

# Contribution de l'équipe « environnement » à la prospective du LPC

## Auteurs

Pascal André - Vincent Breton – Jean Castor - Patrick Chardon – Alain Falvard - Géraldine Faure -  
Didier Miallier - Thierry Pilleyre - David Sarramia – Luca Terray

## Introduction

La radioactivité naturelle est omniprésente sur la Terre depuis 4,5 milliards d'années. Elle est abondamment utilisée depuis des décennies pour la datation d'échantillons géologiques, mais des questions fondamentales demeurent sur son rôle dans l'émergence et l'évolution de la vie ainsi que sur les mécanismes à l'origine de la production de rayonnements ionisants dans des phénomènes naturels tels que les orages.

En s'appuyant sur les compétences en instrumentation, modélisation et radioprotection du LPC, l'équipe « environnement » déploie un programme de recherche pluridisciplinaire sur la radioactivité naturelle :

- En collaboration avec le Laboratoire Magmas et Volcans, en partie dans le cadre du Labex Clervolc, l'équipe développe une activité de datation et de caractérisation d'éruptions récentes de la chaîne des Puys et d'instrumentation sur la détection du radon dans le panache des volcans actifs.
- En collaboration avec la fédération Environnement, les laboratoires Geolab, LMGE (Laboratoire Microorganismes Génomique et Environnement) et la MSH, l'équipe étudie la vie sous rayonnement d'origine naturelle dans le cadre de la Zone-Atelier « Territoires Uranifères dans l'Arc Hercynien » (<http://zatu.org>), labellisée depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2015 par l'Institut d'Ecologie et d'Environnement du CNRS. Au sein de la ZATU, l'équipe anime l'axe thématique dédié au déploiement de réseaux de capteurs dans l'environnement.
- En collaboration avec l'Institut Pascal et le CHU, l'équipe s'intéresse aux phénomènes de haute énergie dans les décharges plasma atmosphériques, de la haute atmosphère au sol en passant par le laboratoire, et leurs conséquences sur les populations victimes de foudroiement.

Le tableau ci-dessous résume les enjeux principaux en termes de modélisation et d'instrumentation ainsi que les sources de financements des différents axes de recherche de l'équipe.

Thématique de recherche	Geant4 – modélisation	Instrumentation	Plates-formes - observatoires	Master projet IN2P3	Financements sur le site	Autres financements
Foudre	Accélération des électrons – Flux de photons X et gammas – polarisation	Détection des rayons X et gammas en laboratoire et au Puy-de-Dôme	TARANIS - Observatoire du Puy-de-Dôme	TARANIS	I-Site, axe 4 – risques	MI CNRS
Vie sous rayonnement d'origine naturelle (ZATU)	Effet des rayonnements sur les organismes présents dans les milieux naturellement radioactifs	Réseaux de capteurs dans l'environnement – détection du radon – mesures de radioactivité (alpha, beta, gamma)	ZATU - PAVIRMA	ZATU	CPER AUDACE-SYMBIOSE, I-Site (Axe I, axe transverse)	CNRS-INEE, MI CNRS, NEEDS
Radioactivité et volcans	Modélisation des détecteurs (Germanium, RAVIOLI)	Mesures de radioactivité (alpha, beta, gamma) – détection du radon et ses descendants dans les panaches – réseaux de capteurs (à terme)	PAVIRMA		Labex ClerVolc	MI CNRS – projet européen ENVRI+

## Radioactivité et volcans

La thématique « radioactivités et volcans » regroupe l'activité de l'ancienne équipe ThermoLuminescence et une activité émergente sur la mesure du radon dans le panache des volcans actifs.

Le groupe constitué de Didier Miallier et Thierry Pilleyre poursuit un travail de fond sur certains aspects particuliers du volcanisme de la Chaîne des Puys, centré sur la chronologie et l'évolution des magmas les plus différenciés. Ce travail repose notamment sur un enrichissement continu d'une base de données géochimiques et radiologiques sur les trachytes. Ses objectifs à court et moyen termes sont les suivants :

- Finaliser des travaux en cours sur la volcanologie du Puy de Dôme, en collaboration avec des chercheurs du laboratoire Magmas et Volcans (LMV, UCA) et de l'ISTO (Université d'Orléans). Ces travaux sont cofinancés par le Labex Clervolc, porté par le LMV, et par une ligne budgétaire du LMV dans le cadre d'un Axe Transverse "Géologie Régionale". Le programme Puy de Dôme sera terminé fin 2018, publications comprises, mais il est développé en parallèle à un programme à plus long terme sur l'évolution et la plomberie des chambres magmatiques trachytiques

- Finaliser des travaux en cours sur la diffusion et les usages des trachytes de la Chaîne des Puys, dans l'antiquité et le moyen âge. Le cadre de ces travaux est un Projet Collectif de Recherche (PCR, 2015-2018) cofinancé par le Ministère de la Culture et le Conseil départemental du Puy-de-Dôme. La collaboration inclut des chercheurs du LMV et de la Maison des Sciences de l'Homme (UCA). Les publications s'étaleront sur 2018 et 2019.

Dans ces deux programmes, l'apport de l'équipe du LPC est dans la caractérisation des laves, notamment par leur radioactivité, et dans des études de terrain. Dans le même temps, l'équipe s'attache à affiner, par modélisation, les mesures de radioactivité des roches avec un spectromètre gamma au germanium. Cette recherche à visée très appliquée, fera l'objet d'un article, en cours de rédaction

La mesure du radon intéresse aussi les volcanologues du Laboratoire Magmas et Volcans pour l'étude et la surveillance des volcans actifs.

La thèse de Luca Terray, coencadrée par le LMV et le LPC, a démarré au 1/10/2017 sur le développement d'un système de détection des descendants du radon adapté aux contraintes particulières des panaches volcaniques. L'enjeu est de développer un système instrumental permettant la mesure du radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) dans les gaz magmatiques dilués (panaches volcaniques) via ses descendants de vies courtes (de  $^{218}\text{Po}$  à  $^{214}\text{Po}$ ) piégés sur un filtre. Avec le soutien des services techniques, l'équipe développe un système miniature portable, apte à fonctionner en milieu volcanique difficile (acide, montagneux), multi-détecteurs (alpha-bêta-gamma) et surtout suffisamment sensible pour franchir les limites des instruments existants qui rendent impossible une mesure précise en un temps court (imposé par l'environnement de mesure et les courtes périodes mesurées). Une première version prototype du système a été testée avec succès sur l'Etna en mai 2018. Au-delà de la thèse de Luca Terray, l'objectif est de poursuivre la collaboration avec les chercheurs du LMV pour la détection du radon et ses descendants sur les volcans actifs.

## Vie sous rayonnement d'origine naturelle

Le LPC assure la coordination générale de la zone-atelier depuis sa labellisation en Janvier 2015 par le CNRS ainsi que le lien avec le site atelier principal au Nord-Est du département du Puy-de-Dôme sur les communes de Chateldon, Lachaux et Ris. Le renouvellement de la labellisation est prévu en 2020. Au sein de la ZATU, le LPC anime principalement deux projets inscrits dans le moyen terme (5 ans) :

- le développement de réseaux de capteurs dans l'environnement dans le cadre du Contrat de Projet Etat Région (projet ConnecSens) et de l'axe transverse du projet I-SITE CAP2025. Grâce au soutien des services techniques du laboratoire, le site atelier de la ZATU fait partie des premiers écosystèmes où ces réseaux sont déployés. Ce projet mobilise les services techniques du LPC : électroniciens et microélectroniciens pour la conception et le déploiement des réseaux de capteurs, informaticiens pour la collecte et l'analyse des données
- L'étude de l'impact de la radioactivité sur les microorganismes. Depuis la fin d'un premier programme d'évolution expérimentale en laboratoire souterrain, l'étude de l'effet de la radioactivité sur l'évolution se poursuit en laboratoire au LPC sur la plate-forme PAVIRMA tandis qu'une première campagne de prélèvements biologiques dans des sources minérales naturellement radioactives sur le site atelier de la ZATU a permis de mettre en évidence des effets de l'exposition chronique aux rayonnements de certaines espèces présentes dans les sources (diatomées).

Le LPC pilote le développement de méthodes de simulation Monte Carlo pour déterminer la dose délivrée aux microorganismes, s'appuyant sur l'expertise acquise dans le Pôle Santé Environnement depuis 15 ans au sein des collaborations GATE, GEANT4 et G4-ADN.

Ces activités bénéficient grandement de l'arrivée au LPC de Patrick Chardon, ingénieur de recherches, coordinateur du réseau Becquerel et co-animateur de la ZATU. Expert auprès de l'Autorité de Sureté Nucléaire, il apporte son expertise et des nouvelles thématiques de recherche sur la ZATU, notamment dans le domaine des Sciences Humaines et Sociales.

## Etude des phénomènes de haute énergie dans les décharges plasmas

L'étude de la production de rayonnement ionisant dans les décharges plasmas (arc de foudre, arc électrique et plasma proches des contacts électriques) est une activité émergente au laboratoire. Les arcs de foudre sont des accélérateurs naturels de particules : la différence de potentiel et la basse pression de la haute atmosphère favorisent l'accélération des électrons. Des avalanches d'électrons relativistes peuvent se développer en émettant un rayonnement Gamma par rayonnement de freinage. Baptisés flashs gammas d'origine terrestre (Terrestrial Gamma-ray Flashes), ces phénomènes ont été observés pour la première fois par le satellite Compton Gamma Ray Observatory et sont l'objet d'étude du satellite TARANIS du CNES dont le lancement est prévu en 2019. La première détection au sol de flashs gammas produits par la foudre a été réalisée par une équipe japonaise en 2017.

L'étude de la production de rayonnements ionisants dans les décharges plasmas au LPC s'inscrit dans une collaboration à l'échelle régionale et nationale sur les risques induits par la foudre. L'impact de l'électricité atmosphérique en général et plus particulièrement de la foudre sur le climat, sur le monde minéral et les organismes vivants reste mal compris.

Nous proposons un programme expérimental en trois volets sur 5 ans :

- Dans un premier volet, il s'agit de concevoir un système de détection des rayonnements X et gammas produits par des décharges créées en laboratoire. Son développement s'appuiera sur les compétences des physiciens et des services techniques du LPC, notamment au sein de l'équipe Santé. Ce système de détection sera utilisé pour explorer l'impact des paramètres de l'arc électrique sur la production des rayonnements ionisants.
- Dans un deuxième volet, il s'agit d'observer les rayonnements gammas produits par la foudre en milieu naturel. Des mesures sur site permettront dans un deuxième temps de savoir si tous les arcs de foudre produisent un rayonnement gamma ou uniquement certains coups de foudre particuliers (traceurs descendant ou montant, présence d'une onde de choc, présence de grêle ...). Les informations physico-chimiques et météorologiques produites sur le site de l'observatoire du puy de Dôme font de ce site un très bon candidat pour l'installation d'un système de détection des flashs gammas produits par les orages. Des premiers contacts avec le LAMP ont été pris dans ce sens.
- Dans un troisième volet, l'équipe souhaite dès cette année rejoindre la collaboration TARANIS, dédiée à l'étude des phénomènes lumineux transitoires dans certains orages. Les mesures de rayonnement gamma et X obtenues par le satellite Taranis, devraient apporter des éléments de compréhension sur la mise en charge des nuages orageux, la création des flashs de rayons gamma terrestres, des émissions d'onde électromagnétique Radio Fréquence (électrons) et sur le rôle des rayons cosmiques sur la décharge du nuage. L'équipe apporte à la collaboration son expertise dans la modélisation des arcs thermiques ainsi que sa capacité à conduire en laboratoire des expérimentations d'intérêt pour l'interprétation des données de TARANIS (production d'arcs en milieu très faiblement pressurisé, se rapprochant des conditions de la haute atmosphère)

Les enjeux scientifiques et économiques peuvent être considérables : télécommunication, perturbation du réseau électrique, voire modélisation du réchauffement climatique, ...