

Dynamique spatio-temporelle des systèmes de stockage magmatique, vers une "horloge pré-éruptive". Application à l'île de la Dominique (Petites Antilles) et au Kamchatka (Russie)

RÉSUMÉ

Les éruptions volcaniques font partie des événements les plus dévastateurs sur Terre. En contexte de subduction, les éruptions mettent généralement en jeu des magmas différenciés : après de longs séjours dans des réservoirs magmatiques, les magmas basiques issus de la fusion partielle du manteau évoluent vers des compositions différenciées, donc plus riches en silice, plus visqueuses et plus riches en éléments volatils. Ces magmas peuvent ainsi donner des styles éruptifs variés plus ou moins explosifs qui dépendent de différents paramètres dont la composition du magma, le volume de magma mis en jeu, et le comportement des éléments volatils lors de la remontée dans les conduits d'alimentation.

Réussir à estimer le temps séparant les changements de conditions de stockage des magmas à l'intérieur d'un réservoir magmatique et le début d'une éruption est l'un des défis majeurs en volcanologie. Une observation directe du système de stockage des magmas sous les volcans est impossible mais cette échelle de temps peut être accessible, notamment grâce à l'étude de cristaux amenés en surface par une éruption volcanique passée.

En effet, comme les cernes des arbres, qui peuvent permettre d'obtenir des informations sur des événements passés, les cristaux qui grandissent au sein de réservoirs magmatiques alimentant des volcans enregistrent les modifications des conditions de stockage des magmas avant une éruption. Dans beaucoup d'éruptions de grande ampleur, il a été montré que des réinjections de magma ou des événements de décompression pouvaient se produire dans le réservoir et être enregistrés par les cristaux sous la forme de zonations (i.e. zones de compositions différentes du cœur du cristal). Avec le temps, un rééquilibrage des compositions chimiques entre les zonations par la diffusion d'éléments se produit (diffusion du fer et magnésium pour les orthopyroxènes, diffusion du titane dans les magnétites, par exemple). Lors d'une éruption, la diffusion est figée par le refroidissement rapide des magmas émis et il est alors possible de déterminer le temps séparant les réajustements dans le réservoir de l'éruption.

Les temps de réactivation magmatique ont été étudiés au cours de cette thèse pour des volcans de zones de subduction, générant un volcanisme d'arc particulièrement dangereux, en se focalisant sur des éruptions explosives d'un volcan de l'île de la Dominique ainsi que des éruptions récentes monitorées de la zone de subduction du Kamchatka (Russie). Pour l'un de ces derniers exemples, les temps ont été corrélés avec les premiers signaux précurseurs de l'éruption (géophysiques et géochimiques) et permettront de mieux gérer les futures crises volcaniques.

Des modèles spatio-temporels des dynamiques des zones d'alimentation magmatique à l'origine de sept éruptions sont donc proposés. Ce nouvel ensemble de données de temps de diffusion sur des volcans de zones de subduction permet une meilleure compréhension de ces systèmes, sachant que les études de temps de diffusion sur les volcans des Petites Antilles et du Kamchatka sont peu nombreuses, malgré des risques volcaniques importants pour le cas des Petites Antilles.

Ces résultats sur des éruptions passées de la Dominique et du Kamchatka avec la compréhension de la dynamique des réservoirs et les corrélations entre temps pétrologiques et signaux sismiques pour l'éruption de 2010 du Kizimen sont des avancées importantes qui pourront être appliquées pour la gestion de crises volcaniques futures au niveau de zones de subduction. Si la zone de stockage des magmas pour un volcan donné est stable dans le temps, et si la corrélation entre les réajustements dans le réservoir et les signes précurseurs est montrée pour des éruptions passées, ces échelles de temps permettront, lors d'une réactivation de ces volcans, d'avoir une horloge pré-éruptive utile pour la protection des populations.

Mots-clés : éruptions volcaniques, orthopyroxènes, zonations, échelles de temps, dynamiques des magmas

Spatio-temporal dynamics of the magmatic plumbing systems, towards an « early-warning clock ». Application to Dominica island (Lesser Antilles) and Kamchatka (Russia)

ABSTRACT

Volcanic eruptions are among the most devastating events on Earth. In a subduction context, eruptions generally involve differentiated magmas: after long repose times in magma reservoirs, basic magmas resulting from the partial melting of the mantle evolve towards differentiated compositions, thus richer in silica, more viscous and richer in volatile elements. These magmas can give various eruptive styles more or less explosive depending on different parameters such as the composition of the magma, the volume of magma involved, and the behavior of volatile elements during the ascent in the volcanic conduits.

Estimating the time between changes in magma storage conditions within a magma reservoir and the onset of an eruption is one of the major challenges in volcanology. A direct observation of the magma storage system under the volcanoes is impossible but this timescale can be accessible thanks to the study of crystals brought to the surface by a past volcanic eruption.

Indeed, like tree rings, which can provide information on past events, crystals growing within magma reservoirs feeding volcanoes record changes in magma storage conditions before an eruption. In many large-scale eruptions, it has been shown that magma injections or decompression events can occur in the reservoir and be recorded by the crystals as zonations (i.e. rims of different compositions than the crystal cores). With time, a homogenization of chemical compositions between zonations by diffusion of elements occurs (for example, the diffusion of iron and magnesium for orthopyroxenes or diffusion of titanium in magnetites). During an eruption, the diffusion is frozen by the rapid cooling of the emitted magmas and it is then possible to determine the time between the readjustments in the reservoir and the eruption.

Magmatic reactivation timescales have been studied during this thesis for subduction zone volcanoes generating particularly dangerous arc volcanism, focusing on explosive eruptions from a volcano on the island of Dominica as well as well-monitored recent eruptions from the Kamchatka subduction zone (Russia). For one of the latter examples, the timescales were correlated with the first precursory signals of the eruption (geophysical and geochemical) and will allow to better manage future volcanic crises. Spatio-temporal models of the dynamics of the magmatic feeding zones at the origin of seven eruptions are thus proposed. This new set of diffusion timescales data on subduction zone volcanoes allows a better understanding of these systems, knowing that diffusion timescales studies on volcanoes of the Lesser Antilles and Kamchatka are few, despite the important volcanic risks for the case of the Lesser Antilles.

These results on past eruptions of Dominica and Kamchatka with the understanding of reservoir dynamics and correlations between petrological timescales and seismic signals for the 2010 Kizimen eruption are important advances that can be applied for the management of future volcanic crises at subduction zones. If the magma storage area for a given volcano is stable in time, and if the correlation between reservoir readjustments and precursor signals is shown for past eruptions, these timescales will allow, during a reactivation of these volcanoes, to have a useful pre-eruptive warning clock for the protection of the populations.

Keywords: volcanic eruptions, orthopyroxenes, zonations, timescales, magma dynamics