

VOLDORAD

un radar au cœur
des panaches volcaniques



Voldorad ! Malgré ce nom digne d'un héros de dessin animé, Voldorad n'est pas un robot mais un radar Doppler mis au point récemment par l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (O.P.G.C.) pour étudier la dynamique des panaches éruptifs. Une technologie de pointe fort utile aux volcanologues.

Voldorad en action sur l'Etna en juillet 2001, photo © OPGC

Naissance de Voldorad

Du fait de la dangerosité des éruptions explosives qui projettent des nuées de blocs incandescents et provoquent la formation de grands panaches de cendre voire d'écoulements pyroclastiques dévastateurs, il est difficile d'observer ces phénomènes de près. Pour cette raison, la volcanologie moderne a adapté de nombreuses méthodes de télédétection qui permettent d'obtenir à distance des données quantitatives sur différents processus volcaniques au cours du temps. Acronyme de *Volcano Doppler Radar*, Voldorad est un outil de haute

technologie réalisé à l'O.P.G.C. spécifiquement pour l'étude et la surveillance au sol des éruptions volcaniques explosives. Le projet est né en 1996 de la synergie de deux laboratoires clermontois, celui de Météorologie Physique, passé maître dans les études atmosphériques par techniques radar et le

Laboratoire Magmas et Volcans, expert reconnu pour les phénomènes volcaniques. Le principal intérêt de ce radar Doppler est de pouvoir effectuer des mesures de vitesse et de réflectivité directement à l'intérieur des panaches éruptifs, dans plusieurs

zones simultanément. Très peu d'équipes au monde appliquent actuellement cette technologie aux éruptions volcaniques ce qui confère son originalité à Voldorad.

Une première version du radar a été testée avec succès à l'Etna en 1998, puis allégée et compactée en une seconde version, utilisée lors de la specta-



Explosion supersonique en juillet 2001 au Laghetto, Etna

culaire éruption de ce même volcan en juillet 2001. Voldorad a déjà fourni une quantité importante de données de bonne qualité pour plusieurs épisodes éruptifs du cratère Sud-Est et pendant la formation du cône du Laghetto, lors de la grande éruption latérale.

L'effet Doppler-Fizeau

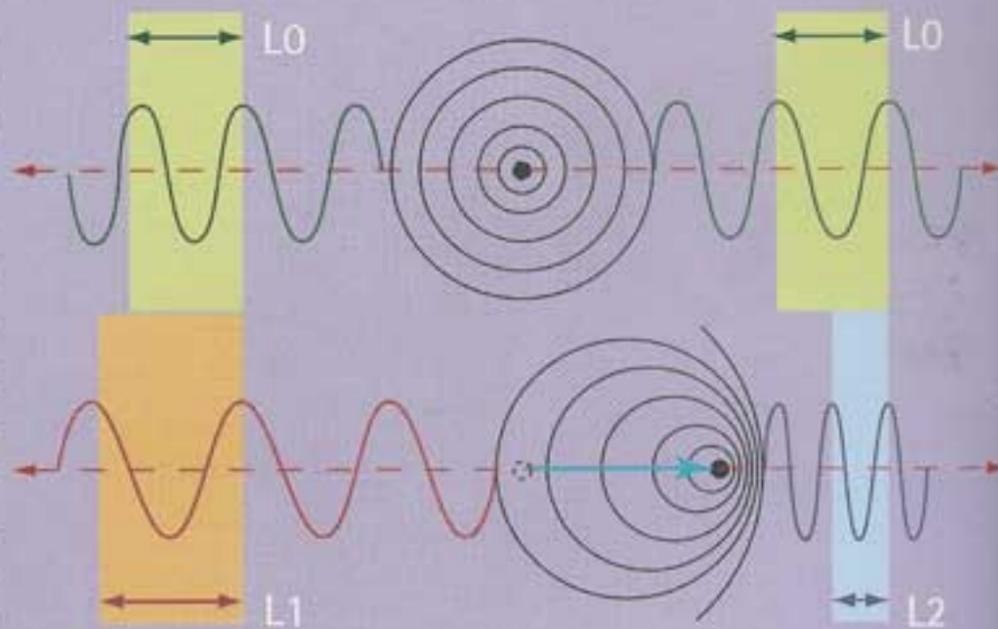


Christian Doppler

Le physicien autrichien Christian Doppler est le premier à formuler la théorie de l'effet Doppler en 1842. Il s'agit de la variation apparente de la fréquence d'une onde émise ou renvoyée par une source en mouvement par rapport à un observateur.

Ce phénomène physique explique pourquoi la sirène d'une ambulance paraît plus aiguë quand elle s'approche et plus grave quand elle s'éloigne. Lorsque l'ambulance s'approche, les ondes sonores (L0) sont compressées vers l'observateur, l'intervalle entre les ondes, la longueur d'onde diminue (L2), ce qui se traduit par une augmentation de la fréquence et un timbre plus aigu. Quand la source sonore s'éloigne, les ondes sont dilatées par rapport à l'observateur, la longueur d'onde augmente (L1), la fréquence diminue et le timbre devient plus grave. Le changement en fréquence permet de calculer la vitesse de la source et de déterminer si elle s'approche ou si elle s'éloigne.

Découvert indépendamment par le physicien et mathématicien français Armand Hippolyte Louis Fizeau, l'effet Doppler, ou Doppler-Fizeau, fut étendu six ans plus tard aux ondes lumineuses (électromagnétiques). C'est ainsi, en mesurant le décalage vers le rouge de la lumière des galaxies, que les astrophysiciens ont pu mesurer leur éloignement et mettre en évidence l'expansion de l'univers.



(Schéma F. Botinodieu - F. Lécuyer)

Voir à l'intérieur des panaches

Voldorad est un appareil de télédétection active au sol, capable de sonder le cœur des jets volcaniques d'une distance de 400 mètres à plusieurs kilomètres. Il permet de quantifier l'intensité de l'activité éruptive à partir des mesures à distance des vitesses de particules.

Voldorad est un radar Doppler pulsé qui délivre, à intervalles réguliers pendant une très courte période (1 microseconde), une puissance équivalente à celle d'une ampoule (60 W) sous forme d'une onde électromagnétique.

L'onde est transmise par une antenne Yagi* de telle façon que 80% de l'énergie se trouvent concentrés dans un faisceau de 9° d'ouverture orienté vers le jet éruptif.

Une partie du signal est rétrodiffusée par les éjecta traversant le faisceau et renvoyée vers l'antenne. Le signal reçu est amplifié, filtré puis analysé par tranches de temps successives. Le principe de fonctionnement de Voldorad repose sur l'effet Doppler-Fizeau : la vitesse des cibles est calculée grâce au décalage en fréquence qu'elle provoque sur le signal renvoyé vers le radar. Les mesures sont visualisées en temps réel sur un ordinateur sous la forme de spectres de vitesse. Au sein d'un panache éruptif, les principales cibles dans le faisceau radar sont constituées par les lambeaux de lave liquide ou solidifiée éjectés lors des explosions et propulsés hors de l'évent par la violente expansion des gaz sous pression.

Voldorad peut donc mesurer en différents endroits du panache les variations temporelles des vitesses moyennes et maximales des éjecta et distinguer les particules ascendantes des particules retombantes. Les vitesses maximales enregistrées proviennent des plus fines particules directement entraînées par les gaz et représentent donc une bonne estimation des vitesses de gaz. Une autre particularité très utile de Voldorad est sa haute résolution temporelle : une mesure est obtenue tous les dixièmes de seconde et permet l'étude détaillée d'un phénomène de courte durée telle que la décroissance de la vitesse des gaz au cours d'une explosion.

De plus, le signal est délivré avec une fréquence de 1 274 MHz et ne se trouve donc pas affecté par le brouillard, les nuages ou l'obscurité qui masquent souvent le sommet des édifices. Remplaçant avantageusement la vidéo comme méthode de surveillance, ce radar permet en outre de fournir des informations quantitatives sur l'intensité d'une éruption. La longueur d'onde relativement élevée (24 cm) permet de pénétrer et sonder, à la vitesse de la lumière soit 300 000 km/s, l'intérieur des panaches même densément chargés en particules.

* Antenne Yagi : antenne similaire aux antennes râteaux de télévision.

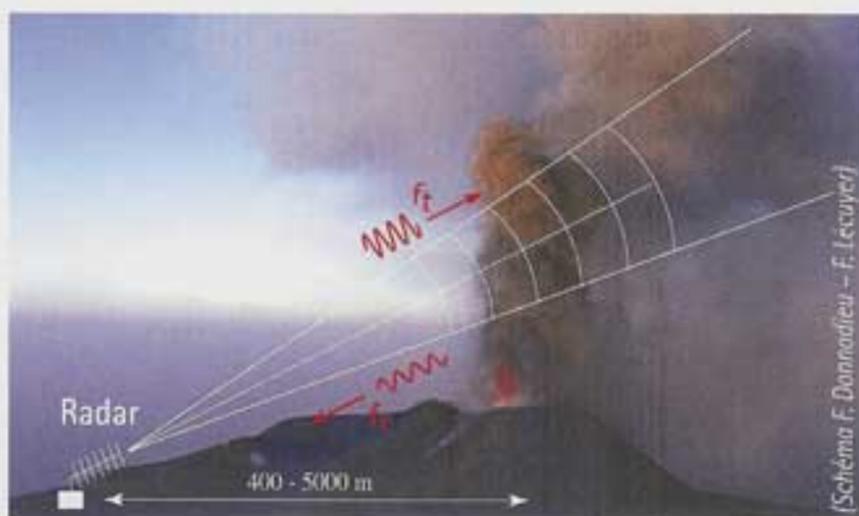
Prendre le pouls de l'Etna

Après les premiers tests effectués en 1998 sur l'Etna, une nouvelle campagne de mesures s'est déroulée en juillet 2001. Le cratère Sud-Est présentait depuis plusieurs mois des cycles de périodes de calme de quelques jours et d'épisodes éruptifs de plus en plus intenses, évoluant d'explosions stromboliennes jusqu'à des fontaines de lave de 600 à 700 m de hauteur. Les périodes de calme correspondraient à l'accumulation et la coalescence de bulles au toit d'un réservoir magmatique profond. De grosses bulles instables ainsi formées s'échapperaient par le conduit, provoquant l'éruption.

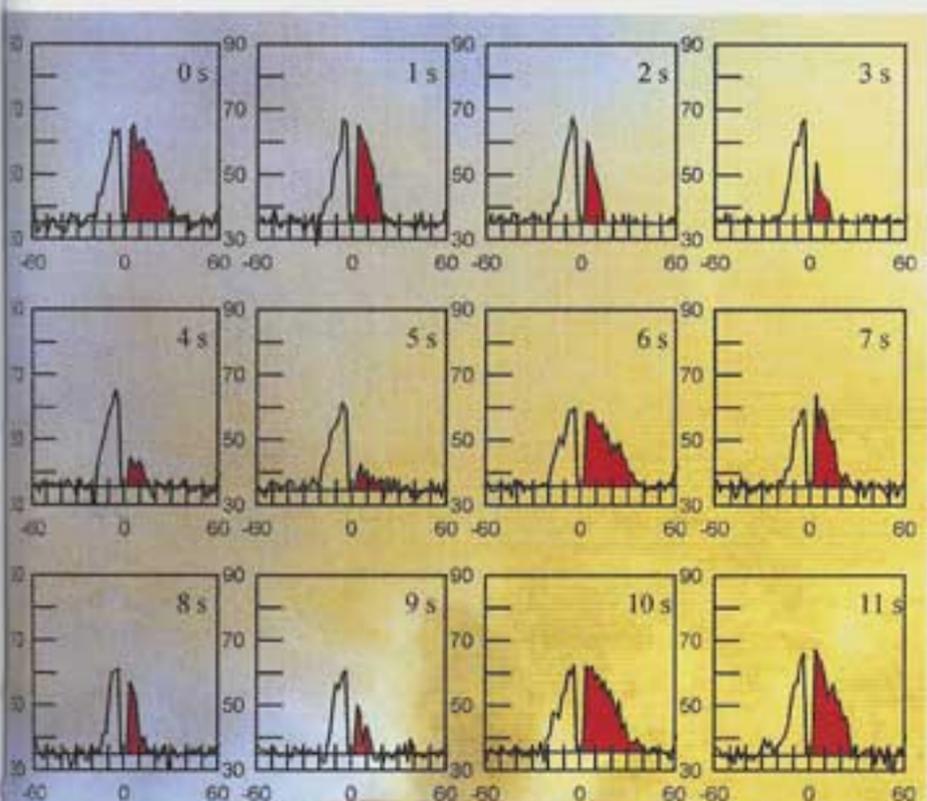
Des enregistrements radar ont été effectués à 1 km du cratère Sud-Est les 4, 7 et 13 juillet. Les vitesses verticales maximales des fines particules du jet lors de l'épisode le plus violent ont dépassé 230 m/s (presque 830 km/h !) à 100 m au-dessus de l'évent. Le traitement du signal a par ailleurs mis en évidence un comportement cyclique des jets stromboliens et des fontaines de lave du cratère Sud-Est, de 5 à 10 s environ, qui semble exister tout au long de chaque épisode éruptif. Ce comportement témoigne de la régularité des éclatements successifs de poches de gaz remontant dans le conduit magmatique. De nettes corrélations entre les vitesses maximales du jet, proches des vitesses de gaz, l'activité éruptive et l'amplitude du tremor indiquent l'influence majeure de la dynamique des bulles de gaz dans le conduit magmatique sur le tremor volcanique à l'Etna, à des profondeurs de quelques centaines de mètres.

Cinq heures de sondages ont par ailleurs été réalisées douze jours après le début de l'éruption latérale, lors de la formation très explosive du nouveau cône nommé Laghetto, à 2 580 m d'altitude sur le flanc sud du volcan. Les vitesses maximales des gaz, reconstruites d'après les mesures Doppler réalisées à 700 m, ont fréquemment dépassé la vitesse du son, expliquant les séries de détonations en "coup de canon" entendues

Principe de fonctionnement du radar Doppler : le signal transmis à l'intérieur du faisceau d'antenne (ft) est rétrodiffusé (fr) par les particules volcaniques.



par les volcanologues pendant les mesures. Séduits par les capacités de Voldorad et préoccupés par la tournure de plus en plus explosive des éruptions de l'Etna, les volcanologues italiens ont commandé un exemplaire de ce radar à l'O.P.G.C., afin de surveiller en permanence à partir de 2004 les accès de colère des cratères sommitaux. En effet, outre les dégâts considérables engendrés par les nombreuses coulées de lave, les grandes quantités de cendres projetées dans l'atmosphère par le géant sicilien ont provoqué plusieurs fois des interruptions du trafic aérien et la fermeture de l'aéroport de Fontanarossa de Catane, engendrant un coût économique non négligeable.



DR. FRANCK DONNADIEU
Laboratoire Magmas et Volcans - Univ. B. Pascal, Clermont-Fd

Vitesses maximales par seconde des projections éjectées (en rouge) et retombantes (en blanc) dans une fontaine de lave du Laghetto en juillet 2001. Ces graphes montrent une variation cyclique, sur une période de dix secondes, de la vitesse des blocs éjectés (en rouge) dans la fontaine de lave.

Les autres applications du radar Doppler

En météorologie, les radars Doppler servent à déterminer l'intensité des perturbations ainsi que la vitesse des gouttes de pluie ou du vent. Ils ont de multiples applications militaires sur les avions de chasse et pour le guidage des armes modernes.

L'imagerie médicale utilise de plus en plus la vélocimétrie Doppler pour examiner les mouvements des fluides corporels et diagnostiquer les pathologies vasculaires.

Les radars routiers alertent les forces de l'ordre en cas de dépassement de la vitesse autorisée par un véhicule même situé à plusieurs centaines de mètres.

L'astronomie a aussi parfois recours à de puissants radars Doppler pour déterminer la vitesse de rotation des planètes proches et leur période de rotation : les radiotélescopes géants d'Arecibo (Puerto Rico) ont par exemple permis de découvrir en 1965 la véritable période de rotation de Mercure.

Antenne Yagi du radar pointée sur les fontaines de lave du cratère Sud-Est de l'Etna

photo © OPGC