

À l'Etna avec les étudiants de l'École normale supérieure la multidisciplinarité en action

■ Bernard FLACELIÈRE - Louise LE VAGUERESSE - Arnaud OLLIVIER - Luca TERRAY



© BF

Sur les bords du cratère de la Bocca Nuova

La Bocca Nuova ou le nouveau cratère (la nouvelle bouche) est un des points sommitaux de l'Etna à plus de 3300 m d'altitude où l'activité volcanique est soutenue. Casqués, Luca et Bernard arpentent le bord du cratère puis en font le tour pour vérifier la bonne santé des dosimètres à radon implantés dans l'année. Certains supports en bois sont déjà carbonisés, le sol jaunâtre couvert de soufre affiche 30 à 35°C au thermomètre, les effluves de gaz obligent le port du masque. Le fond du cratère est caché par les fumées et les vapeurs mais on devine par d'inquiétantes détonations que le volcan vit activement. En effet des jets de matériaux noirs, des fragments magmatiques, sortent du nuage en dessous de nous et fort heureusement retombent dans l'abîme sans passer au-dessus de la crête. Que font donc ces volcanologues, chevronnés et amateurs, au pays d'Héphaïstos et de Vulcain ?

Pourquoi ne pas répondre à une sympathique invitation ?

Par Bernard Flacelière, AFT

C'est par une discrète sollicitation que Pierre Briole, président actif de la commission géo-positionnement du CNIG, enseignant à l'École normale supérieure, un émérite volcanologue autant que géodésien m'a invité à l'expédition Etna 2018 de l'ENS. Connaissant le goût de votre rédacteur en chef pour les sommets sous toutes les latitudes,

ne vous étonnez pas de le trouver arrivant à l'aéroport de Catane et retrouvant Tony le chauffeur attitré du B&B Porta dell'Etna à Nicolosi, au pied du volcan, où l'expédition tient ses quartiers.

La dizaine d'étudiants plus les accompagnateurs sont à pied d'œuvre, consultez les récits ci-dessous, dans une ambiance studieuse qui sent tout de même les vacances. Tous les jours on se lève tôt et les journées sont bien équilibrées, entre celles très physiques avec de 1000 m à 1 600 m de dénivelées et celles plus intellectuelles avec véhicules tout-terrain

et visites culturelles, scientifiques ou tout simplement touristiques.

C'est la 8^e édition de cette expédition et il me tarde d'en comprendre les rouages. Pierre qui a usé ses semelles Vibram sur l'Etna lors de sa coopération militaire dans les années 80 confesse dans une interview de mars 2010 : "J'aimerais recommencer à étudier l'Etna, c'est sans doute le volcan le plus intéressant au monde, il est facile d'accès, très bien ausculté, on peut travailler à la fois sur les données à venir et sur une mine de données déjà acquises. C'est précisément parce que ce volcan est très bien étudié, qu'il faut l'étudier encore plus. C'est souvent en étudiant encore plus des objets que l'on croit déjà bien connaître que la science avance". Et voici que l'idée prend corps et que l'expédition annuelle explore toutes les facettes qu'un normalien en géosciences doit connaître et maîtriser. De la géologie à la volcanologie, en passant par la météorologie, la géodésie, la télédétection, la chimie, la climatologie, l'hydrographie, l'astronomie, tout y est abordé ou approfondi. Les sciences humaines ne sont pas oubliées, cette année un littéraire est présent, donc histoire, archéologie, sociologie, linguistique sont au programme. Finalement le plus important dans cette expédition est la part personnelle laissée à l'étudiant pour l'organisation pratique, y compris le financement, donc la recherche de partenaires puis la communication avant et après l'événement.

De 19 à 23 ans les étudiants brillent par leur trajectoire, montrent une maturité peu commune et une très forte culture générale. Quoique géoscientistes, ils n'hésitent pas à approfondir d'autres domaines, quitte à profiter d'une année de césure pour ce faire. La plupart



© BF

Une partie du groupe en action



d'entre eux ont déjà voyagé et acquis une expérience internationale, dans les études, les relations et forcément la linguistique.

Pierre participe également au projet EDUMED OBS, l'Observatoire de l'environnement méditerranéen à but éducatif et débouchant sur Insegnaci Etna 2018, une nouvelle école de terrain pour les enseignants en Sicile (<http://edumed.unice.fr/fr>). C'est peut-être pour cela qu'il tournera la page et que la 9^e expédition ENS@Etna2019 se fera sans lui, il passe la main, mais promet d'y participer en candidat libre et pour le plaisir.

Concernant cette expédition, voici donc un exemple réussi de mise en situation de jeunes apprenants sur des lieux remplis d'opportunités de découvertes et d'études, en compagnie d'ainés riches en expériences professionnelles. Merci à Pierre pour cette sympathique invitation !

Mais passons la parole à quelques protagonistes : à Louise, de l'équipe d'organisation, qui nous résumera en avant-première le synopsis du film à paraître, à Arnaud passé maître dans l'initiation des néophytes aux méthodes GNSS et finalement à Luca le consciencieux traqueur de radon qui nous fait l'honneur de la couverture.

L'expédition Etna 2018 vue par une étudiante

Par Louise Le Vagueresse, géosciences à l'ENS

Quoi de plus mystérieux et fascinant qu'un volcan, une entité vivante qui, avec des explosions tonitrueuses et des hémorragies magmatiques, est capable d'enfanter les roches neuves de ce monde ? Quoi de plus fascinant également que ces hommes qui, malgré le danger, continuent de vivre à proximité de ces volcans, de les étudier et de les adorer ?

Dix étudiants en master et en troisième année de licence de géosciences et

un étudiant en master de linguistique de l'École normale supérieure se sont piqués d'intérêt pour ces questions et sont partis en expédition pendant près de deux semaines en Sicile, sur l'Etna, le volcan le plus actif d'Europe, accompagnés de Pierre Briole et de Jean Chéry, chercheurs géophysiciens, de Luca Terray, doctorant en géochimie, d'Arnaud Ollivier ingénieur géomètre-topographe et responsable technique à Geotopo, d'Henri Laur docteur à l'Agence Spatiale Européenne et de Bernard Flacelière, ingénieur géomètre-topographe et rédacteur en chef de la revue.

L'idée était d'en apprendre plus sur le fonctionnement physique d'un volcan en discutant avec plusieurs chercheurs, tout en s'intéressant aux perceptions des populations qui vivent à son contact. La première étape a été de visiter l'INGV, l'Istituto Nazionale de Geofisica e Vulcanologia de Catane et sa salle de surveillance où deux personnes, présentes 24 h sur 24 h, surveillent les signaux envoyés par les différents instruments déployés tout autour du volcan afin de repérer les indices de l'imminence d'une éruption de façon à en avertir à temps les autorités et les compagnies aériennes. Nous avons assisté à une série de petites conférences sur l'inclinomètre, un instrument qui permet de mesurer la variation de pente des flancs du volcan et donc d'estimer son gonflement. Plusieurs journées ont ensuite été consacrées à des mesures sur le terrain pour nous familiariser avec les instruments et nous permettre de faire un point sur le contexte géochimique et géodynamique

Simon en action pour une mesure GNSS



© ENS

© ENS



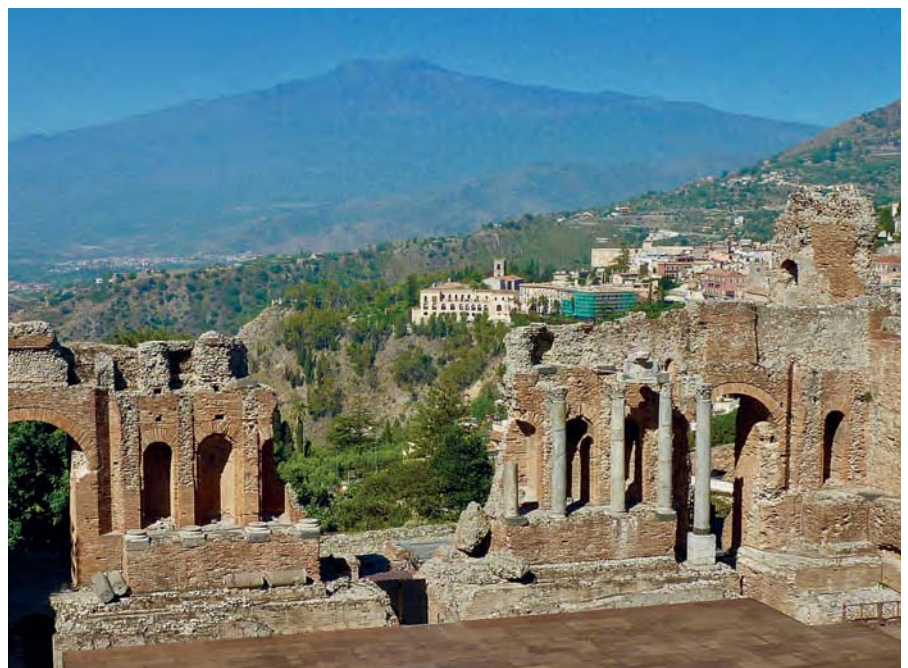
On a trouvé l'inclinomètre dans le tunnel de lave

de la Sicile en général et du volcan en particulier. Celui-ci nous a été expliqué par nos accompagnateurs ou par des chercheurs de l'INGV.

Des mesures GNSS ont été réalisées avec Pierre Briole et Arnaud Ollivier dans la vallée *del Bove*, vaste paysage de laves et de désolation situé à l'est du volcan, probablement issu de l'effondrement d'un ancien cratère qui se serait brusquement vidé de son magma, comme un fondant au chocolat dont on aurait percé la base. Ces mesures permettent donc, d'une part, de mesurer son déplacement vers la mer, et d'autre part de connaître l'épaisseur de la dernière coulée de lave ayant recouvert cette vallée. L'épaisseur du panache, à savoir l'ensemble des gaz et des aérosols qui sortent en permanence du volcan, a également été mesuré en compagnie de Luca Terray sur une crête surplombant la vallée, et des capteurs destinés à en analyser la composition ont été installés au sommet du cratère. Au cours de la visite de l'observatoire astronomique à *Serra de la Nave*, Henri Laur nous a donné une conférence sur les divers satellites *Sentinel* de l'ESA.

Nous avons bien évidemment profité des paysages de Sicile, notamment lors d'une journée passée sur les monts Iblei, ou encore le jour où nous avons emprunté la route qui fait le tour du volcan. Là, de nombreux blocs de lave, de viscosités différentes, forment des motifs en cordes. L'un de nous avait également réussi à localiser un ancien inclinomètre camouflé dans un tunnel de lave par notre professeur pendant sa thèse dans les années 80.

© BF



L'Étna depuis le théâtre de Taormine

© ENS



Levé de soleil sur la mer Ionienne

des routes et des villages traversés par des failles, le refuge de Sapienza et son téléphérique, reconstruit en moyenne tous les cinq ans. Nous avons aussi pu constater à quel point le volcan était présent dans l'architecture sicilienne, que ce soit dans une cathédrale construite en pierres de lave, dans les statues de lave disséminées à travers la ville de Catane, les pavés de ses rues faits du même matériau et le théâtre de Taormine conçu de manière à avoir une vue sur le volcan depuis ses gradins

Nous avons vu aussi à quel point les humains avaient colonisé ces reliefs, par le biais des refuges qui les parsèment, ou celui des vergers et des vignes qui adoucissent les flancs noirs du volcan.





Nous avons recueilli de nombreux témoignages de ses habitants, de guides qui conduisent les touristes au sommet ou dans le dédale du monastère, de cultivateurs, de commerçants et d'habitants de Catane qui nous ont raconté de nombreuses anecdotes, heureuses, comiques ou tragiques. Ils nous ont ainsi laissé entrevoir la relation complexe et ambiguë que ces gens entretiennent avec **la mama Etna** comme on l'appelle là-bas. Et ce sont ces témoignages et ces paysages à la fois simples et grandioses que nous aimerions transmettre à notre tour.

C'est dans ce but que nous avons réalisé un film documentaire exposant ce que nous avons appris tout au long de cette expédition. Ce dernier est projeté cet automne à l'École normale supérieure, mais il est également mis en libre accès sur YouTube et accessible via la page Facebook de l'expédition Etna 2018 (@Vivreaucoeurduvolcan). Le titre de ce film ? Vivre à l'ombre du volcan.

Compréhension des mouvements gravitaires et tectoniques grâce aux relevés GNSS

Par Arnaud Ollivier, ingénieur ESGT, responsable support technique à Geotopo

Réputé pour être le volcan le plus actif d'Europe, l'Etna subit de fortes pressions naturelles et est en continuel mouvement.

C'est dans la vallée *del Bove*, située sur le versant sud-est, que l'équipe composée de chercheurs et étudiants de l'ENS a commencé les mesures pour modéliser ses mouvements et les comprendre : voir si les déplacements sont homogènes et à quelle échelle.

Les points observés il y a plus de 30 ans lors de différentes expéditions, et mesurés précisément en GPS, ont depuis été recouverts de téphra (éjectas, du grec $\tau\epsilon\phi\rho\alpha$, cendres) lors d'éruptions successives.

Toute la difficulté réside dans le fait de retrouver ces points en positionnement GPS (ou maintenant GNSS puisque multi-constellations) autonome sous une épaisse couche de cendres et de

roches. Des premières fouilles ont été réalisées quelques jours auparavant, mais de façon approximative à partir des coordonnées initiales. Après mesures de points retrouvés, il a été constaté un décalage de 3 mètres vers l'est. Sur les points encore enfouis, il a été appliqué ce même décalage de 3 mètres afin d'obtenir de nouvelles coordonnées approximatives, proches de celles des points restants à déterrer. Pour y arriver, l'expédition a bénéficié du matériel prêté par Geotopo, distributeur agréé Trimble, pour poursuivre les fouilles. C'est à l'aide du dernier récepteur Trimble Alloy et du GNSS Trimble R10, tous deux dotés de la technologie Trimble RTX Centerpoint, qui permet un positionnement centimétrique en temps réel sans connexion GSM/IP, que les derniers points ont été

précisément découverts sous 15 cm de téphra. Les corrections étant récupérées via un satellite géostationnaire, les recherches sont effectuées en comparant les coordonnées théoriques du point avec celles données par le récepteur en temps réel, ce qui permet de naviguer vers le point.

La technologie Trimble RTX Centerpoint a donc permis de retrouver des points difficilement détectables dans ces conditions.

L'autre objectif de cette mission était de mesurer la hauteur des coulées de lave en allant vers le cratère qui se situe au milieu de la vallée *del Bove*. Des points avaient été positionnés mais le tout a été recouvert après leurs installations par une autre coulée de lave. Connaissant la position de ces derniers à quelques dizaines de centimètres près, on va pouvoir se placer à la verticale du point, relever les coordonnées GNSS avec le Trimble Alloy, récepteur en temps réel et calculer l'épaisseur de la coulée de lave. On a constaté une hauteur de lave d'environ 13 mètres sur les extrémités de la coulée et plus de 40 mètres en se rapprochant du cratère.

Pour répondre à la question du géodésien, les coordonnées sont exprimées en ITRF2014 pour comparaison, tandis que les altitudes sont obtenues grâce à des hauteurs ellipsoïdales en ITRF2014 corrigées de l'ancien modèle EGM96 pour homogénéité avec les anciennes données.



© Geotopo

Récepteur Trimble Alloy



© Geotopo

Récepteur GNSS Trimble R10



© ENS



Luca met en place les films dans les dosimètres

Le radon et ses mystères !

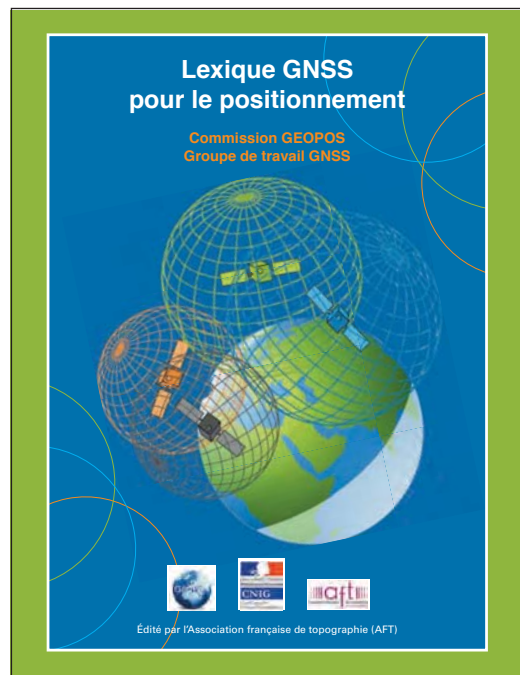
Par Luca Terray, doctorant de l'Université Clermont Auvergne

A quoi ressemble l'intérieur d'un volcan ? Quelle est la forme de sa tuyauterie, et quels y sont les mouvements du magma et du gaz, qui jaillissent telles l'eau et les bulles d'une boisson pétillante trop vite ouverte ? En combien de temps les bulles de gaz sont-elles formées ? À quelle vitesse remontent-elles ? Comment faut-il tourner ces curseurs pour déclencher une éruption ? Voilà quelques questions qui peuplent les rêveries de volcanologue !

Pour pouvoir avancer dans ces questionnements, nous avons besoin d'observations auxquelles nous rattacher. Mais comment observer ce qui se passe en profondeur dans la plomberie du volcan, à une échelle fine (quelques mètres ou dizaines de mètres) que les techniques d'imagerie géophysique voient souvent très flou ? Nous n'avons d'autres choix que de traquer à la surface les répercussions des mouvements profonds qui animent le volcan. J'ai choisi pour ma part de m'intéresser aux gaz qui s'échappent en permanence de nombreux volcans, quand bien même il n'y a pas d'éruption, comme sur l'Etna. Ces gaz viennent juste de quitter le magma en profondeur et sont donc des messagers qui peuvent nous renseigner sur l'état du volcan, à condition de savoir les décrypter. Parmi la pléiade d'éléments et d'isotopes que comptent les gaz magmatiques, je recherche ceux

qui sont radioactifs : le radon (^{222}Rn) et ses descendants (^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po). Ces atomes sont si rares que nous devons filtrer le panache de gaz de l'Etna pendant plus d'une heure pour pouvoir les mesurer ! Nous utilisons pour cela des aspirateurs et des batteries que nous devons monter à dos d'homme jusqu'au sommet du volcan. Pour la mesure du radon lui-même qui est un gaz noble et ne se laisse pas piéger dans un filtre, nous avons installé pour quelques mois des dosimètres tout autour du cratère central de l'Etna : ce sont de simples films qui se font trous lorsqu'un atome de radon se désintègre dans leur voisinage, ainsi en comptant le nombre de trous à l'issue de la période d'exposition on peut en déduire la concentration moyenne du radon dans le panache de gaz. Mais pourquoi se donner tant de mal pour quelques atomes isolés ?

Parce ce qu'ils permettent de chronométrer le mouvement du magma et du gaz en profondeur ! En effet, ces atomes ont la propriété de rentrer dans les bulles de gaz quand celles-ci se forment (on dit qu'ils sont volatils) et puisqu'ils sont aussi radioactifs leur quantité dans les bulles de gaz diminue au cours du temps. En mesurant ce qu'il reste de ces atomes quand le gaz parvient à la surface, on peut alors estimer l'âge du gaz que le volcan est en train d'émettre. On apporte ainsi quelques éléments de réponse aux questions du début : nous avons trouvé que sur l'Etna les gaz mettent 4 à 5 jours pour remonter jusqu'à la surface ! ●



COMMANDEZ LE "LEXIQUE GNSS POUR LE POSITIONNEMENT" AU PRIX DE 10,00 €
21 x 29,7 cm, 32 pages
frais de port inclus (France)

M/Mme Nom : _____

Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Adresse : _____

Code postal :

Ville : _____

Tél. :

Fax :

Courriel : _____

Date : _____

Signature _____

Bulletin de commande à retourner accompagné d'un chèque à l'Association française de topographie
73, avenue de Paris - 94165 SAINT-MANDÉ
Cedex - Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80

Achat également sur Internet : www.aftopo.org