



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

[ed560.stepup@u-paris.fr](mailto:ed560.stepup@u-paris.fr)

---

**Titre du sujet : Compréhension du fonctionnement hydrogéologique d'une île volcanique andésitique : la Martinique.**

Directeur (trice) : **VIOLETTE Sophie, fonction (Mdc), [sophie.violette@ens.fr](mailto:sophie.violette@ens.fr)**

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) :

**FORTIN Jérôme (DR CNRS), [fortin@geologie.ens.fr](mailto:fortin@geologie.ens.fr)**

**VITTECOQ Benoit (PhD), [b.vittecoq@brgm.fr](mailto:b.vittecoq@brgm.fr)**

Equipe d'accueil : **ENS- Laboratoire de Géologie de l'ENS- UMR 8538**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

---

La gestion de la ressource et l'approvisionnement en eau des populations des îles volcaniques, notamment celles densément peuplées ayant des besoins importants, est une problématique majeure. Dans un contexte de changement climatique, les populations de ces territoires par ailleurs soumis aux aléas naturels (volcanisme, séismes, glissements de terrain, érosion et montée du niveau marin), sont de plus en plus vulnérables vis-à-vis de leur approvisionnement en eau douce. La compréhension du fonctionnement hydrogéologique de ces îles est ainsi un enjeu majeur, nécessaire pour garantir une gestion durable et adaptée de leurs ressources en eau.

L'approvisionnement en eau des populations vivant sur les îles volcaniques a toujours été une préoccupation de premier ordre (Peterson, 1972; Falkland and Custodio, 1991; Cabrera and Custodio, 2004; Custodio, 2005; Won et al., 2005). Dans beaucoup de cas les ressources superficielles ne sont pas suffisantes, notamment lors des saisons sèches ou sur les îles avec une augmentation importante de la population. Les autorités sont alors à la recherche de solutions alternatives pour alimenter en eau la population (Falkland and Custodio, 1991; Custodio, 2005; Violette et al., 2014).

Rechercher et exploiter les eaux souterraines, solution qui peut paraître une évidence pour les hydrogéologues, n'est pas toujours la solution qui vient en tête aux décideurs ou politiques. Il est dans ce cas nécessaire de justifier l'intérêt de cette possibilité, qui est souvent vu comme techniquement difficile et avec une probabilité d'échec de forages productifs qui tempère la prise de décision. Implanter des forages est de plus un challenge sur des territoires souvent peu documentés, avec des données géologiques ou hydrogéologiques limitées. Or il est nécessaire d'avoir une très bonne connaissance des contextes géologiques et hydrogéologiques et un modèle conceptuel le plus détaillé possible pour limiter la prise de risque. Décrire et détailler l'hydrogéologie des îles volcaniques est ainsi un défi au regard de la complexité de ces édifices et des difficultés rencontrées lors de l'acquisition de données in-situ.

De plus, si le fonctionnement hydrogéologique des îles volcaniques basaltiques semble relativement bien caractérisé pour certaines (*liste non exhaustive*, Hawaï : Meinzer, 1930; Peterson, 1972; Macdonald et al., 1983; Tabasaki and Mink, 1983, Mayotte : Vittecoq et al., 2014, la Réunion : Jackson and Lénat, 1989 ; Violette et al., 1997, les Canaries : Custodio, 1975; Custodio et al., 1988, Custodio, 2005 ; les Galápagos : d'Ozouville et al., 2008; Auken et al., 2009 ; Pryet et al., 2012, Violette et al., 2014 ; Jeju : Hahn et al., 1997; Kim et al., 2003; Won et al., 2005 ; Koh et al., 2006 ; Hagedorn et al., 2011...) autant celui des îles volcaniques andésitiques reste mal contraint, comme la Martinique ou Basse-Terre en Guadeloupe et de façon plus générale l'ensemble des îles volcaniques de la Caraïbe (Robins, 2013).

Ces îles volcaniques andésitiques sont marquées en surface par une variabilité lithologique beaucoup plus importante qu'en contexte basaltique, avec la superposition de formations géologiques d'extension latérale très contrastée (de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres) et de nature souvent différente aussi bien latéralement que verticalement, du fait des différents mécanismes de mise en place de ces dépôts.

Récemment (Vittecoq et al., 2015 ; Vittecoq et al., 2019 ; Vittecoq et al., 2023) l'interprétation de données de géophysique électromagnétique hélicoptérée, couplée avec des données de forages, a permis, à différentes échelles, une meilleure caractérisation de la compréhension de la structure et de la nature géologique et du fonctionnement hydrogéologique de plusieurs aquifères stratégiques de la Martinique. La thèse de Vittecoq, 2020 a par ailleurs mis en évidence la nécessité 1) de poursuivre la caractérisation des propriétés hydrodynamiques des aquifères à l'échelle de l'île avec l'acquisition de nouvelles données notamment via la réalisation de pompages d'essais pour améliorer les calages et couplages avec les autres méthodes et 2) d'étudier et de développer des modèles conceptuels sur les secteurs de l'île ayant été peu explorés et en particulier le Nord-Atlantique.

L'objectif de la thèse sera ainsi d'améliorer la compréhension des circulations d'eau souterraine au sein des édifices volcaniques andésitiques grâce au couplage de méthodes hydrogéologiques, géophysiques et géochimiques, en s'appuyant sur les données des réseaux et observatoires développés par le BRGM sur le territoire.

Au cours de cette thèse, il est ainsi proposé : i) de développer des méthodologies robustes fondées sur l'analyse de données hydrogéologiques (en particulier l'analyse des longues chroniques enregistrées dans le cadre du réseau de suivi piézométrique), ii) d'acquérir des données in-situ sur les propriétés hydrodynamiques des aquifères grâce à des campagnes de forages en cours réalisées par le BRGM, et iii) d'utiliser des outils analytiques, numériques pour modéliser les processus et quantifier les propriétés hydrodynamiques des aquifères (développer des outils de prévision pour anticiper et mieux comprendre la disponibilité de la ressource en eau en Martinique via des analyses fréquentielles et des approches hydrogéochimiques ...). Ces approches permettront de proposer de nouveaux modèles conceptuels de fonctionnement des aquifères volcaniques andésitiques.

## **Collaborations**

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entretenue depuis plusieurs années entre la direction régionale du BRGM Martinique et l'ENS au travers de deux thèses (Vittecoq, 2020 et Thomas, 2023) et six publications scientifiques. Cette collaboration garantit l'accès aux données, aux ouvrages sur le terrain ainsi qu'aux moyens numériques.

Chaque collaborateur et collaboratrice du projet possède des compétences complémentaires indispensables pour aborder de façon pluridisciplinaire cette thématique et apporter l'expertise nécessaire pour l'encadrement de la thèse.

## **Compétences**

Le-la candidat-e devra disposer de compétences en hydrogéologie, hydrologie et géochimie et avoir suivi un cursus universitaire en géosciences et/ou hydrosociences. La motivation pour l'expérimentation sur le terrain, l'analyse de chroniques temporelles et l'interprétation de données géophysiques sera un plus.

## **Références**

- Auken, E., Violette, S., d'Ozouville, N., Deffontaines, B., Sørensen, K.I., Viezzoli, A., & de Marsily, G. 2009. An integrated study of the hydrogeology of volcanic islands using helicopter borne transient electromagnetic: application in the Galapagos Archipelago. *C.R. Geosci.* 341, 899–907.
- Cabrera, M.C., & Custodio, E. 2004. Groundwater flow in a volcanicsedimentary coastal aquifer: Telde area, Gran Canaria, Canary Islands, Spain. *Hydrogeol J* 12(3):305–320.
- Custodio, E., 1975. Hydrogeologia de las rocas volcanicas. 3rd UNESCO-ESA-IHA Symposium on Groundwater, pp. 23–69.
- Custodio, E., Lopez Garcia, L., & Amigo, E. 1988. Simulation par modèle mathématique de l'île volcanique de Ténériffe (Canaries, Espagne). *Hydrogéologie* 1988 (2), 153–167.
- Custodio, E. 2005. Hydrogeology of volcanic rocks. In: UNESCO (Ed.), *Groundwater Studies. An International Guide for Hydrogeological Investigations*, Paris, 423pp.
- Hagedorn, B., El-Kadi, A.I., Mair, A., Whittier, R.B., & Ha, K. 2011. Estimating recharge in fractured aquifers of a temperate humid to semiarid volcanic island (Jeju, Korea) from water table fluctuations, and Cl, CFC-12 and 3H chemistry. *J. Hydrol.* 409, 650–662.
- Hahn, J., Lee, Y., Kim, N., Hahn, C., & Lee, S. 1997. The groundwater resources and sustainable yield of Cheju volcanic island, Korea. *Environ. Geol.* 33, 43–53.
- Koh, D.C., Plummer, L.N., Solomon, D.K., Busenberg, E., Kim, Y.-J., & Chang, H.W. 2006. Application of environmental tracers to mixing, evolution, and nitrate contamination of ground water in Jeju Island, Korea. *J. Hydrol.* 327, 258–275.
- Kim, Y., Lee, K.S., Koh, D.C., Lee, D.H., Lee, S.G., Park, W.B., Koh, G.W., & Woo, N.C. 2003. Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea. *J. Hydrol.* 270, 282–294.

- Macdonald, G.A., Abbott, A.T., & Peterson, F.L. 1983. Volcanoes in the sea. The geology of Hawaii. University of Hawaii Press, Honolulu, 571pp.
- Meinzer, O.E. 1930. Ground water in the Hawaiian Islands, in Geology and water resources of the Kau District, Hawaii: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 616, pp. 1–28.
- d'Ozouville, N., Auken, E., Sørensen, K.I., Violette, S., & de Marsily, G. 2008. Extensive perched aquifer and structural implications revealed by 3D resistivity mapping in a Galapagos volcano. *Earth Planet. Sci. Lett.* 269, 517–521.
- Peterson, F.L. 1972. Water development on tropic volcanic islands. Type example: Hawaii. *Ground Water* 10(5), 18–23.
- Pryet, A., d'Ozouville, N., Violette, S., Deffontaines, B., & Auken, E. 2012. Hydrogeological settings of a volcanic island (San Cristóbal, Galapagos) from joint interpretation of airborne electromagnetics and geomorphological observations, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9, 9661-9686. doi:10.5194/hessd-9-9661-2012.
- Falkland, A., & Custodio, E. 1991. Guide on the hydrology of small islands. Studies and reports in hydrology 49. UNESCO, Paris, pp 1–435.
- Jackson, D.B., & Lénat, J.F. 1989. High-level Water Tables on Hawaiian Type Volcanoes and Intermediate Depth Geoelectric Structures, Kilauea Volcano, Hawaii and Piton de la Fournaise Volcano, Isle de la Reunion. Bulletin – New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, 142pp.
- Robins, N.S. 2013. A review of small island hydrogeology: progress (and setbacks) during the recent past, *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.*, 46, 157–165, <https://doi.org/10.1144/qjegh2012-063>.
- Takasaki, K.J., & Mink, J.F. 1983. Volcano feeder dikes impound large reservoirs of groundwater in the Hawaiian Islands. In: International Conference on Groundwater and Man. Australian Water Resources Council, Canberra, ACT, Australia, Sydney, pp. 309–318.
- Violette, S., d'Ozouville N., Pryet A., Deffontaines B., Fortin J., & Adelinet M. 2014. Hydrogeology of the Galapagos Archipelago: an integrated and comparative approach between islands. AGU-Monograph, Special issue “The Galapagos: A Natural Laboratory for the Earth Sciences”.
- Violette, S., Ledoux, E., Goblet, P., & Carboneil, J.P. 1997. Hydrologic and thermal modeling of an active volcano: the Piton de la Fournaise, Réunion. *J. Hydrol.* 191, 37–63.
- Vittecoq, B. (2020) : *Hydrogéophysique appliquée à la compréhension du fonctionnement hydrogéologique d'une île volcanique andésitique : la Martinique*. Thèse de doctorat en sciences de la Terre et de l'environnement soutenue le 09/11/2020 à l'université PSL. <https://www.theses.fr/2020UPSLE063>
- Vittecoq, B., Deparis, J., Violette, S., Jaouen, T. & Lacquement, F. 2014. Influence of successive phases of volcanic construction and erosion on Mayotte Island's hydrogeological functioning as determined from a helicopter-borne resistivity survey correlated with borehole geological and permeability data. *J. Hydrol.*, 509, 519–538. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.062>.
- Vittecoq, B., Reninger, P.A., Violette, S., Martelet, G., Dewandel, B., et Audru, J.C. (2015). Heterogeneity of hydrodynamic properties and groundwater circulation of a coastal andesitic volcanic aquifer controlled by tectonic induced faults and rock fracturing – Martinique Island (Lesser Antilles - FWI). *Journal of Hydrology* 529 (2015) 1041–1059. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.022>
- Vittecoq, B., Reninger, P. A., Lacquement, F., Martelet, G., & Violette, S (2019). Hydrogeological conceptual model of andesitic watersheds revealed by high-resolution helicopter geophysics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 2321. <https://doi.org/10.5194/hess-23-2321-2019>
- Vittecoq, B., Reninger, P.A., Bellier, V. *et al* (2023). Montagne Pelée volcano (Martinique, in the French Lesser Antilles) hydrogeological system revealed by high-resolution helicopter-borne electromagnetic imagery. *Hydrogeol J* 31, 1331–1352. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02642-5>
- Won, J.H., Kim, J.W., Koh, G.W., & Lee, J.Y. 2005. Evaluation of hydrogeological characteristics in Jeju Island, Korea. *Geosci. J.* 9 (1), 33–46.