2006

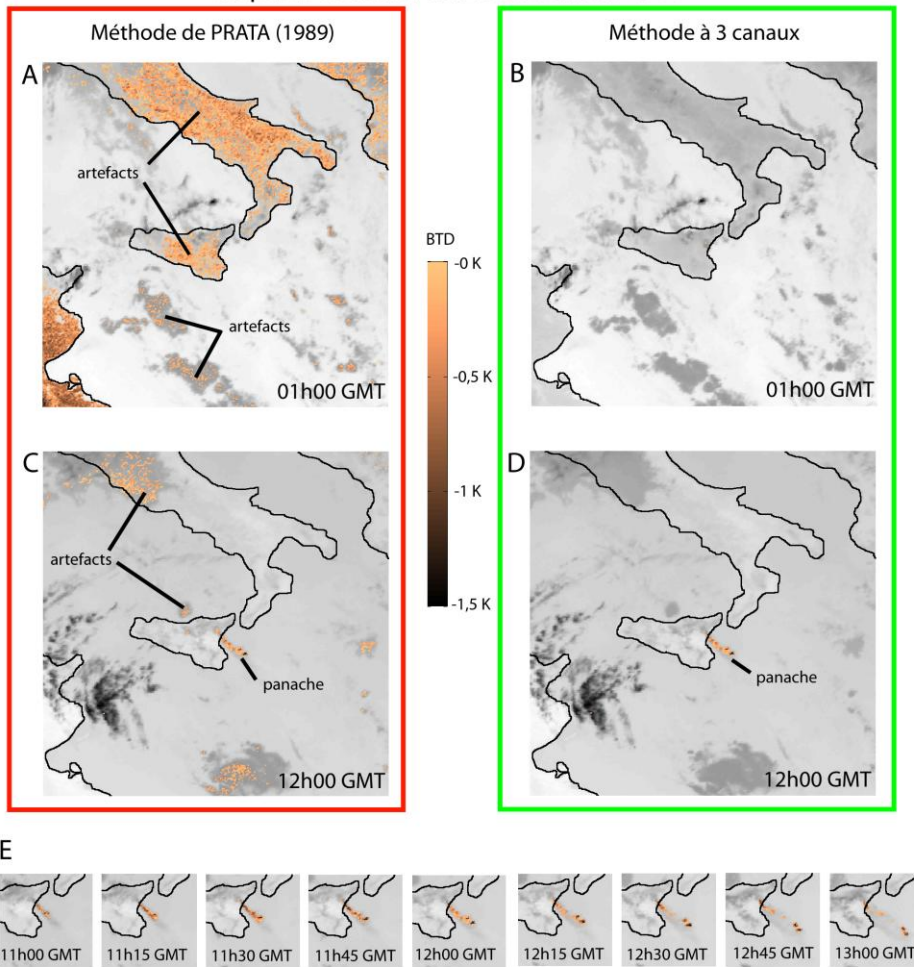


Figure 2 : Comparaison de la méthode de détection des panaches de cendres volcaniques de Prata (1989a et b) et de la méthode à 3 canaux.

Les figures 2A et 2C sont les résultats obtenus avec la méthode de Prata (18989 a et b) à respectivement 01h00GMT et 12h00GMT le 24 Novembre 2006. Les figures 2B et 2D sont les résultats obtenus avec la nouvelle méthode à 3 canaux aux mêmes dates. Les images de fond en niveaux de gris représentent l'état thermique dans le canal à 10.8µm, les pixels considérés comme panache de cendres sont représenté dans une échelle de couleur allant de l'ocre (pour les BTD proche de 0) jusqu'au marron foncé (pour les BTF fortement négative). La figure 2E illustre le suivi de l'évolution du panache entre 11h00 GMT et 13h00 GMT avec une image toutes les 15 minutes.



Cette méthode a été appliquée à l'éruption de l'Etna du 24 Novembre 2006 (Figure 2A, et 2C), et les résultats obtenus ont mis en évidence le caractère non discriminant de cette méthode, en raison d'un grand nombre d'artefacts qui rend impossible un processus d'automatisation de la détection. Les limites de cette méthode sont déjà bien identifiées et comprises (Simpson et al., 2000; Prata et al., 2001).

L'algorithme développé ici est également basé sur l'antagonisme du comportement des cendres et de l'eau dans l'infrarouge thermique. Il utilise, en plus des canaux à 10.8 et 12µm, le canal à 8.7µm sensible à la présence de SO₂, gaz abondant dans les panaches volcaniques. L'objectif est de limiter le nombre d'artefacts liés à la présence de nuages convectifs ou au relâchement thermique qui rend la méthode dual-band proposée par Prata (1989a et b) inutilisable la nuit. Le nouvel algorithme appelé « Méthode à 3 canaux » utilise les deux tests suivants :

$$BTD1 = Tb_{IR10.8\mu m} - Tb_{IR12\mu m} [2] \quad BTD2 = Tb_{IR8.7\mu m} - Tb_{IR10.8\mu m} [3]$$

Pour qu'un pixel soit considéré comme contenant de la cendre, il faut qu'il vérifie les deux conditions suivantes :

$$[BTD1 < 0] \text{ et } [BTD2 > 0]$$

La nouvelle méthode à 3 canaux a aussi été appliquée à l'éruption de l'Etna du 24 novembre 2006, et la figure 2 présente la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la méthode de Prata (1989 a et b). L'algorithme 3 canaux permet de s'affranchir quasi totalement du problème d'artefacts de la méthode du al band, et peut être utilisée dans un système d'alertes et de suivi automatisé.

Cette étude préliminaire a permis de montrer la possibilité et l'intérêt d'utiliser les données MSG dans le cadre d'une observation, surveillance et processus d'alerte temps réel de l'activité volcanique. L'analyse des capacités de surveillance thermique de MSG a mis en avant la possibilité d'une détection précoce des événements éruptifs (anomalie thermique détectée dès le début de la crise sismique) ; et le développement d'une nouvelle méthode de détection des panaches de cendres volcanique rend possible un système d'alerte et de suivi temps réel, viable et automatisé.

REFERENCES

- Harris A. J. L. ; Flynn L. P. ; Dean K. ; Pilger E. ; Wooster M. ; Okubo C. ; Mougini-Mark P. ; Garbeil H. ; Thornber C. ; De La Cruz-Reyna S. ; Rothery D. ; Wright R. (2000), Real-time satellite monitoring of volcanic hot spots, *Geophysical monograph*, vol. 116, pp. 139-159 (1 p.1/2).
- Prata A. J. (1989a), Infrared radiative transfer calculations for volcanic ash clouds, *Geophysical Research Letters* vol. 16, pp.1293-1296.
- Prata A. J. (1989b), Observations of volcanic ash clouds in the 10-12 m window using AVHRR/2 data, *International Journal of Remote Sensing*, vol.10, pp. 751-761.
- Prata A. J. ; Bluth G. ; Rose B. ; Schneider D. ; Tupper A. (2001), Failures in detecting volcanic ash from satellite base technique – comments, *Remote Sensing of Environment*, vol. 78, pp. 341-346.
- Simpson J. J. ; Hufford G. ; Pieri D. ; Berg J. (2000), Failures in detecting volcanic ash from satellite base technique, *Remote Sensing of Environment*, vol. 72, pp. 191-217.
- Wright R. ; Flynn L. P. ; Garbeil H. ; Harris A. J. L. ; Pilger Eric ; (2004), MODVOLC: near-real-time thermal monitoring of global volcanism , *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 135, issues 1-2, pp. 29-49.