

# Abstract

In 2010, after four centuries of quiescence, Mount Sinabung (Northern Indonesia) erupted and released large amounts of ash and debris forcing thousands of residents to leave their villages. Mount Sinabung develops upon the Great Sumatran Fault, a major strike slip fault accommodating the oblique subduction of the Australian plate beneath the Sunda plate. The volcano began to inflate approximately 2 years after the occurrence of the 2005 Nias earthquake (8.6 Mw) that struck offshore Sumatra. Several studies show a possible causal relationship between earthquakes and volcanic eruptions, which suggests that the Nias earthquake could have been responsible for the reawakening of Mount Sinabung in 2010. Here we test this hypothesis by exploring the emergence of large-scale, low-temperature (low-T), thermal anomalies at Mount Sinabung from mid-2002 to the end of 2015 using radiance data measured by the MODIS instruments aboard NASA's Aqua and Terra satellites. Indeed, an objective is to see if structural features control the different low-T thermal anomaly patterns observed by analysing the correlation between the relative variations of radiance, the location

of major faults, the distribution in space and time of earthquakes following the Nias event. Moreover, in order to evaluate the link between magma and fluids injection controlled by faults activation, petrological procedures, e.g., diffusion chronometry, were integrated with methods mentioned above to demonstrate the possible interaction between these two events.

Here we show a large-scale thermal unrest right after the Nias earthquake in 2005 and a brutal decrease of the low-T thermal anomaly  $\approx 1$  year before the 2010 eruption, which could not be detected by any other monitoring methods. We compare these thermal variations with the occurrence of earthquakes, according to their PGVs measured at Mount Sinabung and show that seismic events play a key role in the activation of magmatic reservoirs and crust permeability. The calculated shallow depth of the magmatic reservoir using thermobarometry methods provides valuable insight, indicating that the occurrence of earthquakes in the shallow crust since 2005 has the potential to reactivate the underlying magmatic system beneath Mount Sinabung with relative ease.

The remote sensing methodology outlined can be applied to volcanic systems worldwide to predict thermal unrest in the years leading up to an eruption. This technique can prove useful in establishing possible correlations between major geological events such as earthquakes and volcanic eruptions. By using this method, we can gain insights into the behavior of volcanic systems and potentially provide early warning signs for volcanic activity.

# Résumé

En 2010, après quatre siècles de quiescence, le Mont Sinabung (nord de l'Indonésie) est entré en éruption et a rejeté de grandes quantités de cendres et de débris, forçant des milliers d'habitants à quitter leurs villages. Le mont Sinabung se développe sur la grande faille de Sumatra, une importante faille de décrochement qui résulte de la subduction oblique de la plaque australienne sous la plaque Sunda. Le volcan a connu une inflation environ deux ans après le tremblement de terre de Nias de 2005 (8.6 Mw) qui a frappé au large de Sumatra. Plusieurs études montrent une possible relation de cause à effet entre les tremblements de terre et les éruptions volcaniques, ce qui suggère que le tremblement de terre de Nias pourrait être responsable du réveil du Mont Sinabung en 2010. Nous testons ici cette hypothèse en explorant l'émergence d'anomalies thermiques à grande échelle et à basse température (low-T) au Mont Sinabung de mi-2002 à fin 2015 en utilisant les données de radiance mesurées par les instruments MODIS à bord des satellites Aqua et Terra de la NASA. En effet, l'un des objectifs est de voir si les caractéristiques structurales contrôlent les différents modèles d'anomalies

thermiques à basse température observés en analysant la corrélation entre les variations relatives de la radiance, la localisation des failles majeures, la distribution dans l'espace et dans le temps des tremblements de terre qui ont suivi l'événement de Nias. De plus, afin d'évaluer le lien entre l'injection de magma et de fluides contrôlée par l'activation des failles, des procédures pétrologiques, par exemple la chronométrie de diffusion, ont été intégrées aux méthodes mentionnées ci-dessus pour démontrer l'interaction possible entre ces deux événements.

Nous montrons ici une perturbation thermique à grande échelle juste après le tremblement de terre de Nias en 2005 et une diminution brutale de l'anomalie thermique à basse température 1 an environ avant l'éruption de 2010, qui n'a pu être détectée par aucune autre méthode de surveillance. Nous comparons ces variations thermiques avec l'occurrence des tremblements de terre, selon leurs PGV mesurés au Mont Sinabung et montrons que les événements sismiques jouent un rôle clé dans l'activation des réservoirs magmatiques et de la perméabilité de la croûte. La faible profondeur calculée du réservoir magmatique à l'aide de méthodes thermobarométriques fournit des informations précieuses, indiquant que l'occurrence de tremblements de terre dans la croûte peu profonde depuis 2005 a le potentiel de réactiver le système magmatique sous-jacent sous le mont Sinabung avec une relative facilité.

La méthodologie de télédétection décrite peut être appliquée aux systèmes volcaniques du monde entier pour prédire les troubles thermiques dans les années précédant une éruption. Cette technique peut s'avérer utile pour établir d'éventuelles

corrélations entre des événements géologiques majeurs tels que les tremblements de terre et les éruptions volcaniques. En utilisant cette méthode, nous pouvons mieux comprendre le comportement des systèmes volcaniques et éventuellement fournir des signes d'alerte précoce pour l'activité volcanique.