

# Mantle xenoliths from the 2021 Tajogaite eruption (La Palma): a window into the magma genesis and evolution



Master thesis in earth science  
by Schranz Jonas

Under the direction of

Director : Prof. Luca Caricchi

Expert : Prof. Sébastien Pilet

Signature du directeur de Master

University of Lausanne,  
January, 2024

# ABSTRACT

## English

Volcanic archipelagoes are produced by intraplate magmatism where melts are derived from the mantle and brought to the surface. They're mainly composed of ocean island basalts (OIB) that erupted at volcanic hotspots corresponding to the surface location of mantle-derived rising melts. In September 2021, a new eruption started on La Palma (Canary Islands) along the Cumbre Vieja rift zone, producing high temperatures tephrites and basanites. Historically, the Cumbre Vieja has been the locus of numerous eruptions, yielding a diverse range of highly alkaline lavas, spanning from basanite to phonolite. Mantle-derived materials such as peridotitic xenoliths have been identified in some of the erupted lavas, bringing insight into the mantle composition and into the processes of magma genesis and differentiation during melt ascent from the asthenosphere and subsequent storage in the lithosphere.

The 2021 basanites contain mantle spinel dunite xenoliths, some of which exhibit amphibole within their fractures and others that feature zones of reacted clinopyroxene and olivine. Four distinct clinopyroxene populations—dunite-hosted clinopyroxene, dunite selvage clinopyroxene, matrix phenocrysts, and low Mg# green-core clinopyroxene—alongside Fe-Ti oxides and amphibole, have been analyzed to reconstruct the magmatic history from its origin in the asthenosphere to its evolution within the lithosphere. The question of whether La Palma lavas are temporarily stored in shallow reservoirs, undergoing differentiation and potential magma mixing, or whether more intricate interactions occur at mantle depths, requires further investigation to elucidate the genesis of differentiated clinopyroxene cores, the trace elements patterns and the differentiation trend observed in the historical lavas of Cumbre Vieja, as well as to comprehend the plumbing system feeding these eruptions.

Typical petrographic assemblage of ol+cpx+Fe-Ti oxides±amph associated with mantle xenoliths has already been widely described on La Palma, in studies demonstrating the presence of Si-K-rich melts as a product of melt-rock interaction. EPMA and LA-ICPMS analysis are conducted to determine the chemical compositions in both major and trace elements, that are

used as inputs in new machine learning chemometer and thermobarometer to correlate the final petrography and chemistry with asthenospheric and lithospheric processes. Green-core clinopyroxenes exhibit differentiated cores that crystallized in equilibrium with a melt composition richer in  $\text{SiO}_2$  and poorer in  $\text{MgO}$ , similar to phonolitic melts. Compositional zonings from rim to core and the partial resorption of the core suggest that these green-cores are xenocrysts entrained by the ascending magma. Dunite-hosted clinopyroxenes are markedly depleted in High Field Strength Elements (HFSE) such as Rb, Sr, Zr, and Hf, displaying textures indicative of metasomatism leading to opx dissolution. Various metasomatic processes have been proposed to account for the genesis of alkaline mafic magmas. The major and trace element patterns of amphiboles suggest the existence of metasomatic hydrous cumulates at mantle depths. The interaction between basaltic magma and mantle peridotite occurring as amphibole veins may produce small Si-K-rich melt fractions capable of crystallizing the evolved clinopyroxene green-cores and acting as metasomatic agent to the peridotitic wall-rock. Thermobarometric analyses of clinopyroxene and amphibole are consistent with these findings, indicating that the differentiated melts are significantly cooler than the erupted lavas, yet exhibit a similar pressure range to dunite-hosted clinopyroxenes (600-700 MPa). Amphiboles thermobarometry distinctly reveal evidence of channel-like structures, supporting the proposed metasomatic processes, and two principal fractionation levels have been highlighted, at 17 and 14 km. The generation of the low-Si alkali-rich lavas of the 2021 Tajogaite eruption may rely on the presence of hydrous cumulates at mantle depth rather than high thermal anomalies associated with mantle-plumes

**key-words:** Mantle xenoliths, clinopyroxene, metasomatism, hydrous cumulates, magma genesis, magma evolution

## Français

Les archipels volcaniques sont le produit du magmatisme intraplaque, où les magmas issus du manteau sont acheminés à la surface. Ils sont principalement composés de basaltes intraplaques (OIB) qui ont éruptés au niveau des points chauds volcaniques, correspondant à l'emplacement en surface des liquides ascendant issus du manteau. En septembre 2021, une nouvelle éruption a débuté sur La Palma (îles Canaries) le long de la zone de rift de Cumbre Vieja, produisant des téphrites et des basanites à haute température. Historiquement, Cumbre Vieja a été le théâtre de nombreuses éruptions, produisant une gamme variée de laves fortement alcalines, allant des basanites au phonolite. Des matériaux dérivés du manteau, tels que des xénolithes de péridotite, ont été identifiés dans certaines des laves éruptées, apportant un éclairage sur la composition du manteau et sur les processus de genèse et de différenciation du magma lors de son ascension depuis l'asthénosphère et son stockage ultérieur dans la lithosphère.

Les basanites de 2021 contiennent des xénolithes mantellique de type dunite à spinel. Certaines d'entre elles présentent des zones de réaction composées d'olivine et clinopyroxène, et une dunite contient des amphiboles dans sa fracture. Quatre populations distinctes de clinopyroxène—clinopyroxène hébergé dans la dunite, clinopyroxène de bordure de dunite, phénocristaux matriciels et clinopyroxène à cœur vert à faible  $Mg\#$ —ainsi que des oxydes de Fe-Ti et de l'amphibole, ont été analysés pour reconstituer l'histoire magmatique depuis son origine dans l'asthénosphère jusqu'à son évolution dans la lithosphère. La question de savoir si les laves de La Palma sont temporairement stockées dans des réservoirs peu profonds, subissant une différenciation et un éventuel mélange magmatique, ou si des interactions plus complexes se produisent à des profondeurs mantelliques, nécessite des investigations supplémentaires pour élucider la genèse des cœurs verts de clinopyroxène différenciés, les spectres d'éléments traces et les tendances de différenciation observées dans les laves historiques de Cumbre Vieja, ainsi que pour comprendre le système d'alimentation de ces éruptions.

L'assemblage pétrographique typique d' $ol+cpx+oxydes\ de\ Fe-Ti \pm amph$  associé à des xénolithes mantelliques, a déjà été largement décrit dans des études démontrant la présence de liquides riches en Si et K résultant d'une interaction entre le magma et la roche. Des analyses

EPMA et LA-ICPMS sont menées pour déterminer les compositions chimiques en éléments majeurs et traces, qui sont utilisées comme input dans de nouveaux chemomètres et thermobaromètres basés sur le machine-learning pour corréler la pétrographie et la chimie finales avec les processus asthénosphériques et lithosphériques. Les clinopyroxènes à cœur vert présentent des cœurs différenciés qui ont cristallisé en équilibre avec une composition de magma plus riche en  $\text{SiO}_2$  et plus pauvre en  $\text{MgO}$ , similaire aux magmas phonolitiques. Les zonations compositionnelles du bord vers le cœur et la résorption partielle du cœur suggèrent que ces cœurs verts sont des xéno-cristaux entraînés par le magma ascendant. Les clinopyroxènes périclitiques sont fortement appauvris en HFSE tels que Rb, Sr, Zr et Hf, présentant des textures indicatives de métasomatisme conduisant à la dissolution de l'opx. Différents processus métasomatiques ont été proposés pour expliquer la genèse des magmas mafiques alcalins. Les modèles d'éléments majeurs et traces des amphiboles suggèrent l'existence de cumulats hydratés métasomatiques à des profondeurs mantellique. L'interaction entre le magma basaltique et la péridotite mantellique, se produisant sous forme de veines d'amphibole, peut produire de petites fractions de magma riche en Si-K capables de cristalliser les cœurs de clinopyroxène vert évolués et d'agir comme agent métasomatique sur la roche encaissante. Les analyses thermobarométriques des clinopyroxène et des amphibole sont cohérentes avec ces découvertes, indiquant que les magmas différenciés sont nettement plus froids que les laves éruptées, mais présentent une gamme de pressions similaire aux clinopyroxènes périclitiques (600-700 MPa). La thermobarométrie des amphiboles révèle distinctement des preuves de structures en forme de canaux verticaux, soutenant les processus métasomatiques proposés, et deux principaux niveaux de fractionnement ont été mis en évidence. La genèse des laves alcalines riches en alcalins et pauvre en Si de la présente éruption pourrait dépendre principalement de la présence de cumulats hydratés dans le manteau plutôt que de fortes anomalies thermique associées au plumes mantélliques.