

Observatoire de Physique du Globe
de Clermont-Ferrand

**Bilan
&
Prospectives**

...AUX NUAGES

DE LA TERRE...

Campagne d'évaluation 2019-2020
Vague A

Structure fédérative

Document d'autoévaluation

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2019-2020

VAGUE A

Le Hcéres se réserve la possibilité de ne pas évaluer les structures fédératives d'animation sans personnel ni moyen propre (local, équipement, etc.).

Le document comprendra de 10 à 50 pages en fonction de la taille de la structure fédérative.

1. INFORMATIONS ADMINISTRATIVES

(Dans la configuration prévue au 1^{er} janvier 2021)

Intitulé complet de la structure fédérative : Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand

Responsable :

| M./M ^{me} | Nom | Prénom | Corps | Établissement d'enseignement supérieur d'affectation ou organisme d'appartenance |
|--------------------|-------|----------|------------|---|
| Mme | HURET | Nathalie | Professeur | Mis à disposition à l'Université Clermont Auvergne par l'Université d'Orléans depuis le 01/01/2018. |

Type de demande :

Renouvellement Restructuration Création ex nihilo

En cas de renouvellement ou de restructuration, préciser les labels, n° et intitulés des structures en 2021 :

Établissement(s) de rattachement de la structure (tutelles)

| | |
|---|---|
| Établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche Établissement : Université Clermont Auvergne | Organisme(s) de recherche Organisme : CNRS INSU Département ou commission de rattachement : DR7 |
|---|---|

Préciser l'établissement ou organisme responsable du dépôt du dossier :

(Sauf exception, le dossier est déposé par l'établissement hôte de la structure fédérative.)

Université Clermont Auvergne

Préciser le cas échéant le délégué unique de gestion :

Autres partenaires de la structure :

Établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche :

Organisme(s) de recherche : CNRS INSU

Entreprise(s) :
Autres :

Classement thématique

Domaines, sous-domaines scientifiques et panels disciplinaires Hcéres

Indiquer les domaines scientifiques puis les sous-domaines et panels disciplinaires concernés

En commençant la première ligne par P pour le domaine principal, suivi des panels disciplinaires

Puis commencer la seconde, éventuellement la troisième ligne, par un S : pour le(s) domaine(s) scientifique(s) secondaire(s), suivi des panels disciplinaires.

Par exemple :

P : SHS, SHS2.2, SHS3.3

S : ST, ST1.1

Domaines scientifiques

1. **P** Sciences et technologies (ST)

Domaine scientifique ST

Sous-domaine scientifique **ST3** : **P** Sciences de la terre et de l'univers

Panel disciplinaire **ST3.1** : Océan, atmosphère

Panel disciplinaire **ST3.2** : Terre solide

Panel disciplinaire **ST3.3** : Astronomie, univers

Mots-clés

Libres : **Volcanologie, atmosphère, sismologie, risques, environnement,...** (5 maximum)

Domaine applicatif, le cas échéant

Indiquer, en début de ligne, "P" pour le domaine principal, "S" pour le(s) domaine(s) applicatif(s) secondaire(s) éventuel(s).

P Environnement (dont changement climatique)

Coordonnées de la structure fédérative

Localisation et établissement : **Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand**
 Numéro, voie : **4 Avenue Blaise Pascal**
 Boîte postale : **BP 60026**
 Code postal et ville : **AUBIERE**
 Téléphone : **04 73 40 73 80**
 Adresse électronique : **secretariat@opgc.fr**
 Site web : **<http://www.obs.univ-bpclermont.fr>**

Unités membres de la structure fédérative au 1er janvier 2021

| Label et n° | Intitulé de l'unité | Responsable | Établissement de rattachement support | Domaine scientifique Hcéres principal (cf. nomenclature) | Unité porteuse / unité associée (*) |
|-------------|--------------------------------------|------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|
| UMR6016 | Laboratoire de Météorologie Physique | Andrea Flossmann | UCA | DS3 (304) ScD3STU | OSU OPGC |
| UMR6524 | Laboratoire Magamas et Volcans | Didier LAPORTE | UCA | DS3 (302-303) ScD3STU | OSU OPGC |
| UMS833 | OPGC | Nathalie HURET | UCA | | OSU OPGC |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

(*) Unité porteuse : plus du tiers des ETP de l'unité intervient dans la structure fédérative

Liste des personnels affectés en propre à la structure fédérative : UMS 833 OPGC

| Nom | Prénom | H/F | Année de naissance | Fonction au sein de la structure fédérative | Établissement ou organisme d'appartenance |
|-------------|-------------|-----|--------------------|---|---|
| BARAY | Jean-Luc | H | 1971 | Physicien Adjoint Directeur Adjoint Scientifique | Université Clermont Auvergne |
| BERNARD | Christophe | H | 1981 | Technicien Mécanique | Université Clermont Auvergne |
| BEYRIE | Pascal | H | 1968 | IE - Responsable Administratif | CNRS |
| BONTEMPS | Martial | H | 1966 | Technicien Electronicien | Université Clermont Auvergne |
| BOUVIER | Laetitia | F | 1981 | Technicienne Physique Chimie | Université Clermont Auvergne |
| CACAUULT | Philippe | H | 1968 | IE - Informaticien Réseaux | CNRS |
| DEGUILLAUME | Laurent | H | 1977 | Physicien | Université Clermont Auvergne |
| DELAGE | Emmanuel | H | 1977 | IE Informaticien | CNRS |
| DEL CAMPO | Géraldine | F | 1969 | Technicienne gestion admin. | Université Clermont Auvergne |
| DONNADIEU | Franck | H | 1972 | Physicien Adjoint | Université Clermont Auvergne |
| DOUCHAIN | Jean-Michel | H | 1970 | IE - Instrumentation Scientifique | Université Clermont Auvergne |
| FAISSAL | Alexandre | H | 1968 | Adjoint Technique Logistique | Université Clermont Auvergne |
| FREVILLE | Patrick | H | 1971 | IR - Instrumentation Scientifique | Université Clermont Auvergne |
| GOUHIER | Mathieu | H | 1980 | Physicien Adjoint | Université Clermont Auvergne |
| GUEHENNEUX | Yannick | H | 1986 | IE - Informaticien | Université Clermont Auvergne |
| GUESNEAU | Valérie | F | 1971 | AI - Gestion financière | CNRS |
| GURIOLI | Lucia | F | 1968 | Physicienne Directrice Adjointe Scientifique | Université Clermont Auvergne |
| HERVIER | Claude | H | 1964 | IE - Electronicien | Université Clermont Auvergne |
| LABAZUY | Philippe | H | 1965 | Physicien Adjoint | Université Clermont Auvergne |
| LATCHIMY | Thierry | H | 1975 | IE - Instrumentation Scientifique | CNRS |
| MENDES | Christelle | F | 1971 | Adjoint Technique Entretien | Université Clermont Auvergne |
| PEYRIN | Frédéric | H | 1967 | IE - Instrumentation Scientifique | CNRS |
| PICHON | Jean-Marc | H | 1971 | IE - Instrumentation Scientifique | Université Clermont Auvergne |

| | | | | | |
|---------|------------|---|------|---|------------------------------|
| REGIS | Edouard | H | 1972 | IE - Instrumentation Scientifique | Université Clermont Auvergne |
| ROSSIN | Christelle | F | 1971 | IR - Mécanique Directrice Adjointe Technique | CNRS |
| SERGERE | Cécile | F | 1969 | Adjointe Administrative | Université Clermont Auvergne |
| VALLAT | Christophe | H | 1977 | Technicien Electro-Tech | Université Clermont Auvergne |
| WARIN | Nathalie | F | 1964 | Adjointe Technique Entretien | Université Clermont Auvergne |

Surfaces recherche prévues spécifiquement pour la structure fédérative au 1^{er} janvier 2021

Hors surfaces occupées par les unités de recherche membres de la structure

| Établissement(s) d'enseignement supérieur et/ou organisme(s) prenant en charge les coûts d'infrastructure « recherche » de la structure | Ventilation des surfaces (m ²) |
|---|--|
| Établissement de rattachement support : Université Clermont Auvergne | 1381 |
| Établissement de rattachement : | |
| Établissement de rattachement : | |
| Organisme de recherche : | |
| Organisme de recherche : | |
| Autres (hôpitaux, CHU, CHR, autre à préciser) : Conseil Général (Observatoire du puy de Dôme) | 244 |
| TOTAL des surfaces | 1625 |

Pour les plateformes technologiques seulement

Gros équipements (hors équipements spécifiques des unités)

| Nature | Année d'achat | Coût d'achat | Coût annuel de fonctionnement |
|---|---------------|--------------|-------------------------------|
| Plateforme de mesure Aéroportées | 2004 à 2019 | 1335 k€ | 35 k€ |
| Presses multi encumes | 1996 et 2010 | 588 k€ | 100 k€ dont 15 k€ de l'INSU |
| Plateforme Lidar | 2007 et 2017 | 265 k€ | 4 k€ |
| Plateforme Radars | 1990 à 2019 | 940 k€ | 100 k€ |
| Plateforme drone (3 drones) | 2016 et 2019 | 20 k€ | 6 k€ |
| Plateforme informatique | 2010 à 2019 | 105 k€ | 5 k€ |
| Analyseurs de gaz et particules (mesures in situ) | 2003 à 2019 | 2000 k€ | 200 k€ |

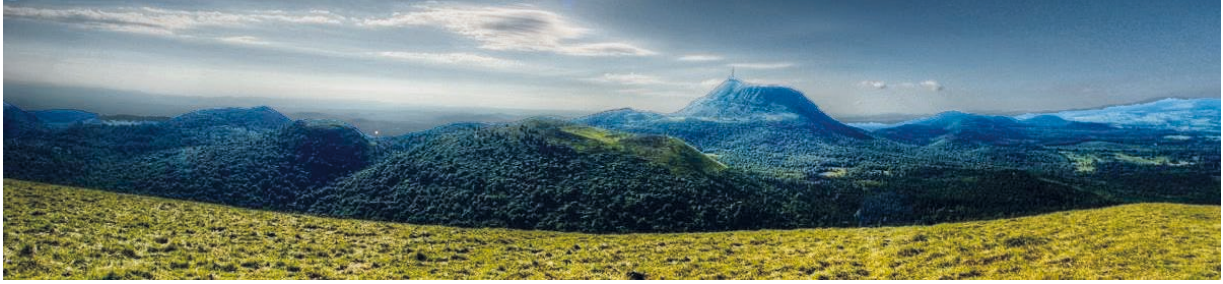
Appartenance à un réseau national ou international (préciser lequel) :

L'OPGC est un Observatoire des Sciences de l'Univers dispositif spécifique du CNRS-INSU pour l'organisation territoriale de la recherche en complément des structures classiques (UMR). La spécificité des OSU est de porter une mission de service à la communauté, à travers le déploiement des Services Nationaux d'Observation labellisés par l'INSU. S'ajoutent à cette mission d'acquisition d'observations des milieux naturels, des missions de formation, de diffusion des connaissances, et le développement d'actions internationales. Les OSU jouent également un rôle d'animation de la recherche au niveau territorial en fédérant les laboratoires de leur périmètre géographique pour faire émerger de nouveaux axes de recherche pluridisciplinaires et pour favoriser le développement de plateformes ou de compétences techniques qui couvrent des besoins plus larges que chacune des unités. Il existe 27 OSU répartis sur le territoire national.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Bilan Scientifique | 9 |
| Introduction Générale | 11 |
| I. Structure et fonctionnement de l'OPGC | 12 |
| I.1 Historique et implantation actuelle | 12 |
| I.2 Gouvernance et organisation..... | 12 |
| I.3 Ressources Humaines | 14 |
| I.4 Bilan financier | 20 |
| I.5 Insertion dans la politique de site et dans le contexte local, complémentarité avec les autres structures fédératives du site | 23 |
| I.6 Insertion dans le paysage national, et international..... | 25 |
| II. Réalisations des objectifs et effets structurants | 28 |
| II.1 Récapitulatif des équipements et plateformes | 28 |
| II.2 Analyse des faiblesses pointées par l'HCERES en 2017 | 32 |
| II.3 Travaux impliquant une collaboration des communautés scientifiques – interdisciplinarité | 32 |
| II.4 Résultats marquants..... | 37 |
| II.5 Animation scientifique | 42 |
| II.6 Valorisation de la recherche | 44 |
| III. Formation et Formation par la recherche | 48 |
| IV. Hygiène et sécurité | 49 |
| V. Analyse des points forts, faiblesses, risques et opportunités | 50 |
| Prospective Scientifique | 51 |
| Introduction générale | 53 |
| I. Participation à la politique de site | 53 |
| I.1 Institut des Sciences fondamentales | 53 |
| I.2 Contribution au projet I-Site CAP 20-25 | 54 |
| I.3 Lien avec la Fédération des Recherches en Environnement | 54 |
| II. Positionnement scientifique des recherches et déclinaison vers l'international | 55 |
| II.1 Transversalité au sein de l'OSU..... | 55 |
| II.2 Défis pour le développement d'une stratégie régionale AURA..... | 56 |
| II.3 Défis méthodologiques | 56 |
| II.4 Défis spécifiques | 56 |
| III. Positionnement des services d'observation de l'OPGC et implication dans le contexte national et international des Infrastructures de Recherche | 57 |
| III.1 Actions nationales d'observation | 57 |
| III.2 Infrastructures de recherche | 64 |
| III.3 Actions d'observations spécifiques de l'OPGC..... | 66 |
| IV. Projets mutualisés de l'OPGC | 69 |
| V. Structure et gouvernance de l'OSU OPGC | 71 |
| ANNEXES 1 | 75 |
| Inventaire équipement..... | 77 |
| Bilan actions incitatives 2014-2018 | 79 |

| | |
|--|-----------|
| Actions incitatives colloques 2014-2018 | 81 |
| Bilan communication 2014-2018 | 82 |
| École de l'OPGC..... | 90 |
| Lettre de mission cellule Hygiène Sécurité et Condition de Travail : UMS 833 | 91 |
| ANNEXES 2 | 92 |
| École universitaire de recherche InVolc..... | 94 |
| Contribution à la Prospective INSU de l'OSU OPGC | 99 |
| Presses Multi-Enclumes..... | 110 |
| Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA) | 119 |
| Site National Instrumenté CO-PDD (Cézeaux-Opme-Puy de Dôme) | 137 |
| Service National d'Observation Volcanologique (SNOV-OPGC) | 167 |
| CLAP - Climate relevant Aerosol Properties from near-surface observations | 235 |
| AUVERWATCH (AUVERgne WATER CHEmistry) | 274 |
| Réseau Sismologique d'Auvergne (RSA) de l'OPGC à RESIF..... | 281 |
| PUYCLOUD..... | 284 |
| PUY-GAZ | 289 |
| Code numériques CAT | 293 |
| Service Développement Technologique (SDT) | 299 |
| Lettre de mission Direction adjointe technique de l'OSU..... | 302 |
| Bilan des publications et thèses 2014-2018 | 304 |



Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC)

Unités membres de la composante

UMS 833 UCA-CNRS
UMR 6016 UCA-CNRS (LaMP)
UMR 6524 UCA-UJM-CNRS-IRD (LMV)

Bilan Scientifique Janvier 2014 – Juin 2018

Introduction Générale

L'OPGC est l'héritier direct de l'Observatoire Météorologique du Puy de Dôme, inauguré en 1876 par Emile Alluard, et de la Chaire de Géologie de l'Université de Clermont-Ferrand, créée en 1860 par Henri Lecoq. Parmi les anciens directeurs de l'Observatoire ou titulaires de la Chaire, on peut noter le météorologue Henri Dessens, le géologue Philippe Glangeaud et surtout, à la frontière des deux disciplines, Bernard Brunhes, qui a découvert en 1905 les inversions du champ magnétique terrestre. En 1985 ont été agrégés à l'Observatoire, les laboratoires de météorologie et de géologie de l'Université Blaise Pascal.

Depuis septembre 2017, l'OPGC est une composante (école interne) de l'Université Clermont Auvergne de l'article L. 713-1 du code de l'éducation, organisé dans les conditions définies par l'article L. 713-9, et un Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) du CNRS-INSU, régit par l'article D 713-9 du décret N°2013-756 du 19 août 2013.

Les missions confiées aux Observatoires des Sciences de l'Univers sont :

- ✓ De contribuer au progrès de la connaissance de la planète Terre par l'acquisition, l'archivage et la diffusion de données d'observation, le développement et l'exploitation des moyens d'observation appropriés, l'élaboration des outils théoriques nécessaires
- ✓ De contribuer aux tâches de surveillance et de prévision des phénomènes naturels
- ✓ De fournir à la communauté nationale et internationale des services liés à ses activités de recherche
- ✓ De contribuer, dans le cadre de l'établissement EPCSCP dont il fait partie, à la formation initiale et continue des étudiants, ainsi qu'à la formation de l'ensemble des personnels de recherche
- ✓ De participer à la diffusion des connaissances, en particulier auprès des personnels enseignants et des usagers du service public de l'enseignement
- ✓ De mettre en œuvre des activités de coopération internationale.

Structure fédérative, l'OPGC regroupe deux laboratoires de recherche (UMR) et une unité mixte de service (UMS), un site instrumenté, deux instruments nationaux, ainsi que 4 services nationaux d'observation et 2 services internes d'observation. De plus l'OSU OPGC est également une composante d'enseignement de l'Université Clermont Auvergne (Ecole OPGC) depuis 2017 sur le périmètre des sciences de la terre et de l'atmosphère.

Les deux Unités Mixtes de Recherche développent des activités dans les domaines de la Terre Solide (Laboratoire Magmas et Volcans – UMR CNRS 6524 et UR IRD 163) et de la physique de l'Atmosphère (Laboratoire de Météorologie Physique – UMR CNRS 6016). Le Laboratoire Magmas et Volcans (LMV, unité associée au CNRS et à l'IRD) s'intéresse aux magmas depuis leur formation jusqu'à leur expression en surface (géochimie, pétrologie, volcanologie, géologie de l'aménagement). Le Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP, unité associée au CNRS) s'intéresse à la chimie atmosphérique et aux nuages depuis leurs aspects microphysiques et physico-chimiques jusqu'à leur impact sur le climat (développement instrumental, mesures aéroportées, physico-chimie, modélisation). L'Unité Mixte de Service (UMS 833) accueille des personnels techniques et administratifs du CNRS et de l'Université Clermont Auvergne. Ils assurent le fonctionnement des structures d'observation et des services mutualisés au profit des UMR membres de la composante. Les personnels du Corps National des Astronomes et Physiciens (CNAP) sont également rattachés à l'UMS. Les personnels CNAP sont des enseignants-chercheurs assurant leurs fonctions dans les observatoires astronomiques, les instituts de physique du globe, ou les Observatoires des Sciences de l'Univers. Leur service d'enseignement annuel est réduit à 66 h TD. En contre partie, ils assurent des « tâches de service » dédiées à la collecte et à la diffusion des données d'observation. L'OPGC dispose actuellement (Sept 2019) de 6 postes CNAP : un poste de physicien-adjoint et un poste de physicien en Océan-Atmosphère, trois postes de physicien-adjoint et un poste de physicienne en Terre Solide. Les personnels CNAP réalisent leurs travaux de recherche au sein des UMR de la composante.

L'OPGC compte 213 personnes, dont 151 permanents, 33 doctorants et 29 non-permanents (post-doctorants et autres CDD). Parmi ces personnels, 30 sont affectés à l'UMS 833, 53 au LaMP et 130 au LMV.

Sur un plan géographique, l'OPGC se situe sur le campus universitaire des Cézeaux à Aubière (bâtiments 5 et 8 du pôle physique pour l'UMS 833 et le LAMP, et bâtiment du LMV). Le LMV a rejoint le campus des Cézeaux courant 2017 ce qui favorise les interactions au sein de l'OSU.

Le domaine de compétences actuel de l'OPGC concerne donc la planète Terre (Terre solide et Atmosphère). Il regroupe deux communautés de scientifiques, des physiciens et chimistes de l'atmosphère (secteur Océan-Atmosphère de l'INSU, Section 19 du CNRS et 37^{ème} section du CNU), et des géologues, géophysiciens et géochimistes (secteur Sciences de la Terre de l'INSU, Section 18 du CNRS et sections 35 et 36 du CNU). L'OPGC travaille également dans le domaine des Sciences de l'Environnement, ce qui se traduit par un rattachement secondaire de l'OPGC à l'INEE et une implication dans la Fédération des Recherches en Environnement.

Accompagnant les activités de recherche dans le domaine des Sciences de l'Univers, de la planète Terre et de l'environnement, l'OPGC porte des plateformes instrumentales et des services d'observation continue de la Terre. L'observation des milieux naturels est indispensable aux recherches fondamentales sur le fonctionnement et les changements de notre Planète, son évolution, la compréhension des processus et l'évaluation des risques. La complexité et l'hétérogénéité des milieux naturels donnent toute sa richesse à l'observation systématique, sur le long terme, de ces milieux, avec une exigence quant à la qualité intrinsèque des données recueillies et délivrées à la communauté scientifique.

L'OPGC, pour ses missions d'observation, a la responsabilité nationale au sens du CNRS-INSU de deux instruments nationaux (Presses multi-enclumes et Plateforme de mesures aéroportée), site national instrumenté Cézeaux-Opme-Puy de Dôme (CO-PDD (OA-ANO5)), Il contribue à 7 services nationaux d'observation ICOS (OA-ANO1), SNOV (TS-ANO1), RLBP et RAP (TS-ANO2), RENAG (TS-ANO3) et BCF-RÉNASS (TS-ANO2). Il participe également à la mise en place et l'exploitation des mesures in situ du site national MAÏDO (OA-ANO5), du service national d'observation CLimate relevant Aerosol Properties from near surface observations (CLAP) (OA-ANO1), et du Service national d'observation Auverwatch (labellisé H+).

Dans ce cadre il est en lien étroit avec les pôles nationaux de données FORM@TER et AERIS. Ainsi, via sa forte implication dans ces services d'observation, il contribue aux infrastructures de recherche nationales RESIF, ACTRIS-FR et ICOS. Les observations générées à l'Observatoire participent à 5 Infrastructures européennes au H2020 : EPOS, EUROVOLC, ENVRPLUS, ACTRIS et HEMERA. L'OPGC met en œuvre également des services d'observation internes à grande visibilité nationale et internationale comme PUYCLOUD, PUYGAZ ou encore le suivi du volcan MERAPI.

L'OPGC est moteur au niveau de la politique du site clermontois. Il est membre du LabEx CLERVOLC porté par le LMV, et participe au projet d'I-SITE CAP 20-25.

Il contribue également au travers de la Fédération des Recherches en Environnement au projet Symbiose du CPER et est en lien au niveau régional avec les l'OSUs de Lyon et Grenoble.

Enfin l'OPGC pilote les enseignements et formations du domaine « Sciences de l'Univers » de l'Université Clermont Auvergne (UCA). Depuis 2017 l'Ecole de l'OPGC (E-OPGC) est composante de l'Université Clermont Auvergne, ce qui lui confère une visibilité accrue pour le recrutement d'étudiants à l'échelle nationale et lui permet le développement de la synergie enseignement/recherche/observation.

I. Structure et fonctionnement de l'OPGC

I.1 Historique et implantation actuelle

L'OPGC est l'héritier direct de l'Observatoire Météorologique du Puy de Dôme, inauguré en 1876 par Emile Alluard, et de la Chaire de Géologie de l'Université de Clermont-Ferrand, créée vers 1860 par Henri Lecoq. Parmi les anciens directeurs de l'Observatoire ou titulaires de la Chaire, on peut noter le météorologue Henri Dessens, le géologue Philippe Glangeaud et surtout, à la frontière des deux disciplines, Bernard Brunhes, qui a découvert en 1905 les inversions du champ magnétique terrestre. La configuration actuelle de l'OPGC date de 1985, quand ont été agrégés à l'Observatoire les laboratoires de météorologie et de géologie de l'Université Blaise Pascal. Sur le plan géographique, l'OPGC est sur le site des Cézeaux à Aubière (bâtiments n° 5 et 8 du pôle Physique Ingénierie et Observatoire : OPGC et LaMP) et depuis 2017 le LMV (précédemment en centre ville) a intégré de nouveaux locaux sur le campus des Cézeaux. Cette plus grande proximité constitue un atout pour le renforcement des synergies au sein de l'OPGC.

S'y rajoutent plusieurs sites d'observation et expérimentation : chalet-observatoire du sommet du puy de Dôme, station radar d'Opme, station radar d'Aulnat, stations sismiques du réseau RESIF et station de mesures AuverWatch.

I.2 Gouvernance et organisation

Les Observatoires des Sciences de l'Univers sont administrés par un Conseil élu et dirigés par un directeur choisi dans l'une des catégories de personnels qui ont vocation à enseigner dans l'école. Les directeurs des Observatoires des Sciences de l'Univers sont nommés par le ministre chargé de l'enseignement supérieur, sur proposition du Conseil. Leur mandat est de cinq ans renouvelable une fois. Le directeur est ordonnateur des recettes et des dépenses.

Le Conseil est présidé par une personnalité extérieure dont le mandat est de trois ans. Le Conseil définit le programme pédagogique et le programme de recherche de l'OSU, dans le cadre de la politique de l'établissement dont il fait partie. Le Conseil est consulté sur les recrutements. Le directeur de l'OSU assiste de droit au Conseil.

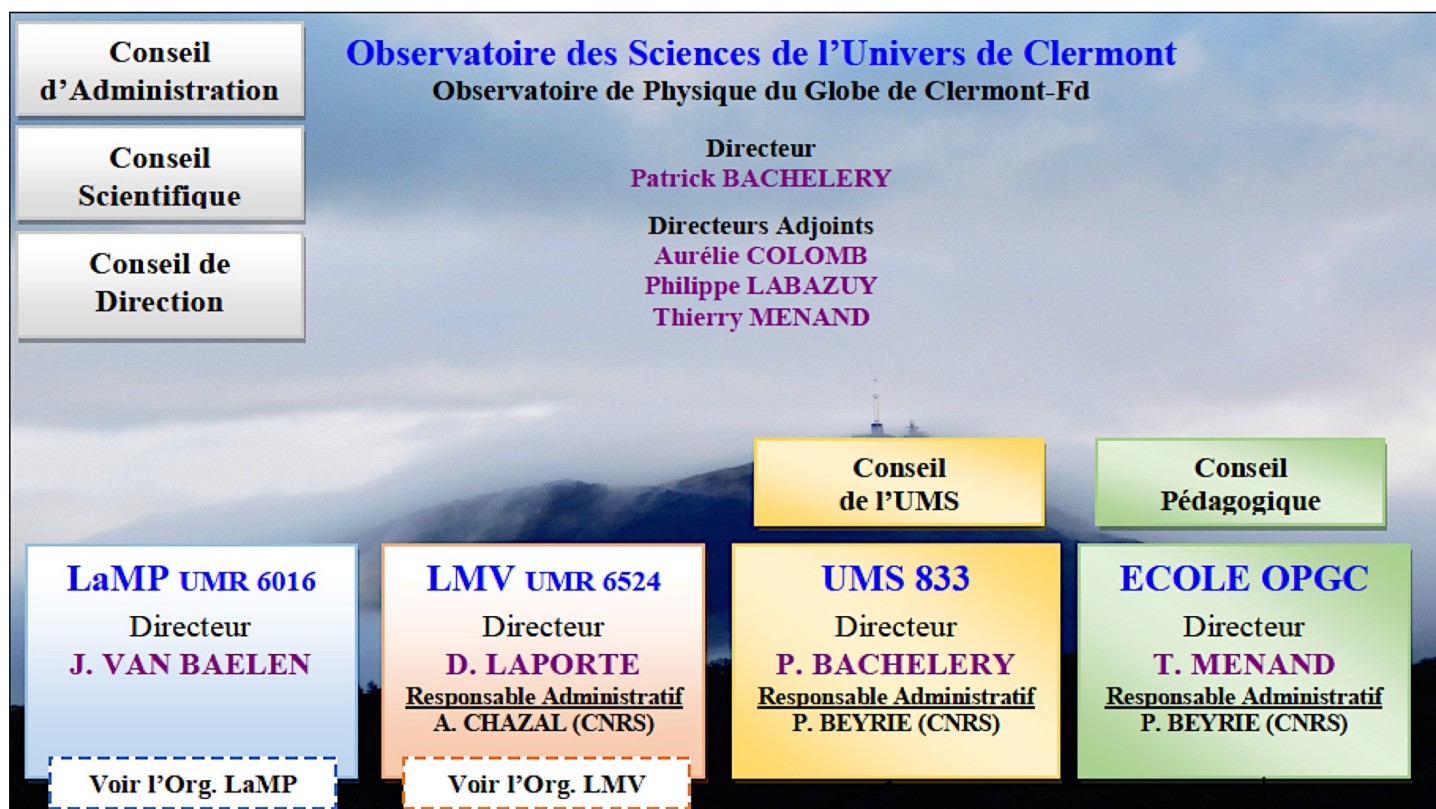
L'OPGC est doté d'un Conseil comprenant 22 membres élus des différents collèges des personnels et usagers de l'OPGC, et 12 personnalités extérieures dont les représentants des tutelles (Président de l'Université Clermont Auvergne, le Directeur de l'Institut National des Sciences de l'Univers du CNRS et le Directeur de l'IRD), du Conseil

Régional de la Région Auvergne, d'organisations de salariés, du CNES, du BRGM et de Météo France, et une personnalité désignée par le Conseil à titre personnel. Le Conseil a été présidé jusqu'en Juin 2018 par : Daniel Vidal-Madjar, directeur de recherche au CNRS.

L'OPGC est également doté d'un conseil scientifique chargé de proposer les orientations de sa politique scientifique et d'un conseil pédagogique en charge des orientations en termes d'enseignement et de formation, dans le contexte général défini par le Conseil de l'OPGC. Ils sont présidés par le Directeur de l'OPGC.

L'organigramme ci-dessous correspond à l'organisation de l'OSU OPGC déployée par P. Bachelery jusqu'à décembre 2017. Des changements ont vu le jour au cours de l'année 2018 sous l'impulsion de la nouvelle direction (N. Huret, nommée le 1^{er} Janvier 2018, Journal officiel n° 0273 du 23 novembre 2017).

La direction de l'OPGC s'appuie, dans les prises de décisions quotidiennes sur le Comité de Direction formé par le directeur et les directeurs adjoints de l'OPGC, les directeurs des deux UMR, (LaMP et LMV), le responsable administratif et l'assistante de direction de l'OPGC. Les responsables de service peuvent être appelés à participer au CoDIR, si nécessaire.

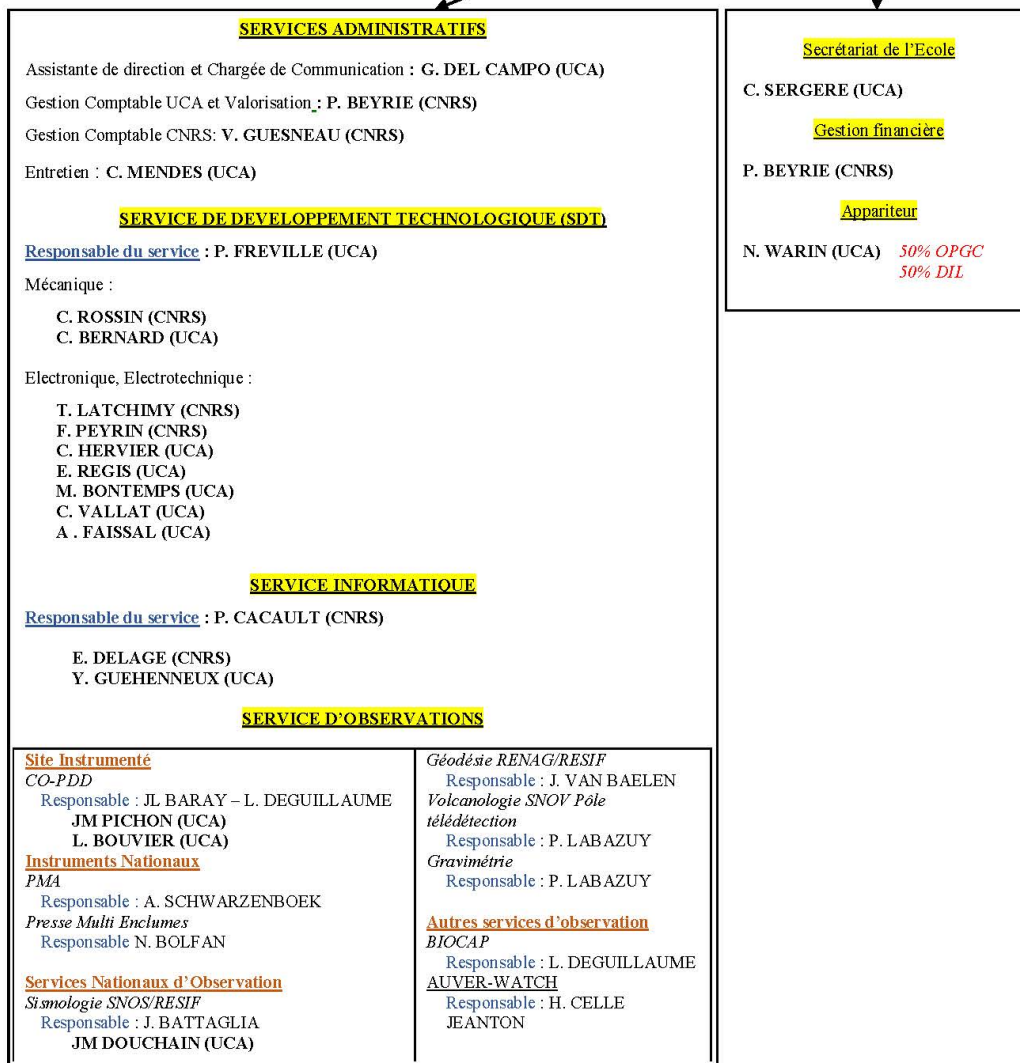
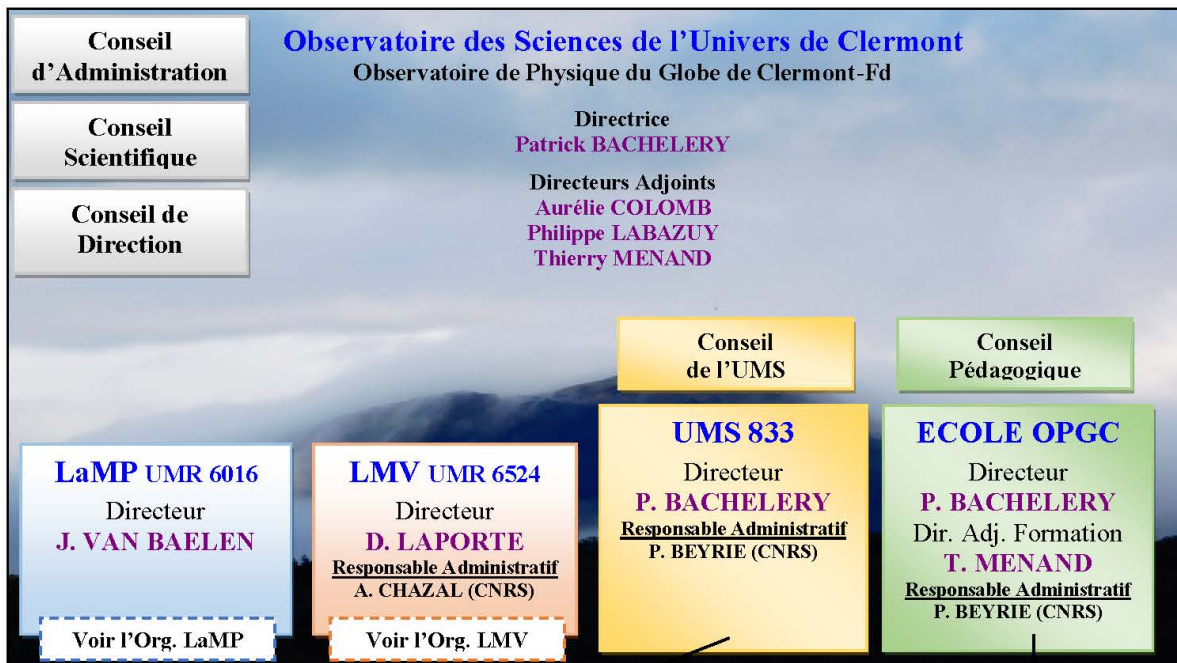


Les Services Centraux de l'OPGC, Service de Développement Technologique (SDT), Service Informatique permettent d'assurer la gestion administrative et financière de l'UMS 833, la coordination informatique et la logistique de ses entités. La création du Service de Développement Technologique (SDT) de l'OPGC en service mutualisé date de la fin des années 1970.

Ces différents services contribuent au fonctionnement des plateformes d'observation, au développement d'outils technologiques spécifiques garants de la qualité des observations, aux activités de recherche, et au développement de projets innovants d'enseignement. Ces services mutualisés d'ingénieurs et techniciens sont en charge de :

- La conception et de la réalisation des prototypes destinés aux Services d'Observation ou aux projets des laboratoires de Recherche, et de la mise à niveau technologique des appareillages scientifiques (R&T, R&D, projets),
- Le développement et les actions de routine des services d'observation,
- La gestion de la base de données et des calculs scientifiques associés aux chaînes de traitement des données.

L'une des particularités des OSU au travers de ses services est le maintien et la garantie qualité des dispositifs de mesures et d'observation avec la finalité de mettre à disposition les données recueillies auprès des communautés scientifiques nationales et internationales. La constitution de longues bases de données temporelles et leur diffusion est au cœur des activités de l'OPGC ainsi que le développement d'instrumentation pour de nouveaux observables.



I.3 Ressources Humaines

Sont ici uniquement présentées les informations concernant le personnel de l'UMS 833. Les personnels rattachés aux UMR sont présentés dans les dossiers de chacune d'entre elles.

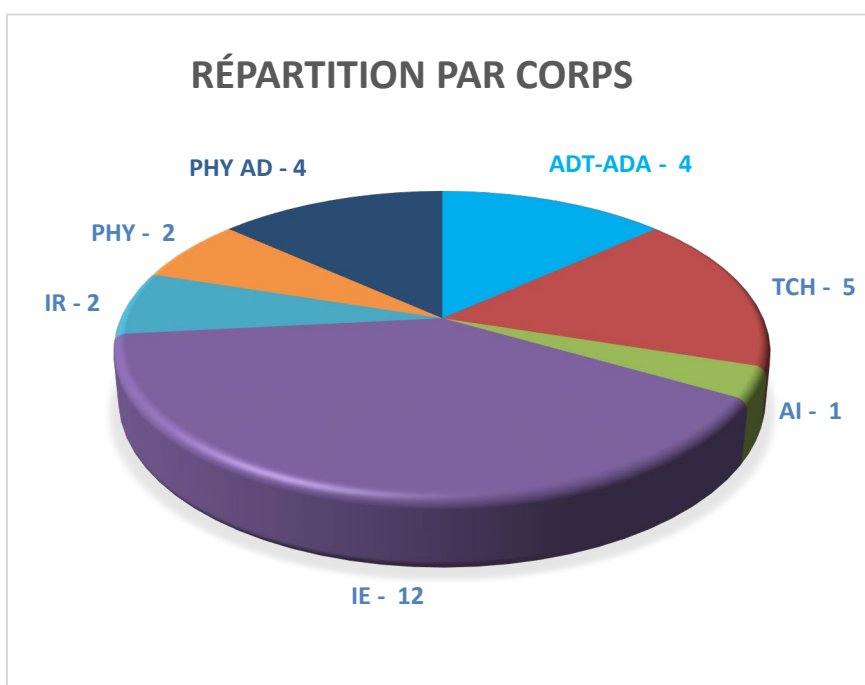
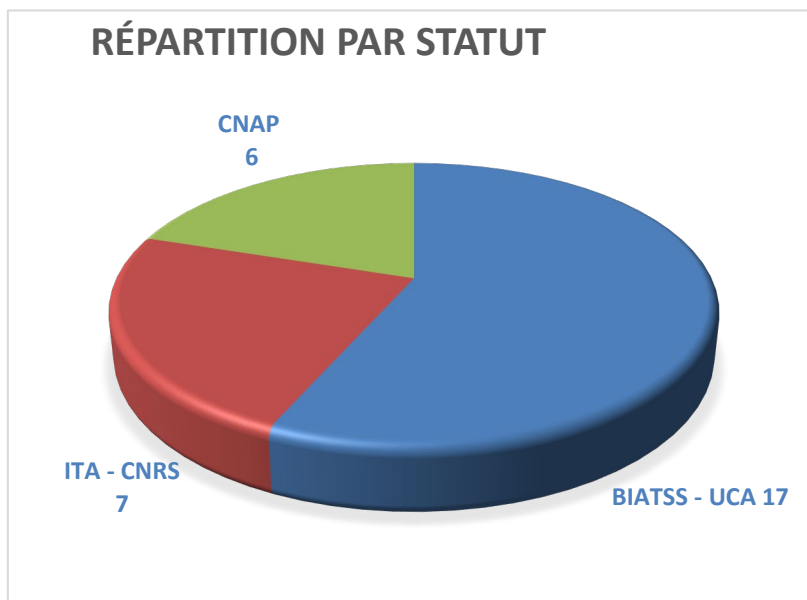
Ces chiffres sont proches de ceux du bilan de l'unité effectué en 2015. Depuis 2015 il y a eu 4 départs pour les BIATSS et 2 départs pour les CNAP. Ces départs ont été compensés par 8 arrivées BIATSS (6 permanents et 2 CDD).

I.3.a Effectif au 31/12/2018 : 30 personnes pour l'UMS 833

17 personnels UCA
 4 Adjoints Techniques
 5 Techniciens
 7 Ingénieurs d'Etudes (dont deux CDD)
 1 Ingénieur de Recherche

7 personnels CNRS
 1 Assistant Ingénieur
 5 Ingénieurs d'Etudes
 1 Ingénieur de Recherche

6 personnels CNAP
 2 Physiciens dont 1 SCOA et 1 TI
 4 Physiciens Adjoints dont 1 SCOA et 3 TI



Personnels Techniques et Administratifs de l'UMS 833

Le tableau ci-dessous présente l'état des lieux des personnels ITA et BIATSS au 31/12/2018.

| NOM | PRENOM | GRADE | SERVICE |
|------------|-------------|---------|---------------------|
| BACQUES | Guillaume | CDD IE | SI |
| BERNARD | Christophe | TCH-UCA | SDT |
| BEYRIE | Pascal | IE-CNRS | Resp. admin |
| BONTEMPS | Martial | TCH-UCA | SDT |
| BOUVIER | Laëtitia | TCH UCA | SDT |
| CACAULT | Philippe | IE-CNRS | SI |
| DELAGE | Emmanuel | IE CNRS | SI |
| DEL CAMPO | Géraldine | TCH UCA | Assist. Dir. |
| DOUCHAIN | Jean-Michel | IE-UCA | SDT |
| FAISSAL | Alexandre | ADT UCA | SDT |
| FREVILLE | Patrick | IR UCA | SDT & STObs |
| GUEHENNEUX | Yannick | IE UCA | SI |
| GUESNEAU | Valérie | AI CNRS | Gestion |
| HERVIER | Claude | IE-UCA | SDT |
| LATCHIMY | Thierry | IE-CNRS | SDT |
| MENDES | Christelle | ADT-UCA | SDT |
| PEYRIN | Frédéric | IE-CNRS | SDT |
| PICHON | Jean-Marc | IE-UCA | SDT |
| REGIS | Edouard | IE-UCA | SDT |
| ROSSIN | Christelle | IR-CNRS | SDT & Dir.Adj.Tech. |
| SEGONNE | Charlotte | CDD IE | SI |
| SERGERE * | Cécile | ADA UCA | Scolarité E-OPGC |
| VALLAT | Christophe | TCH | SDT & SI |
| WARIN * | Nathalie | ADT | Appariteur E-OPGC |

*personnels ayant intégré l'UMS 833 lors de la création de la composante E-OPGC en 2017.

Concernant les personnels BIATSS et ITA de l'UMS 833, le bilan est plutôt positif. Durant le contrat en cours, l'OPGC a obtenu **9 promotions** par liste d'aptitude, tableau d'avancement ou concours.

| Concours Interne | Concours Externe | Examen Professionnel | Tableau d'Avancement |
|--|---|---|--|
| 1 Assistant Ingénieur (CNRS) 1 Technicien Classe Normale (UCA) 1 Adjoint Technique (UCA) | 1 Ingénieur d'Etude Classe Normale (UCA) | 1 Technicien Classe Supérieure 1 Ingénieur de Recherche Hors Classe (CNRS) | 2 Ingénieurs d'Etude Hors Classe (CNRS) 1 Ingénieur d'Etude Hors Classe (UCA) |

Plusieurs mouvements de postes ont eu lieu durant cette période :

- ✓ **2 départs à la retraite en 2015**, dont un pour le service de développement technologique (UCA) qui a été pourvu par une mutation interne, et un pour le service de communication (CNRS) qui n'a pas été réaffecté.
- ✓ **1 départ en mutation** au SI, qui a été pourvu par concours externe UCA.
- ✓ **1 départ en disponibilité** au SDT qui a été pourvu par concours interne d'Adjoint Technique (UCA).

On compte également plusieurs arrivées.

- ✓ **1 IE** au SBC par mouvement NOEMI
- ✓ **1 Tech** au SDT, recrutement par concours interne
- ✓ **2 réaffectations** de postes d'Adjoint Administratif et Adjoint Technique qui ont rejoint l'UMS 833 au travers de la composante Ecole de l'OPGC.
- ✓ **2 recrutements** en CDD sur contrat recherche.

Personnels scientifiques (au 31/12/2018)

Le statut d'OSU de l'OPGC permet d'accueillir des physiciens et physiciens adjoints recrutés par le Conseil National des Astronomes et Physiciens (CNAP) afin d'assurer les missions d'observation à long terme. Ce sont des personnels UCA, qui relèvent d'une gestion nationale par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

L'OPGC dispose actuellement de 6 postes CNAP, dont deux physiciens (1 en Terre Interne et 1 en Surface Continentale Océan Atmosphère) et 4 physiciens adjoints (3 en TI et 1 en SCOA). S'ajoute à cela un physicien Emérite.

| NOM | PRÉNOM | GRADE | Observation | Section CNAP |
|-------------|---------------|-------------------|----------------------------|--------------|
| BARAY | Jean-Luc | Physicien adjoint | Resp. CO-PDD | SCOA |
| DEGUILLAUME | Laurent | Physicien | Resp CO-PDD | SCOA |
| DONNADIEU | Franck | Physicien adjoint | Resp.SNOV-Voldorad | TI |
| GOUHIER | Mathieu | Physicien adjoint | Resp. SNOV-hotVolc | TI |
| GURIOLI | Lucia | Physicien | Resp. SNOV-DynVolc | TI |
| LABAZUY | Philippe | Physicien adjoint | Resp OPGC EPOS & EUROVOLC& | TI |
| | | | | |
| LENAT | Jean-François | Physicien Emérite | Physicien Emérite | TI |

Durant le contrat en cours l'OPGC a perdu :

2 postes de physiciens adjoints : S. Moune et D. Jessop sont partis en mutation à l'IPGP/Observatoire volcanologique de Guadeloupe.

1 poste de physicien relatif au départ à la retraite de Jean-François Lénat, en juin 2015, (émérite actuellement).

Concernant **les promotions, nous en comptons deux**, un physicien adjoint a été promu par concours physicien, et un physicien adjoint a été promu physicien adjoint hors classe.

Mouvement des personnels à l'UMS entre 2014 et 2018 :

| DATES | Départs de l'unité | | | | DATES | Arrivées dans l'unité | | | |
|------------|---|---------------------------------|--|--|--------------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|---|
| | Nom | Types d'emploi (Grade, section) | Etabliss. (UCA, CNRS,...) avant départ | Motif (retraite, changement d'unité,...) | | Nom | Type d'emploi (Grade, section) | Etabliss. (UCA, CNRS...) à l'arrivée | Motif (recrutement, changement d'unité,...) |
| 01/04/2015 | REYMOND Christian Personnel UCA | TECH CN | UCA | RETRAITE → | 01/09/2015 | VALLAT Christophe Personnel UCA | TECH CE | ISIMA | MUTATION |
| 01/06/2015 | LENAT Jean-François Personnel UCA (CNAP) | PHY | UCA | RETRAITE | Pas de recrutement | | | | |
| 01/08/2015 | RUSSIAS Marie Personnel CNRS | TECH CE | CNRS | RETRAITE → | Pas de recrutement | | | | |
| | | | | | 01/10/2015 | DELAGE Emmanuel Personnel CNRS | IE | UCA LPC | MUTATION |
| | | | | | 15/10/2015 | BOUVIER Laetitia Personnel UCA | TECH CN | UCA (CDD) | CONCOURS |
| 01/01/2016 | GARDES Yohan Personnel UCA | ADT | UCA | DISPO. → | 23/03/2016 | FAISSAL Alexandre Personnel UCA | ADT | | CONCOURS (01/09/2017) |
| 01/04/2016 | RIVET Sandrine Personnel UCA | IE | UCA | MUTATION → | 13/11/2017 | GUEHENNEUX Yannick Personnel UCA | IE | | CONCOURS |
| | | | | | 01/09/2017 | JESSOP David Personnel UCA | PHY AD | | CONCOURS |
| | | | | | 01/09/2017 | SERGERE Cécile Personnel UCA | ADJ ADM | UCA | REAFFECTION |
| | | | | | 01/09/2017 | WARIN Nathalie 50% Personnel UCA | ADT | UCA | REAFFECTION |
| 01/09/2018 | JESSOP David Personnel UCA (CNAP) | PHY AD | UCA | MUTATION → | Pas de recrutement | | | | |
| 01/09/2018 | MOUNE Séverine Personnel UCA (CNAP) | PHY AD | UCA | MUTATION → | Pas de recrutement | | | | |
| | | | | | 01/09/2018 | SEGONNE Charlotte Personnel UCA | CDD IE | Projet HEMERA | |
| | | | | | 01/09/2018 | BACQUES Guillaume Personnel UCA | CDD IE | Projet GéoVir3D - NCU | |

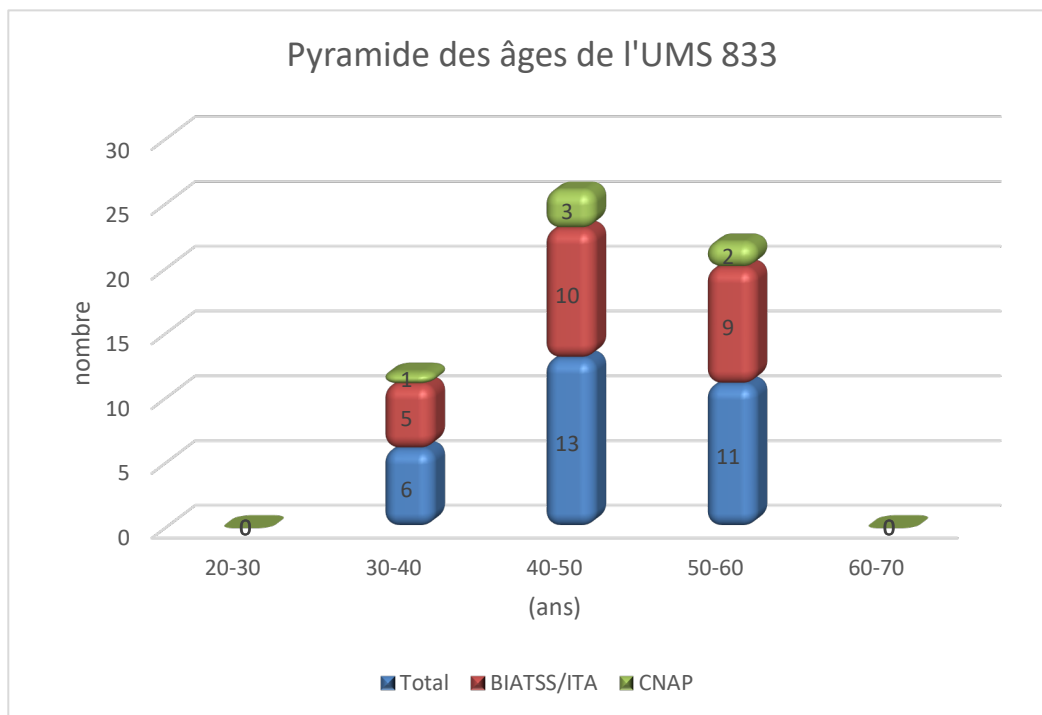
I.3.b Analyse des Ressources Humaines

Pyramide des âges

Ci-dessous les histogrammes des pyramides des âges de l'UMS 833. L'UMS compte actuellement 30 personnes (24 ITA/BIATSS et 6 CNAP), dont 4 agents administratifs & fonction support et les 2 agents dédiés à l'E-OPGC, soit 18 agents techniques au services des tâches de service associées aux services d'observation, instruments nationaux et site national instrumenté et développement instrumental. Il est à noter que 7 scientifiques (PR, DR, Mcf, CR) sont directement impliqués aux services d'observation, IN et SN des laboratoires LMV et LaMP. Ainsi in fine **moins de 0,5 agent technique est disponible par scientifique avec en plus des missions au service des laboratoires.**

Que ce soit pour les BIATSS/ITA et CNAP, les forces vives sont centrées sur la tranche 40-50 ans, avec des moyennes d'âge respectives de 47 ans et 46 ans. Il n'y a pas de personnel technique dans la tranche 20-30 ans qui est pourtant la tranche d'âge de recrutement de ces personnels.

A court et moyen terme le besoin de recrutement d'ITA/BIATSS et Phys. Adjoint CNAP est crucial pour pouvoir maintenir notre capacité à faire fonctionner et développer nos services d'observation.

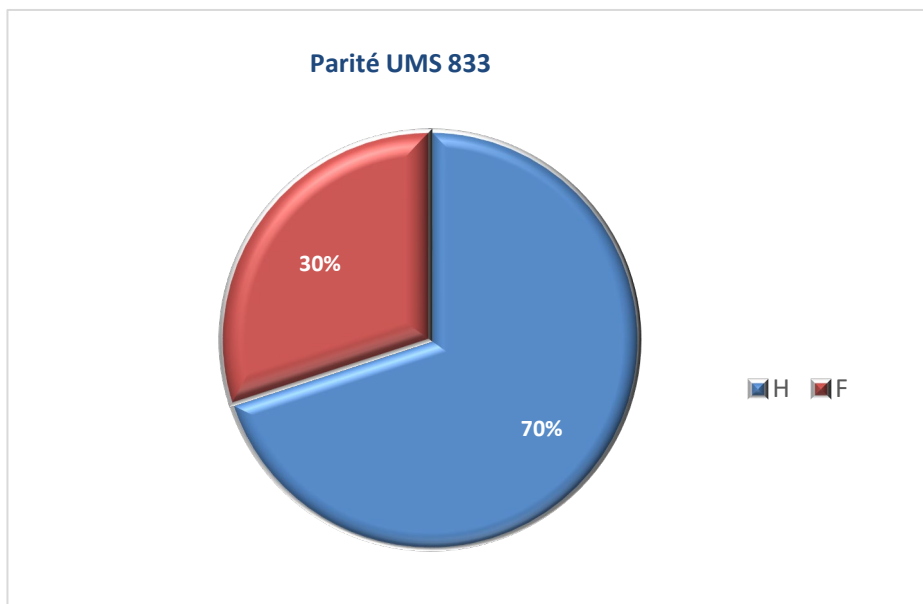


La situation actuelle avec en plus des 6 personnels CNAP, 7 scientifiques MCF/PR ou CR/DR des UMRs assurant des responsabilités liées aux observations montre l'engagement et la pertinence de l'OSU OPGC sur l'ensemble de son périmètre vis-à-vis des observations. En contrepartie, cet état des lieux met en évidence un sous-dimensionnement du corps des personnels CNAP vis-à-vis des enjeux actuels d'observation à long terme de notre planète.

Parité

La direction de l'OSU OPGC est portée par 1 femme, et la parité est strictement respectée au niveau des directions adjointes (2 femmes, 2 hommes) cf prospective. Et depuis 2018 les trois conseils de l'observatoire respectent la parité.

A l'UMS 833, au total 9 femmes et 21 hommes travaillent, soit 30% de femmes et 70% d'hommes. Cependant seules 3 femmes exercent dans le domaine scientifique, les 6 autres étant associées à des fonctions support (secrétariat, gestion financière, logistique). Pour les agents CNAP, la parité est respectée pour le corps de Physiciens (1 homme, 1 femme), par contre les physiciens adjoints sont uniquement masculins.



Un effort reste à faire pour les futurs recrutements scientifiques en lien avec l'E-OPGC afin de favoriser l'émergence de femmes embrassant une carrière scientifique.

I.4 Bilan financier

I.4.a Evolution et répartition des budgets

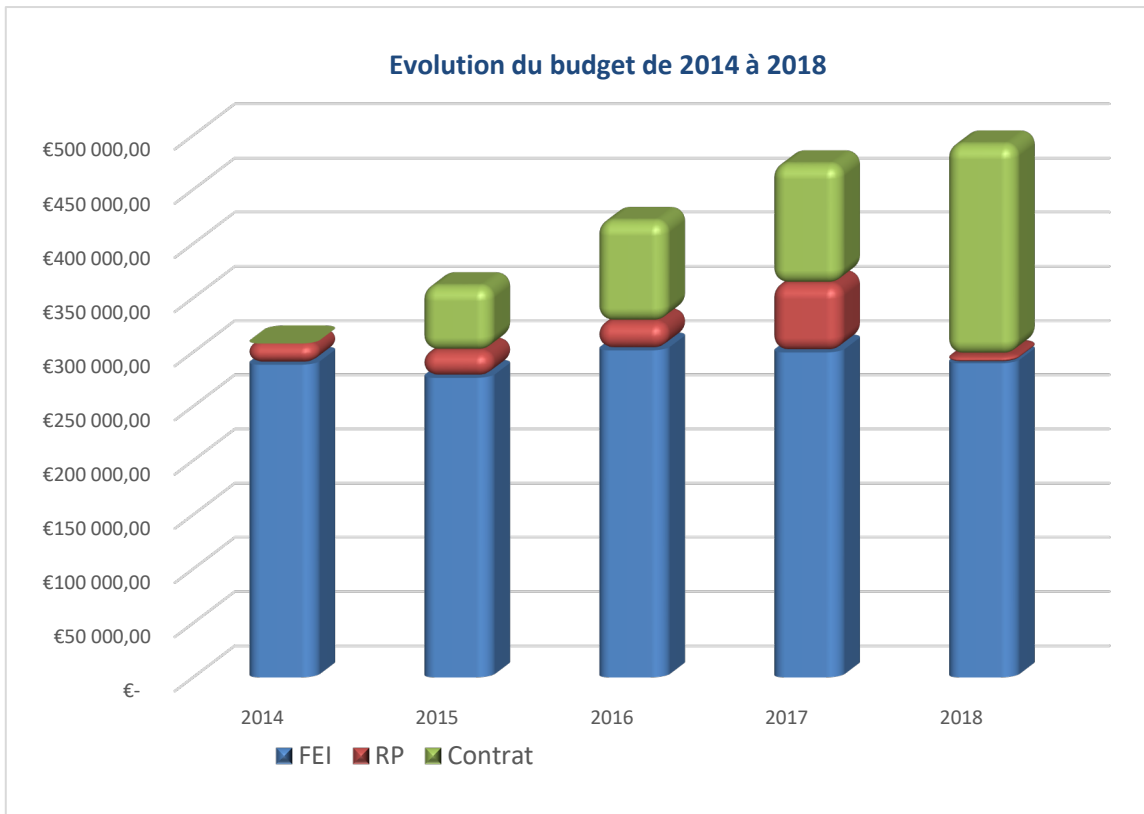
Les deux diagrammes ci-dessous présentent l'évolution des ressources de l'OPGC au cours des 5 dernières années ainsi que leur répartition par objet.

Depuis 2014 l'observatoire a vu ses ressources financières augmenter d'environ 308 k€ à 491 k€, soit 50% d'augmentation et ce malgré une dotation des tutelles quasi constante (noté FEI – Fonctionnement Equipement Investissement, RP Ressources Propres).

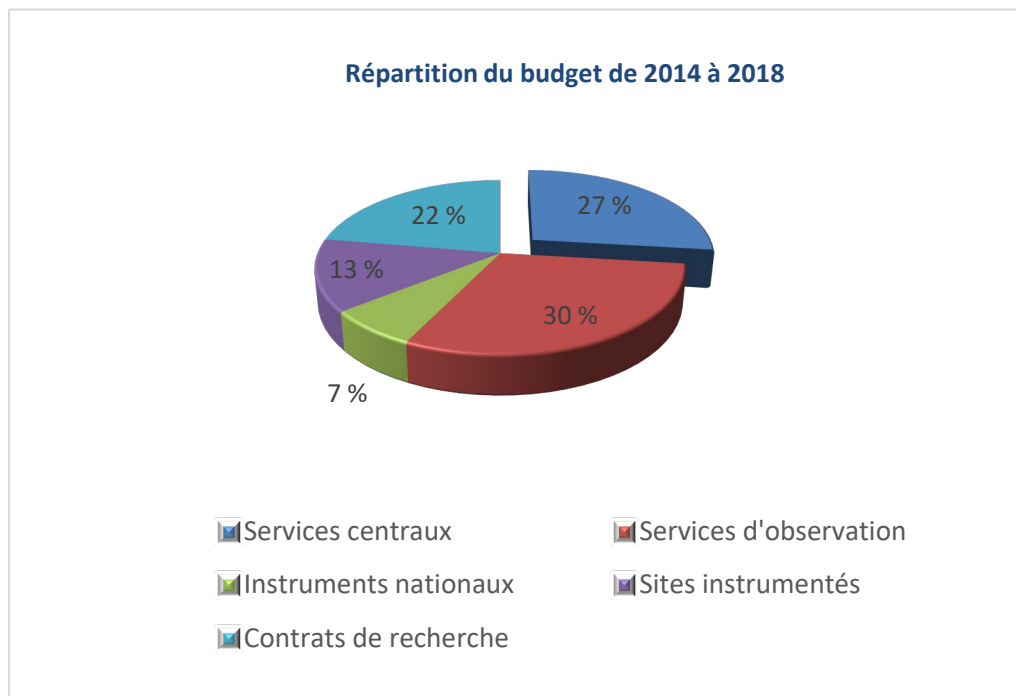
Ceci s'explique par la vitalité de l'Observatoire et son engagement au niveau national et international avec l'implication des équipes dans les infrastructures de recherche européennes.

En effet l'observatoire gère les financements associés à la contribution de l'OPGC aux projets européens d'infrastructure EPOS, EUROVOLC, HEMERA et ERASMUS+.

De plus auprès du CNRS-INSU le projet COPLid (Appel d'offre mi-lourd) a permis la jouvence du lidar du site instrumenté CO-PDD et également en 2017 via une dotation exceptionnelle l'achat du 4x4 de l'OPGC permettant d'effectuer les routines hebdomadaires au sommet du puy de Dôme. L'OPGC est impliqué également dans des projets CNES associés aux services d'observation et au volet drone.



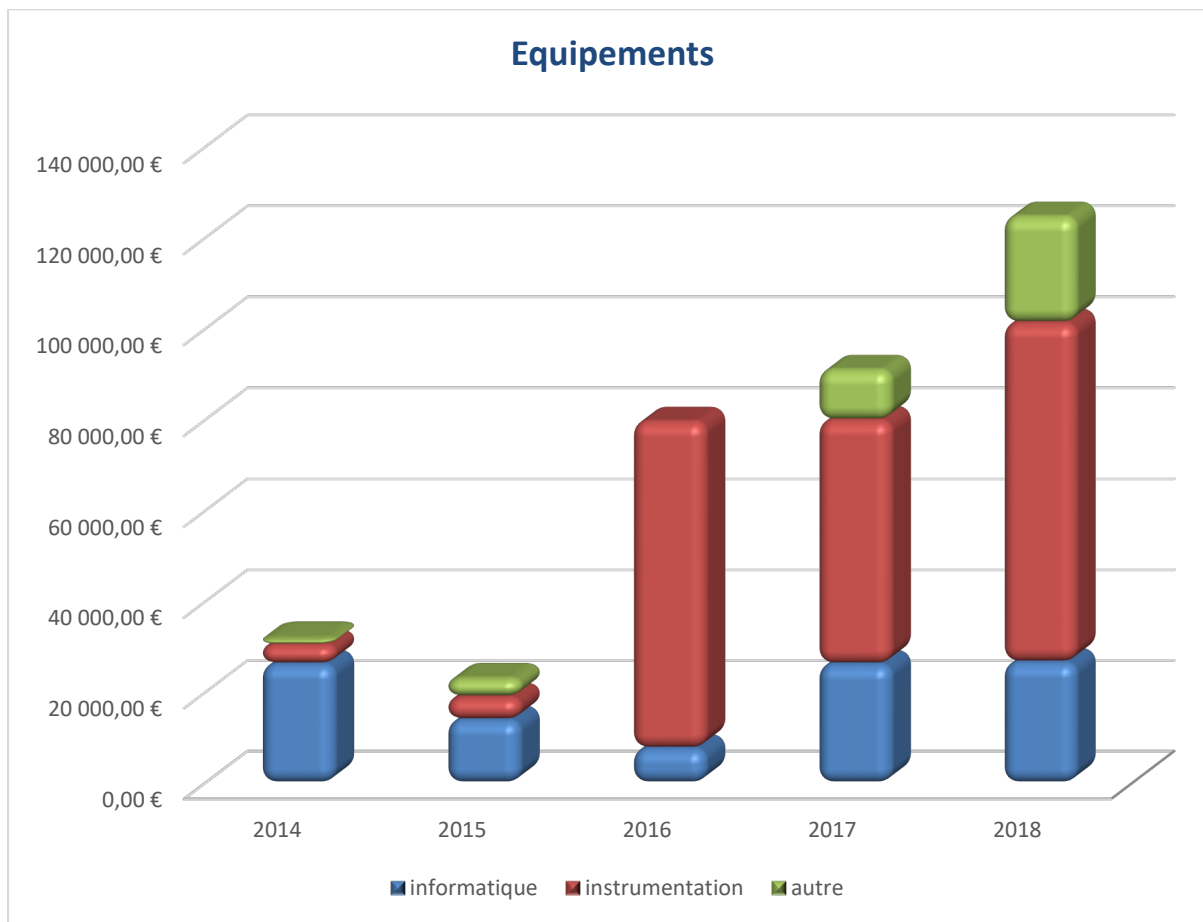
En terme de répartition budgétaire l'OPGC consacre 27 % du budget aux services centraux, 50 % à ses missions observations (Services Nationaux d'Observation, instruments nationaux et site instrumenté) et 22 % des financements sont associés à des contrats : infrastructure européenne au H2020, CNES, CNRS-INSU. La répartition budgétaire est votée par le conseil de l'OPGC annuellement.



I.4.b Equipements

L'histogramme ci-après présente par année les dépenses en équipement (dépenses supérieures à 800 euros) de l'OPGC, classées en considérant les dépenses informatiques (ordinateurs, serveurs, logiciels), les instrumentations, les autres dépenses d'équipement (achat de véhicule, réparation etc.). Le tableau est donné en **Annexe 1**. Les équipements ayant obtenu du financement via le LABEX ClerVolc ou les challenges de l'I-Site CAP 20-25 ou la

Fédération des Recherches en Environnement (projet Symbiose) ne figurent pas dans ce diagramme, des indicateurs sont présentés paragraphe 11.3 page 37. La gestion de ces financements étant extérieure, la chaîne de suivi de ces sources n'est pas établie.

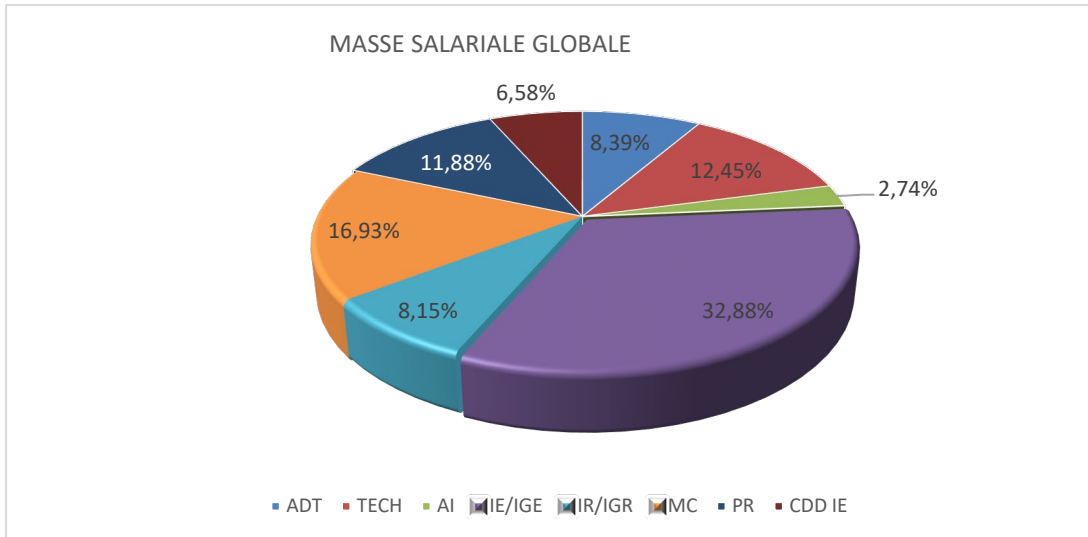


Depuis 2016, l'investissement en instrumentation est conséquent, et principalement associé à la jouvence du site instrumenté CO-PDD (analyseurs de gaz en 2016, jouvence du lidar 2017) et SNOV (2018). Ces équipements, de prix unitaire allant de 10 000 à 50 000 euros, nécessitent un environnement de matériels technologiques moins coûteux, mais nécessaire au fonctionnement pour un total aux environs de 50 000 à 70 000 euros par an sur ces trois années. En 2017 et 2018, l'enveloppe financière "autre" indique le financement de l'achat de véhicules nécessaires aux besoins des services. Il est à noter que le financement de ces jouvences d'instruments agrège différentes sources (Région, AO CNRS-INSU, AO ANR, AO européens) et par voie de conséquence un montage chronophage en temps pour les responsables scientifiques.

I.4.3 Masse salariale

Le coût de la masse salariale de l'UMS 833 est en 2019 d'environ 2 M€ annuel. Ce chiffre est à mettre en regard des coûts de fonctionnement et contrats gérés par l'Observatoire (491 k€).

Concernant la masse salariale la figure ci-contre montre le blocage dans les carrières du corps des TECH (12.45 %) vers AI (2.74 %) et de IE/IGE (32.88%) vers IR/IGR (8.15 %).



L'exercice d'analyse des coûts est complexe, toujours en raison de la gestion extérieure d'une partie des financements associés aux projets LABEX CLERVOLC et I-SITE CAP20-25, Fédération des Recherches en Environnement, ou encore certains projets ANR et européens, relatif au post-doc, doctorants, ect.

La direction regrette que la contribution des volets européens de l'IR ACTRIS de l'OPGC (site instrumenté CO-PDD, SNO CLAP et autres actions associées aux différents groupes de travail) ne soit pas gérée à l'OPGC. L'exercice annuel de validation des coûts complets de l'IR ACTRIS sur la base de données des SNOs du CNRS-INSU est ainsi rendu difficile.

L'entièreté des financements européens associés aux services d'observations en Sciences de la Terre s'effectue elle à l'OPGC (EPOS, EUROVOLC), ce qui permet de réellement analyser les besoins et construire une stratégie, une feuille de route financière.

I.5 Insertion dans la politique de site et dans le contexte local, complémentarité avec les autres structures fédératives du site

L'OPGC, composante de l'Université Clermont Auvergne depuis 2017, est partie prenante de la politique de site. Il participe à la politique universitaire, tant en matière de formation et de diffusion des connaissances, que dans son rôle de fédération de recherche portant la mutualisation ou coordination d'outils, d'actions et de fonctions support (logistique, communication, informatique, administration).

I.5.1 Politique du site clermontois

L'OPGC joue un rôle très actif dans la politique de site avec une participation active au LabEx CLERVOLC et au projet I-SITE CAP 20-25. Ces projets nous permettent de développer des recherches pluridisciplinaires en raison du large panel de domaines de recherche associés à ces consortia : Mathématique, Physique fondamentale, Chimie mais aussi Sciences Humaines et Sociales et Economie. Pour le LABEX ClerVolc six laboratoires de l'Université Clermont-Auvergne sont associés : LMV, LaMP, OPGC, LIMOS, LPC, LMBP. Pour le challenge 4 "Risques naturels catastrophiques et vulnérabilités socio-économiques", vingt-deux laboratoires de l'Université Clermont-Auvergne sont actuellement impliqués.

LabEx CLERVOLC

CLERVOLC (<http://ClerVolc.univ-bpclermont.fr>) est un pôle de recherche, d'innovation et de formation dans les domaines des phénomènes volcaniques, de leurs dangers et leurs risques. CLERVOLC est financé pour une durée de 10 ans depuis 2011 dans le cadre des "Investissements d'Avenir" (programme "Laboratoire d'excellence"). Il vient d'être prolongé pour une durée de 5 ans. Le projet implique la collaboration de six laboratoires de recherche de l'UCA-CNRS, du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) et de l'OPGC, sous le leadership du Laboratoire Magmas et Volcans (LMV) de l'UCA.

[L'OPGC est membre du comité de pilotage de ClerVolc.](#)

I-SITE CAP 20-25

Challenge 1 : Agro-écosystèmes durables dans un contexte de changement global

L'objectif de ce challenge est de permettre de mieux comprendre les systèmes environnementaux, leur évolution dans le contexte du changement global et leurs interactions avec les agro-écosystèmes : impact facteurs environnementaux sur les productions agricoles et vice-versa. Les agro-écosystèmes sont soumis à de nombreuses contraintes : changement climatique, déclin de la biodiversité, limitation planifiée des intrants nécessaires à la production, nécessité d'un approvisionnement régulier et de qualité auprès des filières agroalimentaires, changements des habitudes d'alimentation et de la perception de l'agriculture par les citoyens, etc.

Le Cloud Environnemental au bénéfice de l'Agriculture (CEBA) a pour but de fournir un observatoire numérique de l'environnement et des agroécosystèmes (eau, sol, air, biodiversité) à l'échelle du territoire auvergnat.

[L'OPGC contribue au Challenge 1, via le Directeur du LaMP qui siège au comité de pilotage. Depuis mars 2019, l'OPGC fait partie du comité d'animation du CEBA.](#)

Challenge 4 : Risques naturels catastrophiques et vulnérabilités socio-économiques.

Le Challenge scientifique « Risques naturels catastrophiques et vulnérabilités socio-économiques » du projet CAP 20-25 (<http://cap2025.fr/challenge4/>) vise à comprendre « les interactions complexes entre sociétés et catastrophes naturelles, notamment les risques volcaniques dans les pays en voie de développement, et les étapes entre les résultats de la recherche et les décisions politiques ». Il propose de forger une approche intégrative et originale pour la réduction des risques naturels. Cette approche regroupe une palette d'acteurs et de compétences relevant de plusieurs disciplines, notamment des Sciences de la Terre, des Mathématiques, de l'Économie et des Sciences Humaines et Sociales, afin d'aborder des questions liées à l'évaluation quantitative des risques naturels, à la caractérisation de vulnérabilités socio-économiques, à la perception du risque et aux comportements face aux risques, et à l'élaboration de stratégies d'atténuation des risques et de capacités de résilience. [L'OPGC est membre du comité de pilotage du Challenge 4 et est responsable du Groupe de travail Master Risque.](#)

Préfecture et Clermont Communauté

[L'OPGC est en lien direct avec les services de la préfecture et Clermont Communauté.](#) Il est sollicité si une question relative à la prévision des risques liés aux phénomènes naturels est évoquée (surveillance de l'activité sismique, GPS ou précipitations intenses, par exemple). Dans ce cadre, de nombreuses conventions entre l'OPGC et les acteurs locaux et régionaux ont été signées (pour exemple, la convention avec Clermont Communauté portant sur le suivi des précipitations et l'estimation des lames d'eau sur le domaine urbain avec une haute résolution spatiale et temporelle pour laquelle l'OPGC/LaMP met en œuvre sa plateforme radar bande X et son réseau de pluviomètres, disdromètres, MRR, ou encore une convention pour le suivi de la pollution particulaire dans l'agglomération clermontoise).

La Chaîne des Puys - faille de Limagne-UNESCO

[L'OPGC au travers des chercheurs du LMV a participé au projet Unesco pour inscrire La Chaîne des Puys - faille de Limagne au patrimoine mondial naturel de l'humanité.](#) Lauréat en 2018, le site comprend la longue faille de Limagne, l'alignement des volcans de la Chaîne des Puys et le relief inversé de la Montagne de la Serre. Il s'agit d'un élément emblématique du rift ouest-européen, créé dans le sillage de la formation des Alpes, il y a 35 millions d'années. Les caractéristiques géologiques démontrent comment la croûte continentale se fissure, puis s'effondre, permettant au magma profond de remonter et entraînant un soulèvement de la surface. Le lieu illustre de manière exceptionnelle le phénomène de rupture continentale – ou rifting –, qui est l'une des cinq principales étapes de la tectonique des plaques.

La fusion des universités clermontoises au 1^{er} janvier 2017 en un établissement unique, l'Université Clermont Auvergne, a entraîné une redéfinition de la carte des composantes d'enseignement.

L'OPGC est depuis 2017 une composante de l'UCA (E-OPGC) et porte les formations initiales et continues du domaine des Sciences de l'Univers de l'Université Clermont Auvergne. Ainsi, depuis la rentrée 2017, l'E-OPGC a mis en place l'ensemble de la structure opérationnelle de fonctionnement de l'Ecole.

1.5.2 Complémentarité avec les autres structures fédératives et paysage régional

L'élargissement de l'OPGC qui avait été envisagé dans le contrat 2010-2015 (accueil des laboratoires LMGE (Laboratoire «Micro-organismes Génome et Environnement» - UMR CNRS/UCA 6023), GEOLAB (Laboratoire de Géographie Physique et Environnementale UMR CNRS/UCA 6042 - équipe «dynamiques géoenvironnementales contemporaines»), et de l'axe transverse : Chimie et Environnement de l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF), n'a pu être réalisé. Les raisons de ce renoncement sont indépendantes de la volonté de l'OPGC vis-à-vis de cet élargissement vers des laboratoires relevant de l'INEE et de l'INC, et vers des thématiques portant sur l'environnement naturel et l'étude du fonctionnement des écosystèmes aquatiques et terrestres.

Au delà de cet avortement, des collaborations scientifiques fortes continuent à exister dans le cadre de la Fédération des Recherches en Environnement.

L'OPGC est en effet membre de la Fédération des Recherches en Environnement et est impliqué dans le projet CPER SYMBOISE (SYstèmeMesBIOdiversité Environnement) 2015-2020. Ce projet a pour objectif d'améliorer nos connaissances des processus fondamentaux qui régissent le fonctionnement des systèmes environnementaux qu'ils soient atmosphériques, aquatiques, agricoles ou encore géologiques, l'étude des réponses de ces systèmes au changement global et aux modifications anthropiques, et la surveillance des phénomènes naturels.

L'OPGC interagit directement avec la Fédération des Recherches en Environnement à travers un programme scientifique sur l'étude des interactions entre la biodiversité et les processus physicochimiques dans l'atmosphère, et de leur impact sur le climat, la pollution et le transport des agents pathogènes. Ce projet implique un consortium unique d'équipes (LaMP/OPGC, ICCF, LMGE) qui permet de combiner les compétences atmosphériques, chimiques et biologiques nécessaires à l'étude des bactéries dans les nuages. L'observatoire du puy de Dôme est le lieu unique en France, où la présence des bactéries, champignons et levures dans l'eau atmosphérique est caractérisée d'une manière systématique, et où leur impact sur la capacité oxydante de l'atmosphère est étudié.

La composition chimique et biologique de la phase liquide atmosphérique associée à des observations des propriétés microphysiques détaillées du nuage est caractérisée depuis 15 ans à l'Observatoire du puy de Dôme. Ces études ont été également implantées par les équipes de l'OPGC et du LaMP à l'observatoire du Maïdo à La Réunion (OSU-Reunion).

Le service d'observation à long terme AUVERWATCH de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand a obtenu la labellisation SOERE H+ auprès de l'Alliance ALLENI en 2017. Ce programme résulte d'une collaboration entre le LMV, le GEOLAB, l'OPGC et la FRE.

Il s'appuie sur un réseau de piézomètres et micro-piézomètres permettant des enregistrements à haute résolution de l'hydrodynamique de la nappe et de ses interactions avec le cours d'eau, et un suivi de la qualité de l'eau (ions majeurs, traces et phytosanitaires). Des études sont menées autour de l'hydrosystème Allier (rivière et sa nappe alluviale), et des formations sédimentaires et volcaniques du rift de Limagne. Les nappes alluviales, très superficielles, sont particulièrement sensibles à l'occupation des sols mais aussi à la qualité de l'eau de la rivière elle-même. Ce volet est complété par une étude sur l'identification des réservoirs aquifères dans les formations sédimentaires du rift de Limagne à partir de données de forages.

1.6 Insertion dans le paysage national, et international

Les services d'observation de l'OPGC jouent un rôle phare au niveau national et international pour la surveillance de l'environnement et des volcans. Les données acquises alimentent des bases de données nationales et internationales. Comme mentionné précédemment, le rôle des OSU, et de l'OPGC en particulier, est essentiel pour le secteur des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère au niveau national.

1.6.a Services d'observation, site instrumenté et instruments : label National CNRS-INSU

L'OPGC pour ses missions d'observation a la responsabilité nationale au sens du CNRS-INSU du :

- ✓ Deux instruments nationaux : Presses multi-enclumes et Plateforme de mesures aéroportées
- ✓ Site national instrumenté Cézeaux-Opme-Puy de Dôme (CO-PDD) (OA-ANO5)
- ✓ Service national d'observation CLimate relevant Aerosol Properties from near surface observations (CLAP) (OA-ANO1)
- ✓ Service national d'observation Auverwatch (labellisé H+).

Il contribue à 4 services nationaux d'observation :

- ✓ ICOS (OA-ANO1)
- ✓ SNOV (TS-ANO1)
- ✓ SNOS, RLBP et RAP et BCF-RÉNASS (TS-ANO2)
- ✓ RENAG/RESIF (TS-ANO3)

Il contribue aussi au site national MAÏDO (OA-ANO5).

L'OPGC met en œuvre également des services d'observation internes à grande visibilité nationale et internationale comme PUYCLOUD, PUYGAZ ou MERAPI.

Ainsi via sa forte implication dans ces services d'observations, il contribue aux infrastructures de recherche nationales RESIF, ACTRIS-FR et ICOS. Il est en lien étroit avec les pôles nationaux de données FORM@TER et AERIS.



L'OPGC possède ainsi une reconnaissance internationale dans les domaines des études volcanologiques et de physique atmosphérique, avec une spécialité sur la physique et la chimie des nuages et des aérosols.

1.6.b Infrastructure européenne de Recherche

Les équipes de l'OPGC sont impliquées et reconnues pour leurs compétences au niveau européen et international. Elles participent et contribuent activement à 4 Infrastructures européennes au H2020 dont 2 sont en phase d'implémentation EPOS et ACTRIS-EU et 2 en phase d'intégration qui a débuté en 2018, EUROVOLC et HEMERA.

- ✓ EPOS (2015-2019), European Platform for Observing System EPOS (<https://epos-ip.org/>), dédiée aux sciences de la terre est en phase d'implémentation et a obtenu depuis le 30 Octobre 2018 par la commission européenne le statut legal d'ERIC (European Research Infrastructure Consortium). La phase opérationnelle débutera en 2020. Depuis le début du projet EPOS. L'OPGC à contribué à EPOS depuis la phase de préparation EPOS-PP à Rome en novembre 2010.
- ✓ ACTRIS-EU (2019-2024) Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure (<https://www.actris.eu/>) est une infrastructure en phase d'implémentation. Le statut légal (ERIC) devrait intervenir en 2020
- ✓ EUROVOLC (2018-2021), European Network of Observatories and Research Infrastructures for Volcanology (<https://eurovolc.eu/>) est une infrastructure de recherche en phase d'intégration (starting community) dédiée à la volcanologie.

- ✓ HEMERA(2018-2021), Integrated access to balloon-borne platforms for innovative research and technology (<https://www.hemera-h2020.eu/>), est une infrastructure de recherche en phase d'intégration (starting community) dédiée aux recherches associées aux plateformes ballon troposphérique et stratosphérique. Elle réunit les communautés astronomie astrophysique et atmosphère utilisatrice du vecteur Ballon.

Contributions internationales du CO-PDD

Le site instrumenté CO-PDD est impliqué dans plusieurs programmes et bases de données internationales. Les mesures et observations effectuées au sommet du puy de Dôme contribuent à alimenter des bases de données européennes telles que EMEP, pour le suivi du transport de pollution longue distance. La station du puy de Dôme est désormais reconnue comme une station majeure du réseau GAW ("Global Atmosphere Watch" - programme WMO : "World Meteorological Organization"). Le puy de Dôme fait également partie des réseaux Européens E-WindPROF (Radar VHF-UHF) et ACTRIS ("Aerosol, Cloud and Trace gases Research InfrastructureS") qui intègrent des stations sol de mesure des aérosols, nuages et espèces gazeuses à court temps de vie, programme européen qui est désormais en phase d'implémentation. Le site CO-PDD est également partie prenante du projet Européen ENVRIplus comme site accessible en TNA (Trans-National Access) ayant accueilli des équipes de recherche internationales pour des campagnes de mesures spécifiques ou collaboratives.

Contribution à EPOS et EUROVOLC

En volcanologie et sismologie, l'OPGC a été largement impliqué dans le montage du programme européen EPOS «European Plate Observing System», en particulier pour le volet concernant les observations volcanologiques. Les équipes participent également au projet EUROVOLC débuté en 2018.

Depuis de nombreuses années un radar Doppler (VOLDORAD 2B) est implanté sur les flancs de l'Etna dans le cadre d'une collaboration avec l'INGV. Ce dispositif est intégré au programme de surveillance de l'Etna que pilotent les scientifiques italiens. Il constitue un des moyens d'alerte pour les institutions italiennes et pour la population locale. Un second radar Doppler (VOLDORAD 1) a récemment été installé sur les flancs du Popocatepetl au Mexique dans le cadre d'une collaboration avec l'institut de surveillance de l'activité volcanique du Mexique.

Plusieurs actions de l'OPGC portent sur les volcans andins (Equateur, Pérou, Chili), indonésiens et philippins. Elles concernent principalement le suivi des émissions de gaz et panaches, de la sismicité, des déformations, des variations du champ électromagnétique ou l'activité thermique de plusieurs de ces volcans (Tungurahua, Sangay, Lascar, Merapi, Moluques, Taal).

Contribution à L'EquipEx RESIF-CORE

L'Equipex RESIF-CORE (période 2012-2018 - <http://www.resif.fr/spip.php?article32>) a permis de développer un réseau dense de sismomètres large-bande en France métropolitaine, de renforcer le réseau de récepteurs GPS mesurant la déformation de la croûte terrestre, d'acquérir de nouveaux gravimètres permanents et mobiles et de construire un équipement semi distribué pour améliorer la gestion, la distribution et l'archivage des données produites. L'OPGC a en charge l'implantation et le test des stations dans la région "Auvergne - Limousin" dont 21 sont opérationnelles et 3 sont prévues.

1.6.c Projet ANR STRAP

Le projet STRAP (2014-2019) (Synergie Transdisciplinaire pour Répondre aux Aléas liés aux Panaches volcaniques) est un projet collaboratif transdisciplinaire sur les risques associés aux panaches volcaniques. C'est un projet structurant au sein de l'OPGC permettant de produire une plus valeur scientifique transverse entre les sciences de la terre et de l'atmosphère. Il est né d'une collaboration entre volcanologues du LMV et physiciens de l'atmosphère du LaMP, mais également des liens qui unissent ces deux communautés et leurs collègues en poste à l'OSU de La Réunion et à l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise. Retenu et financé à 100 % par l'ANR en 2014, il est porté par quatre «Observatoires des Sciences de l'Univers CNRS-INSU» (OSU) : l'OPGC, l'OSU-Réunion, l'OMP à Toulouse et l'IPG Paris. Les deux principaux partenaires étant l'OSU-Réunion et l'OPGC. C'est un projet qui porte sur la caractérisation des panaches volcaniques depuis leur source jusqu'à l'état de vieillissement et dispersion dans l'atmosphère. Ce projet implique à la fois des mesures au sol et aéroportées avec deux cibles principales qui sont, l'Etna et le Piton de la Fournaise.

Les panaches volcaniques sont source de forts risques environnementaux, économiques et sociétaux et ce d'autant plus que notre manque de connaissances sur leur physique et sur leur évolution rend difficile toute prévision les concernant. Améliorer notre capacité de modéliser la genèse, la dispersion et l'impact d'un panache volcanique est donc un défi pour les scientifiques et une donnée majeure pour les décideurs. L'atténuation de ce risque volcanique repose sur des communications et des interactions efficaces entre acteurs scientifiques clés (géologie, physique, chimie et télédétection instrumentale). Le but final est de maîtriser pleinement les termes sources d'origine volcanique (physique et chimie) à introduire dans les modèles atmosphériques pour simuler l'ascension, le transport et la dispersion dans l'atmosphère des cendres et des gaz volcaniques.

II. Réalisations des objectifs et effets structurants

II.1 Récapitulatif des équipements et plateformes

Les équipements et plateformes portés par l'OPGC sont en grande partie décrits en annexe, avec le bilan du site instrumenté CO-PDD, des instruments nationaux et des services d'observation.

Deux groupes d'instruments (au sens large) peuvent être définis : ceux relevant directement des systèmes d'observation et d'expérimentation, et ceux relevant de la mutualisation des moyens. Le premier groupe est généralement opéré en collaboration entre les personnels de l'UMS 833 et les personnels des UMRs.

Le site instrumenté CO-PDD, la plateforme de mesures aéroportées (PMA) et le SNO CLAP sont opérés avec le LaMP ; les presses multi-enclumes, la contribution de l'OPGC au SNOV, le réseau sismologique «Auvergne – Limousin» contribuant à l'IR RESIF ainsi que le service d'observation Auverwatch sont opérés avec le LMV.

L'équipe SDT de l'UMS 833 est mutualisée avec les deux UMRs, et permet d'assurer le suivi, le contrôle qualité des instrumentations et les opérations de routines associées aux services d'observation.

Les moyens mutualisés (serveurs informatiques et parc de véhicules) sont opérés par l'UMS 833 au profit de l'ensemble des laboratoires et services de l'OPGC.

II.1.a Systèmes d'observation et d'expérimentation

Presses multi-enclumes

Les presses multi-enclumes sont des dispositifs principalement employés en pétrologie expérimentale (synthèse de phases et étude des équilibres de phases à hautes pressions et températures). La structure et la dynamique interne de la Terre ont un fort impact sur les phénomènes géologiques se produisant à la surface du globe, comme le volcanisme et la tectonique des plaques. Depuis plusieurs années, certains modèles basés sur l'analyse des ondes sismiques proposaient la présence de magmas à plusieurs centaines de kilomètres de profondeur dans le manteau terrestre. Ces magmas pourraient jouer un rôle majeur dans le cycle de certains éléments chimiques à l'échelle planétaire, en particulier l'eau et les alcalins.

C'est un instrument National CNRS-INSU qui inclut deux presses, l'une de 1000 tonnes datant de 1996, et l'autre de 1500 tonnes datant de 2010. La presse multi-enclumes a été complétée de plusieurs mesures physiques qui peuvent s'effectuer *in situ*, à haute pression et haute température.

Plateforme de mesures aéroportées (PMA)

La plate-forme de mesures aéroportées (PMA) est un ensemble unique d'instruments microphysiques, optiques et physicochimiques aéroportés, à la pointe de la technologie inégalée en France et en Europe pour l'observation *in situ* des nuages, notamment en phase glace et mixte, et aussi des aérosols (notamment noyaux glaçogènes et de condensation). Ces équipements sont mis en œuvre par le LaMP dans le cadre de projets scientifiques nationaux et internationaux (par exemple HAIC (FP7), DACCIWA (FP7), EUREC4A (ERC), EXAEDRE (ANR), ALOUD, AFLUX et MOSAIC (AWI/IPEV/EECLAT), ECO2FLY (DLR/CNES), H160 (AIRBUS HELICOPTERS), ICE-GENESIS (H2020)), avec campagnes d'observation sur le terrain. De plus, le LaMP/OPGC avec son équipe PMA est l'organisme référent auprès de SAFIRE en matière de traitement et d'interprétation des mesures microphysiques de base des avions français.

Le site instrumenté Cézeaux-Opme-Puy de Dôme (CO-PDD)

Le site instrumenté CO-PDD est constitué de la station du Puy de Dôme (1465 m), du site d'Opme (680 m) en zone rurale, du site universitaire des Cézeaux (410 m) et plus récemment Aulnat en zone péri-urbaine. Un ensemble instrumental, incluant des mesures *in-situ* et par télédétection active et passive, est déployé de manière pérenne sur ces sites. Les principaux objectifs sont de documenter l'évolution de la composition de la troposphère pour améliorer les connaissances sur les processus liant les gaz, les aérosols, les nuages et les précipitations, et de quantifier l'impact de modifications anthropiques en terme climatique (nuage, rayonnement) et météorologique (précipitations). Le site accueille plusieurs SNO (SNO CLAP, ICOS, mesures IRSN) et services d'observation internes de l'OPGC (Puy Gaz et Puy Cloud) ainsi que des chercheurs et étudiants, grâce à sa capacité d'accueil et sa situation géographique exceptionnelle. Le site est labellisé Global Atmosphere Watch.

Le site instrumenté comporte une plateforme de mesures composée de dispositifs radar – lidar déployés sur différents sites et fonctionnant dans différentes bandes de fréquence allant de la bande K à la bande VHF. Cette plateforme est dédiée à l'étude de l'hétérogénéité des précipitations et la restitution des taux de précipitation avec une forte résolution spatiale et temporelle, ainsi que la mesure de profils de vents troposphériques. Elle comprend également un système lidar Rayleigh-Mie-Raman déployé sur le site des Cézeaux pour l'étude de la vapeur d'eau troposphérique, des cirrus et des aérosols.

Au chalet de l'Observatoire au sommet du puy de Dôme (1465 m d'altitude), l'OPGC met en oeuvre un moyen d'essai national unique qui fonctionne en conditions atmosphériques naturelles (conditions nuageuses ou non), une soufflerie.

Cette soufflerie à circuit ouvert propose plusieurs applications :

- caractère scientifique : mise en œuvre de méthodologies originales d'observations in situ des nuages et des aérosols nécessaires aux études sur les interactions nuage/chimie/climat (prélèvement d'échantillons d'air à grand débit,...).

- caractère technologique : réalisation de tests et validation d'instruments à vocation aéroportée,

- caractère industriel : utilisation en vue de certification en conditions givrantes.

L'entrée de la soufflerie est implantée sur la façade Ouest du chalet (vents dominants). Le débit d'air est variable jusqu'à 17 m³/s (vitesse variable et contrôlée). Selon le type d'application, deux veines de mesures interchangeables peuvent être utilisées permettant d'atteindre une vitesse de l'air maximale de 120 m/s. La soufflerie vient ainsi en appui au site CO-PDD ainsi qu'à la Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA).

SNOV-OPGC

La contribution de l'OPGC au SNOV (Service National de Volcanologie) est importante. Elle concerne un ensemble d'équipements destinés à l'étude à distance des phénomènes volcaniques obtenus par satellite, au sol et par drone, la caractérisation des cendres (expérimentation de laboratoire) et des mesures in situ. Ces dispositifs comprennent des cameras, radars, échantillonneurs, analyseurs de gaz et particules, stations sismiques, traitement et stockage informatique, bases de données, ainsi que des moyens d'acquisition et de traitement de données acquises par satellites (antennes de réception, traitement et stockage informatique, bases de données).

Ces équipements se structurent via plusieurs «Services d'Observation» : (i) OI2 (interférométrie radar, resp. J.L. Froger), (ii) HOTVOLC (suivi par satellite de l'activité thermique des volcans, resp. M. Gouhier), (iii) GAZVOLC (suivi des émissions gazeuses, resp. S. Moune), (iv) VOLDORAD (radars doppler volcanologiques resp., F. Donnadiou), and (v) DYNVOLC (dynamique volcanique, resp. L. Gurioli). Ces services sont complétés par un ensemble de caméras IR et UV, appareils photographiques haute résolution (A. Harris, K. Kelfoun).

Service National d'Observation CLAP

L'objectif de CLAP est le suivi de paramètres climatiques essentiels (essential climate variables – ECV-) liés à l'aérosol atmosphérique et définis comme tels par GCOS (Global Climate Observing System) et GAW (Global Atmosphere Watch), à partir de sites d'observation. Le SNO CLAP fournit des données de qualité sur la variabilité spatiale et temporelle de ces propriétés de l'aérosol atmosphérique, à partir de sites d'observation entièrement ou partiellement gérés par des observatoires français (5 sites français et 2 sites partiellement gérés par des laboratoires français) en France, Amérique Latine, Himalaya et Afrique Australe.

Service d'observation Auverwatch (AUVERgne WATer CHEMistry)

Le service d'observation AUVERWATCH a pour objectif de caractériser l'évolution de la qualité des masses d'eaux en Auvergne face aux changements globaux climatiques et socio-économiques. Un réseau de 9 points d'échantillonnage, prélevés mensuellement en vue de l'analyse de 100 à 500 paramètres selon les sites, permet d'observer cette évolution des masses d'eau représentatives de la région (pluie, hydro-systèmes alluvial, volcanique, thermo-minéral) afin d'y être stockées et diffusées.

Le réseau sismologique « Auvergne »

Le Réseau Sismologique Auvergne (RSA) de l'OPGC comprend en 2018 un ensemble de 21 stations sismiques permanentes déployées dans la région Auvergne – Limousin. Ces stations appartiennent à trois réseaux nationaux, le RéNaSS/RLBP (Réseau National de Surveillance Sismologique/ Réseau Large Bande Permanent, 10 stations), le RAP (Réseau Accélérométrique Permanent, 8 stations), et le réseau éducatif « Sismo à l'école » (3 stations). Les deux premiers de ces réseaux sont aujourd'hui regroupés en une structure unique, l'IR RESIF, dont la finalité est d'offrir une couverture générale du territoire français, à haute densité, avec des stations sismiques large-bande modernes. Les enregistrements sismiques sont acheminés à Clermont-Ferrand par voie hertzienne, par ADSL ou par interrogation téléphonique des stations. Les données sont prétraitées sur place, avant d'être transmises au portail RESIF

L'OPGC dispose également d'un dispositif de sept sismomètres portables large-bande pouvant être installés rapidement pour densifier le réseau permanent ou effectuer des déploiements temporaires sur des volcans actifs.

Service d'observation PUYGAZ

Les gaz traces réactifs comprennent des espèces jouant un rôle clé dans la chimie atmosphérique. Il s'agit principalement des oxydes d'azote (NOx) ou des composés organiques volatils (COV). Ces espèces sont, soit directement émises par des sources naturelles ou anthropiques, soit issues de processus photochimiques. Ces espèces gazeuses conduisent à la formation de polluants secondaires comme l'ozone ou les aérosols organiques secondaires qui ont des impacts directs sur la santé, le climat et les écosystèmes.

Par conséquent, le suivi à long terme de ces composés dans les observatoires de recherche est primordial pour l'analyse des tendances en lien avec l'évolution des politiques de réduction des émissions polluantes, pour la

compréhension des processus atmosphériques dans un contexte de changement climatique, pour la contrainte des modèles de prévision et l'évaluation des impacts.

Les NOx font partie des variables atmosphériques visées par ACTRIS dans ses objectifs de standardisation des protocoles d'assurance et de contrôle qualité des mesures opérées dans les stations européennes. La mesure sélective de 6 COV et des NOx sont parmi les attentes minimales définies pour un site ACTRIS-IR pour l'observation des gaz traces réactifs in situ. Sur cette période, les mesures d'ozone, SO₂, NO, NO₂ ont été validées et mises en ligne dans les bases de données locales, nationales et/ou internationales (en cours pour 2019). Un audit GAW pour l'ozone a été réalisé en 2016. La mesure ponctuelle des COV a été complétée par une mesure automatique en continu au sommet du puy de Dôme depuis août 2018, grâce à l'acquisition d'un GC-FID Agilent.

Service d'observation PUYCLOUD

L'eau est une des ressources fondamentales sur laquelle repose la plupart des activités de l'homme et de son développement. Elle est soumise à des interactions complexes au sein du système terre/atmosphère et les activités de l'homme pourraient, à brève échéance, modifier de manière substantielle et durable, l'accessibilité de tous à cette ressource. Dans ce cadre, il convient de mieux comprendre le mécanisme de cette perturbation et de mieux diagnostiquer les relations entre les pratiques et leurs conséquences, qu'elles soient locales, régionales ou planétaires. Pour cela, un suivi détaillé et continu des propriétés chimique, physique et biologique de l'eau est primordial.

Les activités d'observation au sein du SO PUYCLOUD sont adossées à de nombreuses activités de recherche. Un effort particulier ces deux dernières années a porté sur l'amélioration de la caractérisation de ce milieu à travers la mise en œuvre d'études ciblées (détection des acides aminés, de composés toxiques comme les phénols) (Bianco et al., 2016 ; Lebedev et al., 2018) mais également des études globales permettant de décrire la complexité moléculaire de la matrice aqueuse par spectrométrie de masse haute résolution (Bianco et al., 2018) et la biodiversité de ce milieu par métagénomique et métatranscriptomique (Amato et al., 2017, 2019).

II.1.b Moyens mutualisés

Plateforme Drones de l'OPGC

La plateforme "drones" de l'OPGC est une mutualisation de moyens humains et techniques transverses à l'OSU. Elle regroupe actuellement 3 drones qui sont opérés par 3 télépilotes professionnels (2 sont issus de l'UMS 833 et 1 est issu du LMV).

Les télépilotes et les drones sont déclarés auprès du CNRS (tutelle qui exerce pour l'OPGC la responsabilité administrative d'exploitant drone à travers le MAP CNRS - Manuel d'Activités Particulières - déposé auprès des autorités gérant l'espace aérien).

L'un des drones est dédié au GIM (Groupe d'Intervention Macrosismique), organe opérationnel du Bureau Sismologique Français. Il est chargé d'intervenir pour recenser les dégâts en cas de crise sismique majeure en France.

Nous disposons également d'un drone "moyen porteur" pouvant atteindre 21 kg au décollage. Il sert de plateforme instrumentale et embarque les instruments et capteurs développés par le SDT pour des projets de recherche du LaMP et du LMV.

Un drone léger équipé d'un capteur optique 21 MPixels, transportable facilement sur terrains accidentés et rapide de mise en œuvre est dédié aux acquisitions photogrammétriques et à la reconstruction 3D.

Le dernier est un achat réalisé avec l'IRD dans le cadre d'un projet de recherche du LMV. Il sera équipé d'un système de prélèvement de gaz dans le panache des volcans entourant la ville de Quito.

Serveurs informatiques, réseaux et bases de données

Le parc informatique de l'UMS comprend une trentaine de poste de travail (PC fixes ou portables), des stations d'acquisition et des serveurs de gestion, de sauvegarde et de services internet.

Les serveurs, listés ci-après, sont soit mutualisés UMS-LaMP-LMV, soit mutualisés aux services d'observations. Certains sont dédiés pour la sismologie ou l'imagerie satellite.

- La messagerie électronique, assurée par un serveur principal et un serveur de secours,
- Les DNS sont répartis sur 2 serveurs,
- L'hébergement des sites web et la diffusion des données d'observation, assurés par un serveur principal et un serveur de secours,
- L'hébergement de bases de données relationnelles, et LDAP, assurés par deux serveurs maîtres/esclaves,
- Le monitoring et la supervision des instruments des SO : un serveur.

- Les sites FTP, Filez, cloud : trois serveurs,
- Distributions de données (ERDDAP) : un serveur,
- Acquisitions et pré-traitements des données satellites : un serveur,
- Processing et diffusion des données SNO Hotvolc : un serveur,
- Acquisitions sismologiques par VPN, et traitements des séismes : un serveur.

Le service informatique dispose de deux fois 240 To d'espace de stockage sur une matrice de disques utilisant une technologie SAN. Ce matériel héberge les données de type fichier des services d'observation. Sa capacité sera multipliée par 2 dans les 2 prochaines années.

Dans le cadre de la mise en place de l'observatoire virtuel, et aussi dans la mise à dispositions des données aux centres nationaux (AERIS...), il convient de renforcer la distribution de données de manière interopérable.

Le SI gère la transmission des données de nos stations par des liaisons radio (stations du PDD, stations de Opme, Aulnat), ou par d'autres moyens (Satellite IP, ADSL, 3G/4G) pour les stations sismologiques.

Service de Développement Technologique

Le Service de Développement Technologique dispose d'un large équipement pour les travaux concernant l'électronique, l'électricité, la mécanique, la tôlerie et la soudure. Il dispose en particulier :

- ✓ d'une salle de développement et de mesures en hautes fréquences et hyperfréquences permettant l'intégration et la qualification des matériels liés à ces activités (radars, télémetries etc.). Divers appareils de mesures spécialisés (synthétiseurs hyperfréquences, oscilloscopes rapides, analyseurs de spectres, analyseurs vectoriels de réseau etc.) sont présents, mais aussi des postes de CAO permettant la simulation de circuits électroniques fonctionnant dans ces domaines de fréquences,
- ✓ d'ensembles de développements logiciels et matériels pour la mise au point de systèmes micro-informatiques (assembleurs, compilateurs, debuggers, etc.), ainsi que des moyens d'investigation matériels (analyseurs d'états logiques, émulateurs, etc.), et des bibliothèques de programmes et de circuits,
- ✓ d'une chaîne de développement de circuits imprimés par CAO qui permet la conception de prototypes dans des délais brefs, en autonomie complète,
- ✓ d'un laboratoire permettant la réalisation et la maintenance des stations électromagnétiques,
- ✓ de postes de câblage et de mise au point électronique disposant de moyens de mesures classiques (oscilloscopes, générateurs, multimètres etc.),
- ✓ d'un atelier de mécanique pourvu de machines-outils de base et d'unités de soudage,
- ✓ d'une bibliothèque technique regroupant ouvrages et revues spécialisées,
- ✓ d'une tourelle orientable en site et azimut située sur la terrasse d'un des bâtiments de l'OPGC ; elle supporte ordinairement le réseau d'antennes du profileur de vent à 1,2 GHz, mais peut être utilisée ponctuellement pour l'évaluation comparative des performances d'antennes en cours de développement,
- ✓ de 2 imprimantes 3D pour le prototypage et la réalisation des pièces mécaniques des instruments et capteurs embarqués.

Le parc de véhicules

Il comprend actuellement cinq véhicules de service dédiés soit à des opérations impliquant des missions de terrain (missions d'observation et/ou de recherche), soit à des actions de formation, soit à la participation à des réunions ou rencontres diverses. Priorité est donnée aux services d'observation. Le renouvellement du 4x4 pour effectuer les opérations hebdomadaires de routines au sommet du puy de Dôme est en commande pour une livraison en septembre 2019. Il a été financé pour $\frac{3}{4}$ par le CNRS-INSU et $\frac{1}{4}$ par l'OPGC sur fonds propres.

II.2 Analyse des faiblesses pointées par l'HCERES en 2017

L'analyse réalisée par le comité HCERES en 2017 faisait état de points sur lesquels l'OPGC devait avoir une attention particulière. Des actions ont d'ores et déjà été mises en œuvre et sont présentées ci-dessous

1. Veiller à réaffirmer de manière volontariste la visibilité de l'OPGC dans le nouveau contexte régional.

- L'implication de l'OPGC dans les projets structurants du site clermontois est effective. L'OPGC est membre du LABEX ClerVolc, du COPIL du Challenge 4 de l'I-Site CAP 20-25, et contribue depuis 2019 au Cloud Environnement du Challenge 1 de l'I-SITE en tant que membre du groupe de travail.
- L'OPGC joue depuis 2017 l'entièreté des missions qui lui ont été confiées en tant que nouvelle composante de l'université (Cf synergie enseignement recherche observation). Cependant les enseignants chercheurs de section CNU 37 du LaMP ne sont pas affectés à la composante OPGC. Ceci est un frein au développement de l'E-OPGC, en particulier du premier cycle de licence qui n'est que sur le domaine Sciences de la terre. Il serait possible de travailler en interne au sein de l'E-OPGC sur une feuille de route commune en licence et une optimisation du Master, ce via une collaboration plus équilibrée avec la composante EUPI de physique, si les E-C de section 37 étaient rattachés à l'E-OPGC.

Au niveau régional, dans le cadre de prospective du CNRS-INSU, l'OPGC a été en charge d'identifier des *défis scientifiques majeurs pour lesquels il est transformant*. Ce travail piloté par le conseil scientifique a été ensuite décliné à l'échelle régionale en interaction avec l'OSU de Lyon et l'OSU de Grenoble. Cette prospective donne dès à présent une stratégie de développement de l'OPGC pour le prochain contrat quinquennal (cf. prospective) à l'échelle de la région AURA.

2. Renforcer le rôle fédérateur de l'OSU par une animation scientifique interne accrue.

- En 2018, la nouvelle direction de l'OPGC a mis en place un cycle de séminaire scientifique et technique à l'OPGC à raison de 1/mois.
- La direction s'appuiera également sur la prospective INSU et les défis identifiés pour mettre en place des journées d'animation scientifique.

3. Dégager collectivement les moyens indispensables à l'accomplissement des missions de l'OPGC, notamment via les contrats qui reposent pour tout ou partie sur l'utilisation des dispositifs d'observation (sites instrumentés et services). L'OPGC pourrait, par exemple, être un des partenaires bénéficiant de ressources financières ou créer un système de facturation interne de ses services.

- Côtés Sciences de la terre l'ensemble des contrats de recherche associés aux observations (CNES, ANR, Infrastructure européenne EPOS, EUROVOLC) sont gérés à l'OPGC. Ce n'est pas le cas côté atmosphère, ainsi la stratégie de développement sur ces services d'observation atmosphère est délicate à mettre en place et les mutualisations et échanges de savoir-faire entre les deux domaines terre et atmosphère sont peu nombreux.
- Les financements obtenus par des contrats n'impliquant pas les tutelles de l'OPGC contribuent à hauteur de 5.5% aux besoins communs de l'OPGC.
- des facturations internes sont à l'étude comme par exemple une quote-part associée à l'utilisation du moyen d'essai soufflerie du puy de Dome opérée par le LaMP, ou encore au travers d'un accord de collaboration avec l'ICCF au niveau de l'UCA.

4. Veiller à associer les personnels techniques dès le montage des projets par des procédures adaptées, afin d'assurer une montée en puissance harmonieuse et pérenne des services communs.

La nouvelle direction de l'OPGC travaille sur ce sujet et a mis en place un fonctionnement en mode projet. Chaque projet doit comporter un binôme responsable scientifique/responsable technique et ce dès la rédaction du projet. La mise en place d'une direction Adjointe Technique (DAT) sur le périmètre de l'OSU doit aider à mettre en place ce mode de fonctionnement. C. Rossin DAT de l'OSU OPGC depuis Novembre 2018 fait partie du comité de pilotage du Réseau MAPI (Management de Projet INSU).

II.3 Travaux impliquant une collaboration des communautés scientifiques – interdisciplinarité

L'implication de l'OPGC dans des travaux associant plusieurs communautés scientifiques peut être déterminée sous deux angles : des projets structurants, s'inscrivant clairement dans une synergie à long terme sur le site clermontois, et des projets collaboratifs de plus courte durée, appliqués à une question scientifique particulière.

II.3.a Projets structurants

LabEx ClerVolc

L'OPGC est fortement impliqué dans les programmes du labEx ClerVolc, que ce soit à travers la participation des chercheurs des deux UMRs (LaMP et LMV), où par l'implication des services mutualisés (Service de Développement Technologique et Service Base de données et Calcul scientifique). Ce projet est par définition largement interdisciplinaire puisque le consortium ClerVolc regroupe des spécialistes des sciences de la Terre, des sciences humaines et sociales, de la physique de l'atmosphère, des physiciens, des mathématiciens, des informaticiens. Il aborde les questions de recherche prioritaires visant une meilleure compréhension des processus physiques et chimiques intervenant lors d'une éruption volcanique, ainsi que la connaissance des caractéristiques de l'éruption (nature des produits solides et gazeux, dynamique au cours du temps, occurrence de réalisation), et de ses conséquences humaines et économiques. Il met en application une approche synergique, conçue autour de programmes de recherche construits sur des collaborations multidisciplinaires entre les laboratoires membres, misant sur les forces de chacun, et la création d'un laboratoire d'excellence dans les processus volcaniques, les dangers et les risques. Ce projet a pour objectif ultime l'estimation des risques volcaniques. Ceci implique que soit quantifié l'aléa (surveillance grâce à l'enregistrement et l'analyse des signaux de l'activité volcanique, études plus fondamentales visant à comprendre le fonctionnement des volcans, des éruptions et de leurs impacts terrestre et atmosphérique) et la vulnérabilité de la région menacée.

Depuis 2014 au sein de ClerVolc, l'UMS 833 OPGC a contribué à 10 projets (montant global 292 800 euros) et également porté 18 projets pour un montant d'environ 303 000 euros.

La plupart de ces projets sont associés à du développement instrumental en lien avec le LIMOS à l'interface atmosphère-volcanologie aux frontières entre le LaMP et le LMV ainsi que de la tomographie muonique avec le LPC.

Projets pilotés par des laboratoires de l'UCA avec contribution de l'OPGC-UMS 833

| Année | Nom du porteur | Laboratoire | Titre du projet | Laboratoires impliqués |
|--------------|-----------------------|--------------------|--|-------------------------------|
| 2015 | A. Schwarzenboeck | LaMP | Study of dilute volcanic plumes | OPGC-UMS 833 |
| 2015 | K. Sellegri | LaMP | Etude de la formation de nouvelles particules dans les panaches volcaniques de l'Etna/Stromboli | OPGC-UMS 833 |
| 2017 | Rachkidy | LIMOS | Technologie LoRaWAN | OPGC-UMS 833 |
| 2017 | K. Kelfoun | LIMOS | Tests transmission sans fil | OPGC-UMS 833 |
| 2014 | V. Cayol | LMV | Stagiaire - projet deformation | OPGC-UMS 833 |
| 2015 | T. Menand | LMV | Probing the mechanics governing the growth, evolution and eruption of large silicic magma bodies | OPGC-UMS 833 |
| 2018 | N. Bolfan | LMV | Effect of oxygen fugacity on water storage in the deep mantle | OPGC-UMS 833 |
| 2015 | C. Carloganu | LPC | Technical developments for a muon telescope suitable for imaging an active volcano (Stromboli) | OPGC-UMS 833, LIMOS |
| 2016 | C. Carloganu | LPC | Muographie des volcans | OPGC-UMS 833, LIMOS |
| 2014 | C. Carloganu | LPC | Tomographie muonique | OPGC-UMS 833, LMV |

Projets pilotés par l'OPGC en collaboration avec des laboratoires de l'UCA

| Année | Nom du porteur | Laboratoire | Titre du projet | Laboratoires impliqués |
|-------|----------------|--------------|---|------------------------|
| 2014 | L. Gurioli | OPGC-UMS 833 | CDD for projet Stromboli | LMV |
| 2014 | P. Labazuy | OPGC-UMS 833 | Plateforme mobile - Tomographie muonique | LMV |
| 2015 | M. Gouhier | OPGC-UMS 833 | Quantification of volcanic gas and ash cloud using IR multispectral camera | LMV |
| 2015 | F. Donnadieu | OPGC-UMS 833 | Experimentation sur le sondage des panaches de cendres | LMV |
| 2015 | P. Labazuy | OPGC-UMS 833 | Expérimentation géophysique au Puy de Dôme en synergie avec le projet de tomographie muonique | LMV |
| 2015 | SDT OPGC | OPGC-UMS 833 | Transmissions sans fil opérationnelles | LMV |
| 2016 | F. Donnadieu | OPGC-UMS 833 | Développement d'un radar Doppler à ondes millimétriques | LMV |
| 2016 | P. Labazuy | OPGC-UMS 833 | Validation et amélioration des méthodes satellites infrarouges | LMV |
| 2016 | J-L. Froger | OPGC-UMS 833 | Estimation de la composante nord-sud des déplacements du sol au Piton de la Fournaise | |
| 2016 | S. Moune | OPGC-UMS 833 | Volatile budgets of the Lesser Antilles Arc | LMV |
| 2016 | SDT | OPGC-UMS 833 | Transmissions sans fil opérationnelles | LIMOS, LMV |
| 2017 | F. Donnadieu | OPGC-UMS 833 | Mission Stromboli - tomographie radar 4D | LMV |
| 2017 | L. Gurioli | OPGC-UMS 833 | Caractérisation cendres - ASHER | LMV |
| 2017 | P. Labazuy | OPGC-UMS 833 | Equipement drone (Camera IR) | LMV |
| 2017 | K. Kelfoun | OPGC-UMS 833 | Surveillance Merapi | LMV |
| 2018 | F. Donnadieu | OPGC-UMS 833 | Tomographie radar 4-D | LMV |
| 2018 | D. Jessop | OPGC-UMS 833 | Densimètre pour des expériences analogiques | LMV |
| 2018 | P. Labazuy | OPGC | Apports majeurs de la géophysique aéroportée | LMV |

I-Site CAP 20-25

Challenge 1 : Agro-écosystèmes durables dans un contexte de changement global

L'OPGC contribuera au livrable CEBA (Cloud Environnemental au bénéfice de l'Agriculture) du challenge 1, qui a pour but de fournir un observatoire numérique de l'environnement et des agroécosystèmes (eau, sol, air, biodiversité) à l'échelle du territoire auvergnat. Les compétences de l'OPGC en termes d'acquisition, de production et suivi de qualité des données et métadonnées, de plateforme de gestion des données scientifiques, d'interopérabilité des données d'observation et de communication et échange de données entre applications sont mises au service du CEBA.

Challenge 4 : Risques naturels catastrophiques et vulnérabilités socio-économiques

L'OPGC contribue à de nombreux projets développés dans le cadre du Challenge 4. À titre d'exemples, ces projets peuvent (1) impliquer des collaborations avec les économistes (établir une base de données de l'impact économique des éruptions volcaniques historiques), les historiens (la gestion du risque volcanique par l'administration impériale espagnole en Amérique Latine (XVIIIe siècle-années 1820)), les mathématiciens (prédiction de la distribution des dépôts de retombées volcaniques par approche probabiliste, et application aux volcans explosifs dans les pays en développement), (2) être développés en relation étroite avec les pays émergents (établir des scénarios de gestion de crise crédibles pour accroître les capacités de préparation et de résilience des habitants du Canton Cayambe (Equateur) face aux menaces volcaniques ; Le risque volcanique au Nicaragua : le cas du volcan Masaya. Etude couplée de l'aléa, de l'impact biologique et de la capacité de résilience des écosystèmes et des populations), ou (3) aborder des domaines en développement (utilisation des données Copernicus pour la

caractérisation des aléas volcaniques, la quantification des dommages et le suivi de la résilience ; Ash Studies for Health).

Grâce au Challenge 4 de l'I-Site CAP 20-25 de nombreux projets ont débuté à l'interface avec les géographes et les économistes.

Projets Financés par le Challenge 4 de l'I-SITE CAP 20-25

| Année | Nom du porteur | Laboratoire | Titre du projet | Laboratoires impliqués |
|-------|--------------------|-------------|--|-------------------------------|
| 2017 | J-P Luis | MSH | La gestion du risque volcanique par l'administration impériale espagnole en Amérique Latine (XVIIIe siècle-années 1820) | LMV |
| 2017 | J. Morin | LMV | Etablir des scénarios de gestion de crise crédibles pour accroître les capacités de préparation et de résilience des habitants du Canton Cayambe (Equateur) face aux menaces volcaniques. | |
| 2017 | M. Goujon | CERDI | Etablir une base de données de l'impact économique des éruptions volcaniques historiques | LMV |
| 2017 | A. Guillin | LMBP | Prédiction de la distribution des dépôts de retombées volcaniques par approche probabiliste, et application aux volcans explosifs dans les pays en développement | LMV |
| 2017 | J. Van Baelen | LaMP | Précipitations intenses : Suivi et prévision, impacts et comportements socio-économiques | |
| 2017 | J-C Thouret | LMV | Impacts des éruptions explosives et des écoulements : scénarios et indicateurs de l'exposition à l'aléa (téphras et écoulements) et de la vulnérabilité en milieu urbain. Application à la ville d'arequipa au Pérou | LMBP, IP, CERDI |
| 2017 | J-L Froger | LMV | Utilisation des données Copernicus pour la caractérisation des aléas volcaniques, la quantification des dommages et le suivi de la résilience | |
| 2017 | P-J Gauthier | LMV | Le risque volcanique au Nicaragua : le cas du volcan Masaya. Etude couplée de l'aléa, de l'impact biologique et de la capacité de résilience des écosystèmes et des populations | LMGE, LPC, GEOLAB, CHEC, GReD |
| 2017 | A. Harris | LMV | Communication and understanding risk in media and building resilience in volcanic environments | COMSOS, LRL, CELIS |
| 2018 | A. Jacquemé-Gauché | CMH | Prévention des risques et réaction aux catastrophes volcaniques. | LMV, MSH |
| 2018 | J-C Croizet | LAPSCO | Comportements humains et dispositifs d'intervention en Contexte de Catastrophes naturelles à occurrences rapides | LMV, LIMOS |
| 2018 | P. Phelinas | CERDI | Impact économique des lahars du volcan Misti dans la ville d'Arequipa (Pérou) | LMV, FERDI |
| 2018 | L. Gurioli | LMV | Ash Studies for Health | CHEC, ICCF |
| 2018 | V. Alary | CELIS | Interactions Risques et Représentations Socioculturelles | LMV, COMSOS |
| 2018 | J. Eychenne | LMV | Risque et impact économique de la contamination de l'espace aérien Sud-Américain par des cendres volcaniques | LaMP, LMBP, CERDI |

II.3.b Projets collaboratifs

Travaux dans le cadre de la Fédération des Recherches en Environnement

L'OPGC est membre de la Fédération des Recherches en Environnement, dont il a contribué à la mise en place. La Fédération des Recherches en Environnement offre un espace de collaboration pour les laboratoires de physique, chimie, biologie, sciences de la Terre et SHS qui travaillent sur la thématique de l'environnement. Le financement de la Fédération est assuré dans le cadre des CPER (Défi « SYMBIOSE » - Interactions entre changement global, biodiversité et fonctionnement des systèmes environnementaux et Défi transversal « AUDACE » - Auvergne Data

Cloud Academic), avec une contribution des fonds européens FEDER et une dotation de l'UCA. La Fédération des Recherches en Environnement a contribué, par des sommes importantes, aux travaux de l'OPGC sur la biophysicochimie des nuages, en lien fort avec l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF) et le Laboratoire Microorganismes : Génome et Environnement (LMGE), et au développement des travaux sur l'hydrogéologie eu Auvergne.

Le laboratoire de Météorologie Physique (LaMP) et l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC) ont dans ce cadre l'expertise pour les mesures in situ et par télédétection, modélisation, chimie et microphysique du milieu nuageux. Une plateforme de profilage thermodynamique et microphysique des nuages précipitants qui rassemble des instruments radars et radiomètres micro-ondes pour caractériser précisément la constitution des particules nuageuses et de la pluie est en cours d'acquisition (396 000 euros). Ces mesures rejoindront à terme le parc instrumental du site national instrumenté CO-PDD. La figure ci-dessous présente une représentation synoptique du projet SYMBIOSE.

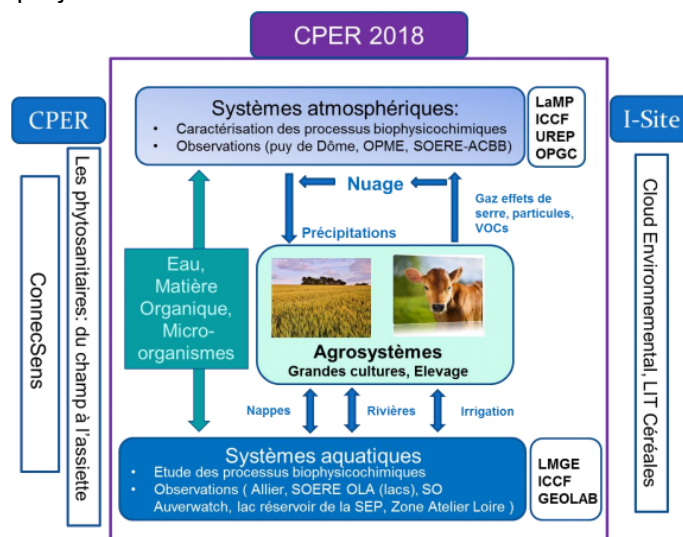


Figure 1 : Projet CPER 2018 : Interaction des systèmes environnementaux (aquatiques et atmosphériques) avec les agrosystèmes (élevage et grandes cultures).

Projet ANR STRAP (2014-2019)

Le projet STRAP (Synergie Transdisciplinaire pour Répondre aux Aléas liés aux Panaches volcaniques) est un projet collaboratif transdisciplinaire sur les risques associés aux panaches volcaniques. Il est né d'une collaboration entre volcanologues du LMV et physiciens de l'atmosphère du LaMP, mais également des liens qui unissent ces deux communautés et leurs collègues en poste à l'OSU de La Réunion et à l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise. Retenu et financé à 100 % par l'ANR en 2014, il est porté par quatre "Observatoires des Sciences de l'Univers CNRS-INSU" (OSU) : l'OPGC, l'OSU-Réunion, l'OMP à Toulouse et l'IPG Paris. Les deux principaux partenaires étant l'OSU-Réunion et l'OPGC. C'est un projet qui porte sur la caractérisation des panaches volcaniques depuis leur source jusqu'à l'état de vieillissement et dispersion dans l'atmosphère. Ce projet, pour l'OPGC, implique à la fois des mesures au sol et aéroportées avec deux cibles principales qui sont, l'Etna et le Piton de la Fournaise.

II.3.c Actions incitatives de recherche de l'OPGC

L'appel à projets annuel «actions incitatives» de l'OPGC a pour but de fédérer les efforts de recherche de ses laboratoires et services d'observation, et de renforcer leurs capacités d'innovation. Il vise au renforcement des collaborations scientifiques établies par les laboratoires de l'OPGC, et à l'émergence de projets innovants et/ou de développements technologiques.

Ces actions doivent s'inscrire dans les orientations de l'OPGC et contribuer au développement des observations à long terme de la planète Terre.

En règle générale, trois types d'actions scientifiques sont prioritairement soutenus :

- ✓ soutenir les thématiques existantes et thématiques transverses,
- ✓ faire émerger de nouvelles thématiques et/ou débiter des travaux innovants,
- ✓ soutenir des colloques et écoles thématiques

Ces Actions incitatives sont relatives aux projets scientifiques, R&D et R&T de l'OSU (LMV, LaMP, UMS 833, E-OPGC). Sont concernés les achats de montant hors taxe :

- petits matériels jusqu'à environ 5k€,
- contributions financières au montage de colloques et écoles jusqu'à environ 1,5k€,
- missions pour renforcer les collaborations scientifiques : missions de terrain et réunions de travail.

Environ 20 à 25 keuros/an sont consacrés à ces actions incitatives.

Le conseil Scientifique de l'OPGC expertise et priorise les demandes et le conseil de l'OPGC statue.

A partir de 2019, à l'automne, une demi-journée ouverte à l'ensemble des agents de l'OSU OPGC va être consacrée au bilan des projets financés (année -2 ans).

Le bilan détaillé des actions incitatives est donné en **Annexe 1**

| | Nombre de projets demandés/Financés | Montants demandés/Attribués |
|------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 2014 | 10 / 5 | 54 342 € / 20 000 € |
| 2015 | 11 / 5 | 58 550 € / 19 970 € |
| 2016 | Pas d'actions incitatives | |
| 2017 | 11 / 9 | 49 920 € / 27 000 € |
| 2018 | 18 / 9 | 73 881 € / 24 400 € |

Le bilan met en évidence les besoins financier des équipes de l'OSU OPGC pour des projets.

II.4 Résultats marquants

Quelques résultats marquants concernant les instruments nationaux, le site instrumenté du puy de Dôme, et les services d'observations sont présentés ci-dessous.

Instrument National Presses Multi Enclumes

L'instrument national Presses Multi enclumes a permis de confirmer expérimentalement la présence d'une fine couche partiellement fondue entre 350 et 410 km de profondeur dans le manteau.

Une équipe de chercheurs du Laboratoire Magmas et Volcans à Clermont-Ferrand a reproduit expérimentalement les conditions régnantes à la base du manteau supérieur entre 350 et 410 km de profondeur (soit 12-15 GPa et environ 1400°C). Ils ont observé la fusion partielle des roches mantelliques tout en mesurant *in situ* la vitesse de propagation des ondes sonores et la conductivité électrique. Les signaux mesurés expérimentalement sont tout à fait compatibles avec les mesures géophysiques, ce qui confirme la présence d'une fine couche partiellement fondue à ces profondeurs, dans le manteau. Ces travaux ont été publiés dans la revue *Nature Communications* le 19 Décembre 2017.

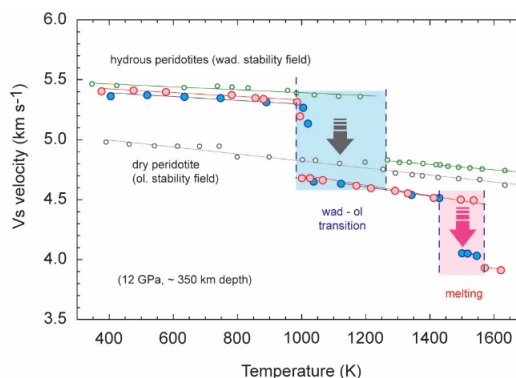
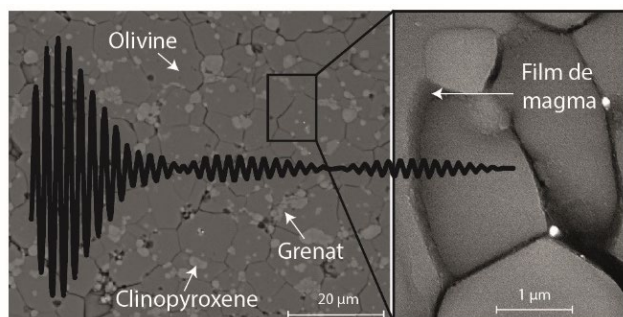


Figure : Microphotographies montrant les différentes espèces minérales composant les roches et les fins films de magmas à l'échelle micrométrique. Ondes sonores/sismiques mesurées pendant l'expérience a été inséré en noir. Vitesse des ondes sonores de roches partiellement en fusion à haute pression et haute température.

Experimental evidence supporting a global melt layer at the base of the Earth's upper mantle. Damien Freitas, Geeth Manthilake, Federica Schiav¹, Julien Chantel, Nathalie Bolfan-Casanova, Mohamed Ali Bouhifd et Denis Andraut. *Nature Communications*. 19 Décembre 2017. DOI: 10.1038/s41467-017-02275-9.

Instrument National Plateforme de Mesures Aéroportées

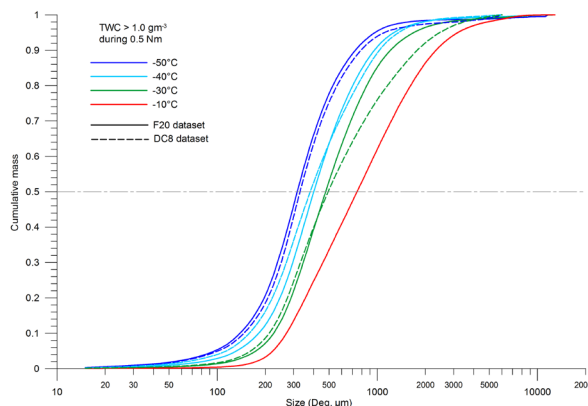
L'utilisation de la PMA au niveau international pour l'analyse des propriétés microphysiques des nuages en lien avec les incidents de givrage moteur des avions de ligne est un fait marquant de l'OPGC.

Les caractéristiques microphysiques des particules de glace constituant l'enclume des MCS tropicaux intéressent l'industrie aéronautique qui cherche à résoudre le problème d'anomalies de mesure de température et de vitesse (sondes Pitot) et les incidents de givrage moteur des avions de ligne.

Les compétences du LaMP/OPGC ont été sollicitées dans le cadre d'une collaboration internationale regroupant différents acteurs, parmi lesquels les industriels (avionneurs, motoristes et équipementiers), les autorités de certification comme la Federal Aviation Agency (FAA) aux Etats-Unis et l'European Aviation Safety Agency (EASA) en Europe. Cette collaboration est née du rapprochement des projets HIWC (projet de la NASA avec partenaires aux US, Australie, Canada) et HAIC (projet Européen FP7).

En 2014 la circulaire FAA AC20/147A (SMITH, 2014) a présenté une enveloppe altitude-température intérimaire pour les conditions givrantes «mixtes et glacées» à laquelle doivent se référer motoristes et fabricants de sondes aéronautiques. Les mesures statistiquement robustes de la PMA réalisées pour ce vaste projet collaboratif sur l’avion Falcon de SAFIRE dans le cadre de HAIC-HIWC (campagnes à Darwin en Australie et à Cayenne en Guyane) et dans un projet complémentaire mené par la NASA sur leur avion DC8 servent actuellement à valider avec confiance la nouvelle enveloppe altitude-température-IWC-MMD incluant les zones de givrage par cristaux de glace (Schwarzenboeck et al. 2019 ; Huet et al. 2019).

Spectres dimensionnels cumulatifs de masse de cristaux dans des zones de forts contenus de glace des systèmes MCS à l’origine des incidents moteurs des avions de ligne. Le MMD est donné à 50% de la masse cumulative et représente donc un proxy de la taille typique des cristaux de glace qui portent l’information des zones de fort contenu en glace. Les couleurs représentent des intervalles de température de mesures effectuées et traitées par l’équipe PMA (plus de 250 heures de vol Falcon 20 et DC8). Pas de mesures statistiques à -10°C avec le DC8.



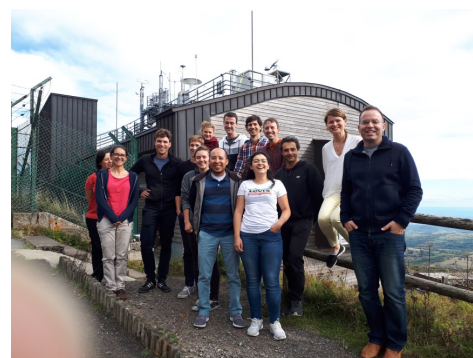
Site instrumenté Cézeaux-Opme-Puy de Dôme (CO-PDD)

Depuis 2013, la station du puy de Dôme fait partie du programme international de l’organisation mondiale de la météorologie Global Atmosphere Watch, en tant que site global depuis 2014. Elle compte parmi la trentaine d’observatoires du monde à bénéficier de ce label. Cela a ainsi permis de mettre en lumière les activités du site instrumenté, par exemple par la VI-Site de la ministre de l’Ecologie, du Développement durable et de l’Energie Ségolène Royale le 10 Octobre 2015, et de la Députée de Paris, Co-présidente du Groupe écologiste à l’Assemblée nationale Cécile Duflot le 3 Décembre 2015.

Le site a vocation à accueillir des équipes de recherches françaises et internationales, ainsi que leur instrumentation pour des campagnes de mesures d’inter-comparaison technique, ou à visée scientifique, par exemple dans le cadre de la procédure du TransNational Access de l’infrastructure de recherche européenne ENVIplus. C’est dans ce cadre que la campagne PICNIC (Puy de Dôme Ice Nucleation Intercomparison Campaign), qui était également cofinancée par le projet ANR CHAIN (ANR-14-CE01-0003 -01), s’est déroulée en Octobre 2018.

La campagne PICNIC avait pour objectif de comparer les dispositifs permettant de caractériser les liens entre aérosols et cristaux de glace. Différents instruments ont été déployés lors de cette campagne permettant de compter et caractériser les noyaux glaçogènes atmosphériques par des mesures off-line (prélèvement puis analyse) ou en ligne à l’aide de chambre IN (noyaux de glaciation).

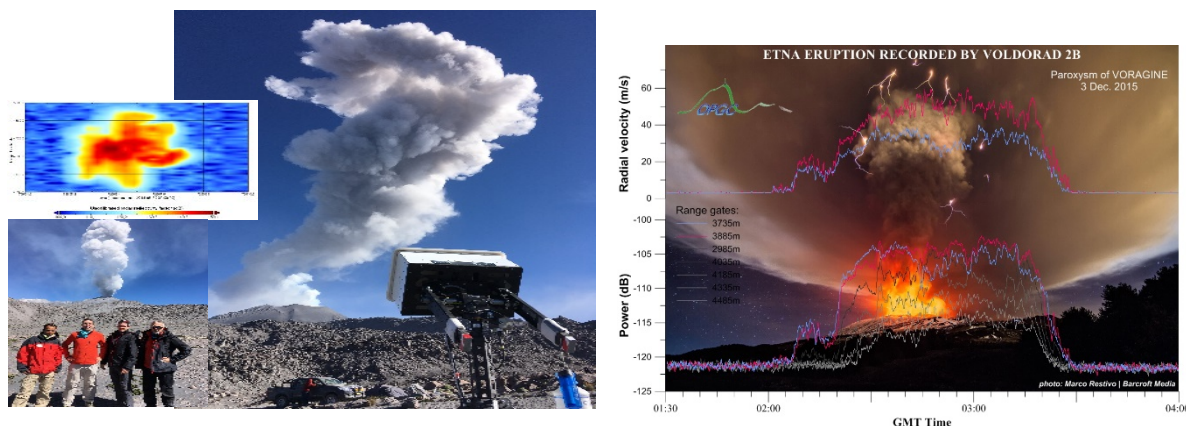
Cette campagne a permis d’accueillir pendant un mois douze équipes avec leurs instrumentations, leaders dans le domaine des interactions aérosols-nuage : Université du Colorado (P. DeMott, USA), Institut de Technologie du Massachusetts (D. Cziczo, USA), Université de Mexico (L. Ladino, Mexique), Leipzig Institut TROPOS (S. Mertes, Allemagne), Karlsruher Institut für Technologie (O. Möhler, Allemagne), Institut de Chimie de Clermont-Fd (P. Amato, France) et Institut des sciences de l’atmosphère et du climat de Zurich (Z. Kanji, Suisse).



Contribution au SNOV : Instrument d'excellence VOLDORAD

L’OPGC a développé en étroite collaboration technique et scientifique avec le LATMOS (convention UCA-UVSQ-CNRS) un nouveau radar volcanologique (VOLDORAD-3) pour l’investigation des panaches de cendres. Sa longueur d’onde à 3.2 mm lui confère également un caractère interdisciplinaire et l’instrument est mutualisé pour des études atmosphériques (campagnes EXAEDRE 2018, SEA2CLOUD 2020). Ce projet sur 3 ans a largement impliqué le SDT de l’OPGC pour un coût total environné avoisinant 1 M€ (Mission Interdisciplinaire du CNRS - LabEx ClerVolc - UCA). Les premières mesures à 95 GHz dans les panaches du volcan Stromboli (2015) avec un prototype miniaturisé de radar nuage en visée fixe (Delanoë et al., 2016) ont démontré l’énorme potentiel de ces fréquences extrêmes pour les applications aux cendres volcaniques (Freret et al., 2019 ; Donnadieu et al. 2019, soumis EPSL). Une seconde campagne au volcan Sabancaya (LabEx ClerVolc 2018), soutenue par l’IRD, l’OPGC et l’INGEMMET, a validé

l'implémentation opérationnelle du radar panache finalisé et ses capacités de scan à haute résolution. Ces nouvelles observations visent à lever plusieurs verrous : (i) le paramétrage fiabilisé du terme source des panaches (charge particulaire, débit éruptif, vitesses), nécessaire pour initialiser les modèles et anticiper la dispersion des cendres ; (ii) la compréhension de la dynamique interne des panaches volcaniques à une échelle fine, comparable aux expériences de dynamique des fluides en laboratoire et contraignant les modèles théoriques. Ces axes de recherche font l'objet de deux thèses (Freret-Lorgeril 2018 ; J. Gichrist 2017-2021 en co-tutelle UCA-Univ. British Columbia) et deux Master 2 Recherche (C. Soriaux 2018 ; C. Gélibert récompensée par le prix LAVE 2019).



Gauche : radar VOLDORAD-3 réalisant des profils de réflectivités et vitesses à l'intérieur des panaches de cendres du volcan Sabancaya (Pérou, 5200 m) ; insert : section transversale des réflectivités en base de colonne éruptive.

Droite : Puissances des échos radar et vitesses Doppler enregistrées lors du paroxysme de l'Etna du 3 décembre 2015 (15 km de hauteur) par VOLDORAD-2B, intégré au système de surveillance de l'INGV-OE depuis 2009.

Service d'Observation STEREOVOLC

Ce service a pour objectif le suivi de l'évolution morphologique et thermique du dôme de lave du volcan Merapi (Indonésie).

La déstabilisation périodique des dômes de lave en croissance constitue un des principaux facteurs de risque sur les volcans andésitiques. Le suivi en continu de l'évolution de ces systèmes est donc particulièrement important. Un projet, mené en collaboration avec nos collègues indonésiens, a permis le déploiement d'un réseau capable de mesurer, en temps réel, l'évolution morphologique et thermique du dôme sommital du volcan Merapi en Indonésie. La configuration actuelle du Merapi est idéale pour un suivi de l'évolution du dôme depuis le bord du cratère et en contrebas du dôme. Les données recueillies (images visibles, thermiques et morphologies 3D) sont transmises en temps réel à l'OPGC. Elles seront aussi mises à la disposition de l'observatoire du Merapi, pour renforcer le système actuel de surveillance.

Initié à l'OPGC/LMV, ce service d'observation du MERAPI fait désormais partie du Service National d'Observation ANO-6 VELI.

Service National d'Observation CLAP

CLAP est un service national d'observation (AO ANO-1) de surveillance de l'atmosphère ayant obtenu sa labellisation en 2016. L'objectif de CLAP est le suivi de paramètres climatiques essentiels (essential climate variables – ECV-) liés à l'aérosol atmosphérique et définis comme tels par GCOS (Global Climate Observing System) et GAW (Global Atmosphere Watch), à partir de sites d'observation. Ces mesures doivent permettre d'évaluer, dans un contexte de changement climatique : l'évolution long terme de certaines sources importantes de l'aérosol, l'évolution long terme de la charge en aérosol pour différentes classes de taille et pour différentes espèces chimiques, les rétroactions éventuelles de l'aérosol vers le climat à travers ses propriétés optiques et de noyau de condensation nuageuse (CCN).

L'étude de Foucart et al. (2018), par exemple, évalue la fréquence et l'intensité des événements de formation de nouvelles particules sur le site du Maïdo et montre que cet environnement à la fois d'altitude et marin sous influences biogénique et anthropique est propice à l'une des fréquences de formation de nouvelles particules les plus élevées reportées dans la littérature. L'étude de Rose et al. (2019) montre à partir des mesures de distribution en taille de l'aérosol sur le site du Maïdo lors de l'année 2015, que la présence du panache volcanique du piton de la Fournaise augmente la fréquence de nucléation de nouvelles particules de 71% des jours d'observation à 86%.

La nucléation est le processus prédominant dans l'apport du nombre de particules à l'atmosphère et représente 96% du nombre de particules émises, 4% seulement étant d'origine primaire.

Une paramétrisation du nombre de particules formées à partir du précurseur acide sulfurique a pu être dérivée des mesures et pourra être insérée dans les modèles pour cette source spécifique d'aérosols.

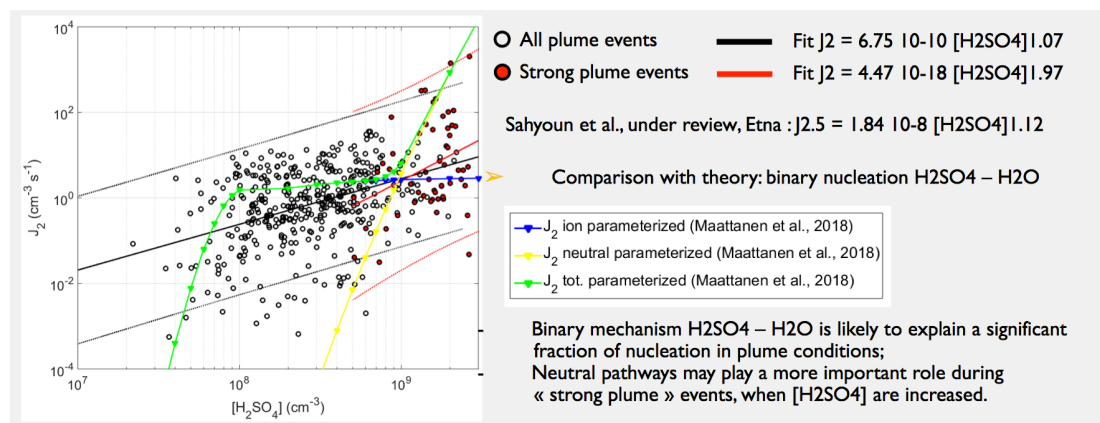
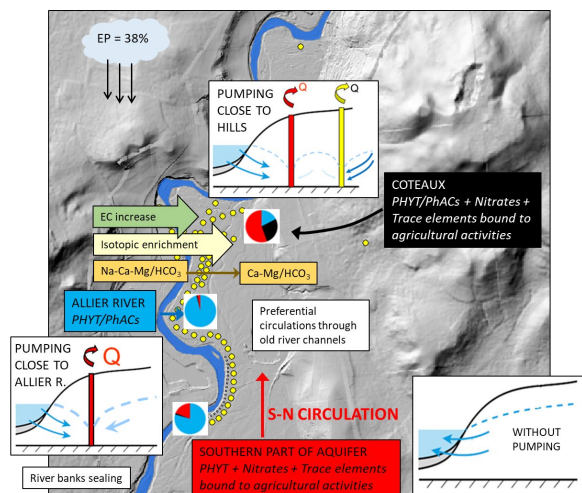


Figure : Taux de formation de nouvelles particules de 2 nm en fonction de la concentration en acide sulfurique calculée à partir des mesures en SO₂, mesurées pendant le passage du panache du piton de la Fournaise sur l'observatoire du Maïdo au cours de l'année 2015. Meilleures paramétrisations dérivées des mesures comparées à la théorie de la nucléation homogène binaire (acide sulfurique-eau) issue de Maattanen et al. 2018 (Rose et al. 2019).

Service National d'observation AUVERWATCH

Le système d'observation AUVERWATCH, prévu pour un fonctionnement de 2014 à 2024, s'attache à caractériser l'évolution de la qualité des masses d'eaux en Auvergne (aquifères volcanique, sableux, alluvial, cristallin, thermo-minéral) face aux changements globaux. Le projet est développé autour de 3 méthodologies : 1) un suivi à long terme de la qualité et de la quantité de la ressource en eau ; 2) un site expérimental sur la nappe alluviale de l'Allier destiné à la mise en place d'actions collaboratives pour mieux comprendre la réactivité du milieu alluvial ; 3) des études ponctuelles sur l'ensemble des sites pour mieux comprendre le fonctionnement et les transferts d'eau et de matière à l'échelle des différents sites. Il est financé par l'OPGC, la Fédération des Recherches en Environnement de l'UCA, Clermont-Communauté, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et L'Oréal Vichy International.



Modèle de transfert des masses d'eau et des contaminants dans la nappe alluviale de l'Allier

Entre 2014 et 2018, les mesures récurrentes ont permis d'établir un modèle de fonctionnement de la nappe alluviale et de montrer l'impact de l'irrigation sur les ressources en eau des aquifères sableux en région tempérée. Le SO a été labellisé dans le réseau national des sites hydrogéologiques H+ et dans l'Infrastructure de Recherche OZCAR en 2016.

Infrastructure Européenne EPOS

EPOS (European Plate Observing System - <http://www.epos-eu.org>) est un projet européen d'infrastructure d'observation de l'intérieur de la Terre associant 22 pays. Ce projet a été inscrit en décembre 2008 sur la feuille de route du projet ESFRI (European Strategic Forum on Research Infrastructures).

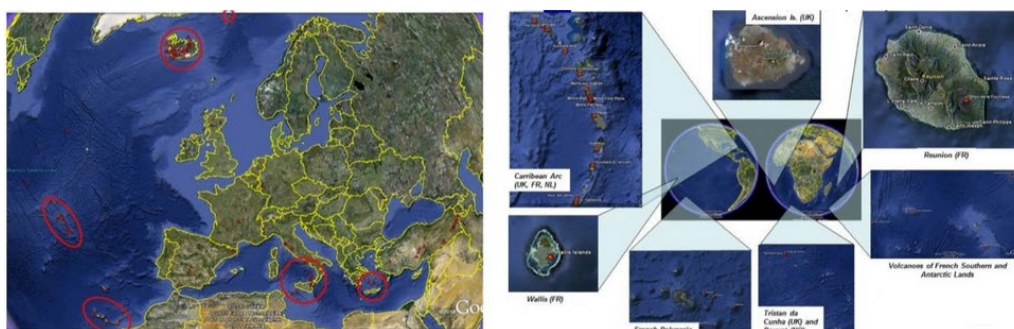
L'OPGC a été présent dans le groupe français piloté par le CNRS-INSU en charge du suivi de la phase préparatoire du projet EPOS, et dans plusieurs groupes de travail définis à l'échelon européen pour le montage du projet. Ce fut tout particulièrement le cas pour ce qui concerne les observations volcanologiques pour lesquelles l'OPGC fut fortement impliqué dans le Working Group 2 «Volcano Observations» de la phase préparatoire (2010 à 2014), puis dans le montage du Work Package 11 «Volcano Observations» de la phase d'implémentation du projet EPOS. Le projet, déposé début janvier 2015, a été retenu pour financement par la communauté européenne.

Le WP 11 donnera un accès durable à long terme aux données et produits existants actuellement au sein des observatoires volcanologiques européens (VO) et les institutions de recherche en volcanologie (VRI). Le WP11 s'appuie sur des décennies de fonctionnement d'infrastructures exploitées par les VO et VRI, ayant permis le recueil sur le long terme de plusieurs ensembles de données très diverses. Il permettra la mise en œuvre de services interopérables pour offrir un accès continu à ces données. Le WP11 bénéficiera et capitalisera les résultats des projets des «Supersites» volcanologiques FUTUREVOLC (volcans islandais) et MEDSUV (Etna, Vésuve et de Champs Phlégréens), projets dans lesquels les chercheurs de l'OPGC sont déjà impliqués. Au-delà de ces volcans, les services offerts par le WP11 vont également intégrer les données et services concernant les volcans de Grèce, des Açores, des Canaries et les volcans sur le territoire français.

Infrastructure Européenne EUROVOLC



EUROVOLC (European Network of Observatories and Research Infrastructures for Volcanology) est un réseau européen d'observatoires et d'infrastructures de recherche en volcanologie dans le cadre des projets de recherche et d'innovation Horizon 2020 de la Commission européenne. L'objectif principal de ce projet est la construction d'une communauté volcanologique européenne intégrée et harmonisée capable de soutenir, d'exploiter et de développer pleinement les infrastructures de recherche nationales et paneuropéennes existantes et émergentes, y compris les e-infrastructures des volcans européens Supersites. L'harmonisation comprend la mise en réseau des scientifiques et des parties prenantes, ainsi que la connexion des infrastructures volcanologiques encore isolées situées dans des observatoires de volcan (OV) et des instituts de recherche volcanologique (VRI).



Le consortium EUROVOLC comprend des observatoires de volcan en Europe responsables de la surveillance des volcans et des conseils sur leur activité en Italie, en Islande, au Portugal (les Açores), en Grèce (îles volcaniques) et en France (territoires d'outre-mer), ainsi que des partenaires supplémentaires chargés de conseiller les autorités sur les risques et aléas volcaniques. Ce consortium de VO comprend tous les

observatoires de volcan en Europe (voir la figure ci-contre).

L'Université Clermont Auvergne (UCA) et sa composante OPGC sont partenaires à part entière du projet EUROVOLC en participant activement à 14 work packages. L'UCA-OPGC dirige le Networking WP4 / volcan-atmosphère et a mis en place le workshop "Communication strategies between Volcano Observatories and the Volcanic Ash Advisory Centres in Europe" (5-7 février 2019, Met-Office, Exeter, UK). L'OPGC est fortement impliqué dans le WP24 pour lequel il fournit un accès virtuel aux modèles de télédétection et simulations numériques en ligne.

Infrastructure Européenne HEMERA

Depuis Janvier 2018, l'OPGC contribue au projet d'infrastructure européenne HEMERA du programme H2020 (Call INFRAIA-02-2017). (<https://www.hemera-h2020.eu/>). L'OPGC est responsable de l'ensemble de la contribution française CNRS à ce projet : LATMOS, OVSQ, DT-INSU, GSMA, LPC2E, LMD, OMP, OPGC et pôle de données AERIS.



L'OPGC pilote deux Workpackages (DATA Center et Joint Research Activities) et contribue à 5 WPs (Management, Education, Dissemination, Enlarging the community et New launch base). Le WP Joint Research Activities a pour objectif de, i) définir un ensemble d'instruments novateurs légers afin de fournir aux utilisateurs ballon des mesures des variables essentielles climatiques définies au sens du GCOS ; ii) de développer des outils de visualisation des mesures sous ballon et de données de niveau 3 pour l'interprétation des mesures, iii) de définir au niveau européen la synergie et les outils communs associés à la technique d'imagerie hyperspectrale infrarouge pour la définition d'une future mission satellite.

Participation à l'Infrastructure nationale RESIF (Réseau Sismologique Français)

RESIF consiste en une infrastructure de recherche définie comme une antenne multi-composantes d'observation et d'étude de la Terre solide. Cette infrastructure de recherche est constituée d'instruments sismologiques (vélocimètres et accéléromètres), géodésiques (GNSS) et gravimétriques, multi-échelles qui mesurent les déformations permanentes et transitoires du sol français.

RESIF est construit sous forme d'un consortium d'organismes de recherche et d'établissements académiques français dont l'Université Clermont Auvergne est l'un des membres. L'UCA a intégré le consortium du TGIR RESIF en tant que membre à part entière en 2013 (alors UBP). Ainsi, l'Université peut prendre part aux décisions. L'UCA est représentée au comité directeur de RESIF par le directeur de l'OPGC.

L'OPGC est également l'un des partenaires du projet Equipex RESIF-CORE destiné à financer l'équipement fondamental à la réalisation du projet RESIF.

II.5 Animation scientifique

II.5.1 Colloques et congrès

La contribution et/ou à l'organisation de congrès internationaux est un excellent indicateur de l'animation scientifique et de la visibilité internationale. L'OPGC soutient donc les demandes de colloques qui entrent dans le cadre de son périmètre thématique.

COLLOQUES 2014-2018

| Année | Libellé du Projet | Porteur du Projet | Montants attribués |
|-------|---|----------------------------------|--------------------|
| 2014 | Le Colloque ACTRISn, Clermont Ferrand. Cette manifestation réunit chaque année la communauté ACTRIS pour présenter les avancées du projet. Cette année sera également dédiée à l'élaboration de la suite du programme européen ACTRIS, ACTRIS 2. | LaMP | 3000 |
| | Le colloque ITM 2015 (International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application). Ce congrès fait suite à une longue série de conférences, organisées périodiquement tous les deux ans, initiées par le comité CCMS. Ce congrès réunit environ 200 personnes au niveau national et international. Mai 2015 Montpellier. | N. Chaumerliac, D. Steyn | 2000 |
| 2015 | Pas de financement colloque | | |
| 2016 | Pas de financement colloque | | |
| 2017 | MDIS FORM@TER 2017, Clermont Ferrand. | Jean-Luc Froger Valérie Cayol | 1000 |
| | Atmospheric Chemical and Biological processes : interactions and impacts | Laurent Deguillaume | 1000 |

| | | | |
|------|---|------------------------|------|
| | ISOTRACE | Didier Laporte | 1000 |
| 2018 | Pas de financement colloque | | |
| 2019 | Colloque EECLAT : Expecting Earth-Care, Learning from A-Train. Janvier 2019, Fréjus | J.-L Baray, O. Jourdan | 1500 |
| | Colloque LEFE-CHAT, Juin 2019, Villeurbanne | C. Rose | 1000 |

Durant le contrat écoulé, l'OPGC a co-organisé le colloque MDIS-Form@Ter.

La quatrième édition du colloque MDIS-Form@Ter (Mesure de la Déformation par Imagerie Spatiale) s'est déroulée du 16 au 20 octobre 2017 à Clermont-Ferrand et à Besse en Chandesse. Ce colloque a réuni 70 chercheurs et étudiants français et étrangers, ainsi que des représentants de l'ESA, du CNES, de la NASA et du DLR, partageant un intérêt pour les techniques de l'interférométrie radar et de la corrélation d'images optiques et radar, ainsi que pour la valorisation et l'exploitation des observations que fournissent ces techniques dans divers domaines d'applications. Une conférence grand public intitulée "Le Pavin, coffre au trésor pour la science" a été donnée en marge du colloque au cinéma de Besse le jeudi 19 octobre à 21h.

II.5.b Séminaires de l'OSU OPGC

En mai 2018 l'OSU a mis en place un cycle de séminaires techniques ou scientifiques avec une fréquence d'environ un par mois. Le responsable scientifique pour l'organisation de ces séminaires est B. van Wyk de Vries et G. Del Campo pour la partie administrative.

Ces séminaires sont transverses, sur des sujets techniques ou scientifiques. En fonction des thèmes abordés une diffusion autre que celui du périmètre de l'OSU OPGC est mise en place.

Séminaire 2018

| Année 2018 | Intervenant | Sujet |
|-------------------|---|--|
| 23 mai | C. ROSSIN IR CNRS OSU | Retour des rencontres MAPI (Management de Projets INSU) des 14 et 15 mai 2018. |
| 18 juin | P. FREVILLE IR UCA OSU | Projet COPLid (CO-PDD LIDAR) : Présentation de tous les aspects techniques qui interviennent pour la réalisation du nouveau lidar de l'OPGC (infrastructure, optique, optomécanique, logiciel, sécurité,...) |
| 12 juillet | S. MOUN E& D. Jessop Phys. Adj. à l'OSU | Présentation des activités d'observation dans le cadre du SNOV. Activité de la Soufrière de Guadeloupe en 2017-2018. |
| 20 septembre | B. VAN WYK DE VRIES Pr. l'UCA-LMV E. DELAGE – IE CNRS OSU | Réalité virtuelle et augmentée pour les risques naturels – Une initiative 3DTeLC ERASMUS+ |
| 12 octobre | C. SEGONNE IE CDD OSU C. XU Doctorante UO | Imagerie hyperspectrale infrarouge du panache volcanique de l'Etna pendant la campagne IMAGETNA Effect of Blue Jets on Stratospheric Ozone – a model study. |
| 14 novembre | Karim KELFOUN MC UCA-LMV | Le volcan Mérapî : Site instrumenté pour un suivi en continu et en temps réel du volcanisme explosif |
| 19 décembre | B. FOUCART Doctorant, U la Réunion | Observation et modélisation des processus de formation de nouvelles particules (FNP) au sein du panache volcanique du Piton de la Fournaise. |

II.6 Valorisation de la recherche

Les indicateurs de valorisation de la recherche concerne dans nos domaines les publications de Rang A (revues à comité de lecture) à fort facteur d'impact, et proxis de téléchargement des données. Le bilan des publication sur la période est résumé cidessous, suivi des détails par service.

| Actions d'observation Nationales/Internationales | | | | |
|---|---|-----------------------------------|--|-------------------|
| type | Nom | Nombre publication Acteurs Rang A | Nombre publication Utilisateurs Rang A | Nombre doctorants |
| Instrument National d'excellence | Presses Multi-Enclumes (PME) | 18 | 9 | 5 |
| Instrument National d'excellence | Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA) | 21 | 31 | 5 |
| SI National | Cézeaux Opme puy de Dôme (CO-PDD) | 16 | 47 | 7 |
| Service National Observation | SNOV-OPGC | 59 | 24 | / |
| Service National Observation | CLAP | 7 | 18 | 3 |
| Service National Observation | AUVERWATCH | 3 | 1 | / |
| Actions d'observations OPGC | | | | |
| SO OPGC | PUYCLOUD | 7 | 10 | 4 |
| SO OPGC | PUYGAZ | 3 | 4 | 4 |

Presses Multi-Enclumes

L'Instrument National Presse Multi-Enclumes inclut deux presses, l'une de 1000 tonnes datant de 1996, et l'autre de 1500 tonnes datant de 2010. La presse multi-enclumes a été complétée de plusieurs mesures physiques qui peuvent s'effectuer in situ, à haute pression et haute température.

Nous avons développé ces quatre dernières années les mesures de conductivité électrique (voir Manthilake et al., 2015), les mesures des vitesses acoustiques et les mesures de conductivité thermique à haute pression et haute température. Ces dépenses ont été financées par le Labex ClerVolc sur des problématiques liées à la fusion du manteau.

Le troisième module (DIA-type), couplé à la presse 1000 T, est en cours d'installation. Ce module DIA permettra (i) de produire des pressions bien supérieures à 30 GPa à l'aide d'enclumes ultra-dures (en diamant fritté, en effet la limite fragile des enclumes classiques en carbure de tungstène (WC), est atteinte entre 26 et 30 GPa). Ce module, a déjà été testé *in situ* à haute pression et température sous un faisceau de rayons X sur l'anneau synchrotron SOLEIL sur la ligne PSYCHE et ce jusqu'à 42 GPa et des températures dépassant les 2000 K. Il permet de réaliser des études *in situ* à haute pression et température.

Depuis 2015, nous avons réalisé 480 expériences dont 20% pour le compte de chercheurs externes (21 projets). Les expériences des chercheurs externes ont conduit sur la même période à la publication de 27 articles dans des revues internationales avec comité de lecture. L'équipe en a elle-même publié 20. Par ailleurs, nous participons régulièrement aux actions de formation aux techniques de hautes pression organisées par le réseau des hautes pressions du CNRS (MITI, ex-MI). Sur la période de référence, deux formations ont eu lieu. Nous sommes présents aux "user meetings" des synchrotrons (SOLEIL, ESRF). Nous avons participé à l'organisation d'un atelier sur les techniques d'émission acoustiques au synchrotron APS en 2016. L'équipe de l'instrument national a participé à l'organisation du symposium international de minéralogie, pétrologie et géochimie (EMPG-XVI) à Clermont-Ferrand en 2018.

Plateforme de Mesures Aéroportées

Au vu des réalisations techniques et du parc instrumental performant et parfois unique pour la quantification de la microphysique des nuages et des aérosols, la PMA est fortement sollicitée de la part de collectivités locales, d'industriels (Dassault-Aviation, Airbus-France, SAFRAN, Airbus-Helicopters) des organismes publics français (CNES, IPEV, ANR, projets européens FP7 et H2020, EASA, FAA) et aussi allemands (AWI, LIM, DLR) pour participation à des campagnes de mesures dans lesquelles elle est amenée à jouer un rôle majeur. A titre d'illustration, au cours des dernières années (2015-2019), la PMA a été impliquée dans 18 campagnes de mesures avec des instruments de la PMA embarqués sur les avions de SAFIRE, mais aussi d'Airbus (France) du DLR et de l'AWI (Allemagne), ainsi qu'exceptionnellement au sol ou en chambre de simulation pour des inter-comparaisons. Ces différents projets concernent plus particulièrement les nuages convectifs tropicaux, l'étude des émissions liées au trafic aérien, l'étude des nuages mixtes et glacés en arctique, les études en Méditerranée des nuages convectifs, l'étude des panaches volcaniques (actifs et passifs). Ces multiples campagnes internationales s'accompagnent de nombreuses collaborations nationales et internationales.

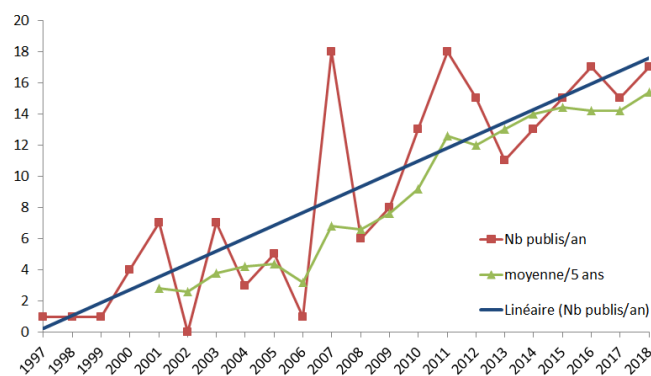
La production scientifique des acteurs de l'Instrument National (équipe PMA) s'élève (période 2015-2019) à 6 thèses, 22 publications et 35 contributions lors de conférences. S'ajoute la production scientifique d'utilisateurs (hors équipe PMA) des données de la PMA avec 35 publications, 45 conférences et 11 thèses.

Site instrument Cézeaux/Opme - Puy De Dôme

Le site du puy de Dôme est un endroit privilégié pour le prélèvement et la caractérisation in situ des différentes phases du milieu nuageux (gouttelettes, air interstitiel) pour différentes conditions environnementales, ce qui a permis la mise en œuvre de campagnes de mesures permettant d'intercomparer les différents instruments mesurant les propriétés microphysiques des nuages liquides (campagne ROSEA, Guyot et al., 2015) et les dispositifs permettant de caractériser les liens entre aérosols et cristaux de glace (campagne PICNIC, octobre 2018). Récemment, un nouveau système de prélèvement multiphasique (AEROVOCC) a été développé pour collecter simultanément les gouttelettes de nuages et les gaz, ouvrant la voie à des études documentant la composition chimique et microbiologique de ce milieu et à l'étude des processus de transformations par voies chimiques et biologiques des composés chimiques dans l'eau nuageuse (Bianco et al., 2015, 2018, Rose et al., 2018).

Les mesures par télédétection lidar et radar profilers de vent menées sur le site CO-PDD sont pertinentes pour documenter les processus dynamiques d'échanges stratosphère-troposphère, qui influent sur les distributions d'espèces trace telles que l'ozone, le monoxyde de carbone ou la vapeur d'eau. Un cas d'étude de courant-jet accompagné de l'intrusion d'une masse d'air stratosphérique descendue jusqu'à une altitude de 3 km a été observée en 2013, démontrant la capacité du profileur VHF et du lidar Raman de détailler la dynamique de ce type de processus (Baray et al., 2017).

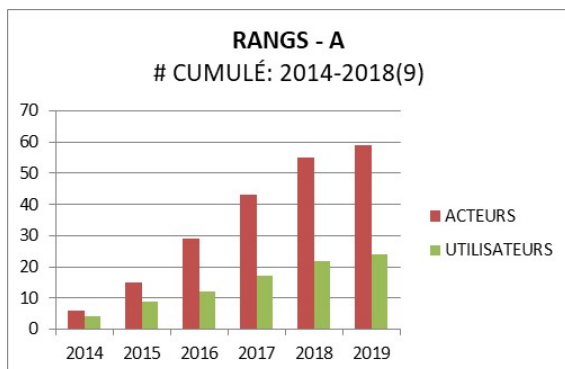
Les données du site instrumenté ont été utilisées dans plus de 200 publications depuis 1997, dont 70 sur la période 2015-2019.



Contribution de l'OPGC au SNOV

La majorité des actions d'observations menées en Volcanologie par l'OPGC sont intégrées dans le Service National des Observations en Volcanologie (SNOV), dont l'OPGC est co-porteur avec l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). En particulier, nos activités d'observations s'insèrent de manière grandissante dans les Observatoires Volcanologiques et Sismologiques (OVS) Français. Mais, une contribution importante des observations est aussi réalisée sur des cibles connexes et prioritaires telles que les Volcans Italiens, Islandais, Sud-Américains, Indonésiens ou Comoriens. La nature des mesures réalisées couvre un panel assez large, avec néanmoins un domaine d'expertise privilégié autour de la télédétection (ex. HOTVOLC, OI², VOLDORAD), thématique sur laquelle l'OPGC est reconnu internationalement. D'ailleurs ces activités représentent une contribution importante à l'IR-EPOS, et s'insèrent dans de nombreux autres projets européens (ex. EuroVolc). La valorisation des données issues des travaux du pôle télédétection comprend la mise à disposition de bases de données auprès de la communauté scientifique, telles que :

- ✓ CASOAR : Base de données InSAR sur les volcans (Piton de la Fournaise, Antilles Françaises, Amérique du Sud (CVZ), Est Anatolie, Etna, Vanuatu), 2.6 To de données images référencées
- ✓ DYNVOLC : Base de données intégrant un certain nombre de paramètres liés à la dynamique des éruptions qu'elle soit explosive ou effusive (données de terrain, textures des pyroclastes, données géochimiques et données géophysiques).
<http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/dynvolc/index.php>
- ✓ HOTVOLC : Base de données sur les émissions volcaniques permettant d'obtenir en temps réel plusieurs paramètres tels que la concentration en cendres des panaches, la distinction entre leur contenu en eau, glace et cendre, la quantité de SO₂ émise, les flux de masse des émissions laviques, et ce pour divers volcans dans le monde.
<http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/hotvolc/index.php>
- ✓ VOLDORAD : base de données des radars doppler sur les paramètres liés aux explosions des volcans Etna (<http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/voldorad/bddtr.php>) et Popocatépetl (<http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/voldorad/bddtrpopo.php>).



Les observations OPGC-SNOV ont contribué à la publication de 59 articles de rang A entre 2014 et 2018 de l'équipe OPGC-LMV et 24 publications des utilisateurs du SNOV.

Service national d'observation CLAP

CLAP est un service national d'observation de surveillance de l'atmosphère labellisé depuis 2016. L'objectif de CLAP est le suivi de paramètres climatiques essentiels (essential climate variables – ECV) liés à l'aérosol atmosphérique et définis comme tels par GCOS (Global Climate Observing System) et GAW (Global Atmosphere Watch), à partir de sites d'observation. Ces mesures doivent permettre d'évaluer, dans un contexte de changement climatique :

- l'évolution long terme de certaines sources importantes de l'aérosol,
- l'évolution long terme de la charge en aérosol pour différentes classes de taille et pour différentes espèces chimiques,
- les rétroactions éventuelles de l'aérosol vers le climat à travers ses propriétés optiques et de noyau de condensation nuageuse (CCN).

Le SNO CLAP a donc pour objectif de fournir des données de qualité sur la variabilité spatiale et temporelle de ces propriétés de l'aérosol atmosphérique, à partir de sites d'observation d'altitude et de couche limite atmosphérique en diverses zones du globe (France, Amérique Latine, Himalaya, Afrique, Australie).

Globalement, les statistiques d'utilisation des données CLAP sont déterminées à partir des accès à la base de données ACTRIS donnés ci-contre. Les statistiques intègrent à la fois la visualisation des données et leur téléchargement.

| | 2010-2017 <i>Last year</i> | 2010-2018 <i>New updates</i> |
|--|-------------------------------|---------------------------------|
| Total years of French ACTRIS data plotted in EBAS | 3 695 | 4405 |
| Total years of French ACTRIS data downloaded from EBAS | 3 146 | 5189 |
| Number of different users IPs of French ACTRIS data | 321 | 403 |
| Number of countries accessing French ACTRIS data | 35 | 39 |
| Number of accesses performed from France | 31 | 41 |
| % download of French data within France | 10 | 10 |
| 5 Most intensive countries using French ACTRIS data, downloading most years | Germany | Germany |
| | Switzerland | Switzerland |
| | Finland | France |
| | France | Finland |
| | US | US |
| Since 2014 more than 90 000 pages in EBAS are visited from France (not only for ACTRIS data) | | |

Sur la période (2016-2018), le SNO CLAP a donné lieu à 30 publications de rang A (dont 8 de l'équipe OPGC-LaMP), 7 doctorats à l'UCA et 13 communications orales ou poster dans des colloques nationaux ou internationaux.

AUVERWATCH

Le système d'observation AUVERWATCH s'attache à caractériser l'évolution de la qualité des masses d'eaux en Auvergne (hydrosystèmes volcanique, sableux, alluvial, cristallin, thermo-minéral) face aux changements globaux. Entre 2014 et 2018, les mesures récurrentes ont permis d'établir un modèle de fonctionnement de la nappe alluviale et de montrer l'impact de l'irrigation sur les ressources en eau des aquifères sableux en région tempérée. Le SO a été labellisé dans le réseau national des sites hydrogéologiques H+ et dans l'Infrastructure de Recherche OZCAR en 2016.

Sur la période 2016-2018, il a fait l'objet de 3 publications de rang A, 4 présentations à des colloques internationaux et 10 nationaux. 2 Post Doctorants, 1 doctorant et 4 stagiaires de master ont travaillé sur les données AuverWatch.

Diffusion des connaissances

L'OPGC assure la diffusion des connaissances au public dans ses domaines d'activités, au travers de son site internet et d'un certain nombre d'actions de vulgarisation scientifiques et culturelles en direction des journalistes et du grand public.

Jusqu'en août 2015, l'OSU était doté d'un poste à temps plein en communication. Il était occupé par Marie Russias qui est partie à la retraite. Le poste n'a pas été remplacé. Aujourd'hui la communication est assurée par Mme Del Campo s'ajoutant à ses fonctions d'assistante de direction. Le temps consacré à cette fonction de communication n'est pas optimal. Le bilan des actions de communications est donné **Annexe 1**.

En interne, la communication participe à l'amélioration de la circulation de l'information au sein des services communs UMS 833 d'une part et d'autre part entre les deux laboratoires qui constituent l'OPGC : le Laboratoire de Météorologie Physique et le Laboratoire Magmas et Volcans et depuis 2017 l'Ecole OPGC.

En externe, elle porte l'image et l'identité de l'établissement auprès de la communauté scientifique ainsi que du grand public.

L'OSU travaille en étroite collaboration avec les services communications de l'UCA et du CNRS, ainsi qu'avec la Cellule de Diffusion de la Culture Scientifique, Technique et Industrielle (DCSTI) de l'UCA.

Depuis 2018, l'OSU dégage un budget d'environ 4000 € pour la communication. Viennent s'ajouter les 2500 € de subventions demandées dans le cadre de la fête de la science.

L'OSU participe chaque année à la fête de la science coordonnée par l'UCA et le Conseil Départemental. A ce titre l'OPGC s'implique dans deux journées, une en semaine initiée par l'UCA avec des stands/ateliers proposés aux scolaires, et une journée le week-end, initiée par le Conseil Départemental avec une VI-Site de l'Observatoire au sommet du puy de Dôme et une présentation de la Chaîne des puy.

Dans le cadre de la diffusion de la culture scientifique, l'OSU a été sollicité à plusieurs reprises durant ces 5 dernières années pour participer à diverses manifestations comme les rencontres « Montagne et Sciences », Le village des 4 éléments, le train du climat, le rendez-vous des Chercheurs à Vulcania, l'exposition temporaire (2 ans) « Quand la terre tremble » (sismologie) à Vulcania, la participation à la conception d'un film diffusé à Vulcania (drones), le Festival des nuées ardentes, etc.

L'OPGC ouvre également tout au long de l'année l'observatoire au sommet du puy de Dôme pour des VI-Sites essentiellement scolaires, mais aussi des associations, entreprises, administrations, etc.

Toutes ces actions de communications sont faites en coordination avec les deux laboratoires de l'OSU.

Les événements marquants pour la communication de l'OSU ont été :

- ✓ 2015, l'obtention du label GAW qui positionne l'Observatoire au sommet du puy de Dôme comme premier site en France à recevoir ce label qui est décerné par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) aux stations scientifiques de référence.
- ✓ 2017, sortie de l'ouvrage en deux volumes «Des volcans au Nuages» de la Revue d'Auvergne consacré à l'OPGC. La Revue d'Auvergne est initiée par l'Alliance Universitaire.

En termes de communication graphique (visuel), l'OSU a développé ce domaine depuis un an, avec notamment la création d'un livret de visite pour l'Observatoire au sommet du puy de Dôme. Ce livret est pédagogique, vulgarisé et permet plus particulièrement aux enseignants des établissements scolaires de préparer en aval leur visite. Plusieurs goodies ont également été réalisés (sac, stylos, carnet, autocollant, mug, marque page, carte de visites, etc.). Courant 2017 l'OSU a repensé son identité visuelle en changeant son logo. Une charte graphique est en cours, qui déclinera les supports de communications administratifs, le visuel des posters, des slides de présentation powerpoint, etc. Le chantier le plus important en 2018 a été le visuel sur les vitres à l'entrée du bâtiment.

Un autre chantier est en cours, il s'agit de la refonte du site Web de l'OSU. Pour cela l'OPGC s'appuie sur la trame proposée par l'UCA (K-SUP), qui permet d'alléger le travail en ne réalisant que les contenus.

Ont été réalisées également plusieurs plaquettes (Ecole et OSU) de présentation, des affiches notamment pour la présentation des séminaires, des posters, etc.

Suite à la l'édition de la Fête de la Sciences 2018, un petit film a été réalisé par Antoine Ligier, Photographe-Vidéaste, www.viseea.com

C'est le service DCSTI de l'UCA qui a coordonné et pris en charge financièrement cette opération.

III. Formation et Formation par la recherche

La fusion des universités clermontoises au 1^{er} janvier 2017 en un établissement unique, l'Université Clermont Auvergne, a entraîné une redéfinition de la carte des composantes d'enseignement.

L'OPGC est désormais depuis 2017 une composante de l'UCA (E-OPGC) et porte les formations initiales et continues du domaine des Sciences de l'Univers de l'Université Clermont Auvergne. Ainsi l'OPGC joue concrètement son rôle « d'école » au sein de cette nouvelle université. Elle fait partie du collegium « Sciences fondamentales » au côté d'autres UFR disciplinaires.

L'OSU OPGC via son Conseil Pédagogique regroupe l'ensemble des enseignants chercheurs en Sciences de l'Univers (sections CNU 35 et 37 du site clermontois, section 37 de l'IUT d'allier et de l'antenne de l'IUT d'Aurillac) et du Conseil National des physiciens et Astronomes (sections TI et SCOA) de l'Université Clermont Auvergne, incluant ses antennes (Montluçon, Vichy et Aurillac). Les sièges du conseil pédagogique sont équirépartis entre les sections 35 et 37.

L'E-OPGC en termes d'offre de formation entre parfaitement dans le cadre défini par l'HCERES : Domaine Sciences et Technologie/sous domaine ST3 Sciences de la Terre et de l'univers (SU) en regroupant les disciplines Sciences de l'Atmosphère ST3.1 et Sciences de la Terre ST3.2.

Malheureusement les 7 E-C de section CNU 37 du LaMP du site clermontois sont actuellement rattachés à la composante de physique (EUPI) et non à l'E-OPGC. Ils effectuent environ 580 heures ETD dans l'E-OPGC. Ceci n'est pas optimal pour créer une stratégie commune de développement de l'E-OPGC, prévoir la feuille de route et ainsi stabiliser/développer l'E-OPGC.

L'offre de formation de l'E-OPGC concerne la Licence mention Sciences de la Terre et le Master Sciences de la Terre et des Planètes Environnement. L'E-OPGC met en oeuvre également la mineure Science de l'Atmosphère et de l'Environnement (SAE) commune à la Licence des Sciences de la Terre de l'E-OPGC et de La licence de Physique de l'Ecole Universitaire de Physique et d'Ingénierie (EUPI).

L'E-OPGC est également fortement impliquée dans le Master Métiers de l'Enseignement, de l'Education et de la formation (MEEF) de l'Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education (ESPE).

L'offre de formation de l'E-OPGC concerne environ 250 étudiants, 4800 Heures ETD. Elle se déploie grâce à 9 Professeurs, 15 Maîtres de Conférences (dont 7 EUPI), 2 Physiciens et 3 Physiciens adjoint du corps de CNAP, 1 PRAG et 1 PAST.

Depuis la rentrée 2017, l'E-OPGC a mis en place l'ensemble de la structure opérationnelle de fonctionnement de l'Ecole.

Les fonctions support de l'E-OPGC sont le responsable administratif de l'OSU (ITA CNRS IE, 0.2 ETP), la secrétaire scolarité, (BIATSS catégorie C, 1ETP), l'Appariteur, (BIATSS Catégorie C, ½ ETP), l'assistante de direction de l'OSU (BIATSS, Tech 0.2 ETP) et le support informatique (BIATSS IE, 0.15 ETP).

Encore très jeune, l'E-OPGC ne dispose pas de locaux dédiés en accès libre pour les étudiants au sein du Campus. La direction de l'école, la direction de la scolarité, les directeurs d'études et le service scolarité sont éclatés entre les locaux de l'OPGC, du LMV et du LAMP, sous accès restreint. Ceci est préjudiciable pour l'accueil des étudiants, la cohérence de l'équipe pédagogique, l'administration et la visibilité/le rayonnement de l'E-OPGC. Nous espérons que l'UCA mettra à disposition des locaux spécifiques pour l'E-OPGC rapidement.

Les enseignants-chercheurs participent également à la formation par la recherche en encadrant des étudiants en doctorat inscrits auprès de l'École Doctorale des Sciences Fondamentales de l'UCA. Durant le contrat 2010-2015, 17 thèses ont été soutenues au LaMP (8 en cours), et 34 thèses ont été soutenues au LMV (20 en cours).

La formation passe également par notre implication dans des opérations plus largement ouvertes de formations des enseignants du secondaire (dans le cadre de la Maison pour la Science, notamment), des interventions dans les écoles primaires et établissements secondaires, l'accueil de "stagiaires", élèves de CPGE, collégiens, ainsi que l'organisation d'école d'été et de conférences.

Détail de l'offre de formation en **Annexe 1**.

IV. Hygiène et sécurité

Sous l'impulsion de la directrice de l'OPGC, Nathalie HURET, un Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail a été mis en place en 2018. Pascal BEYRIE assistant de prévention depuis 2006 anime ce comité qui se compose de cinq personnes (trois personnes ayant suivi la formation d'assistant de prévention, une personne en charge des risques psychosociaux au sein de l'unité et une personne ayant suivi le stage "secours en milieu isolé"). La directrice a donné une lettre de cadrage des missions de ce CHSCT en parfaite cohérence avec les lettres de cadrage du CNRS et de l'UCA.

Le comité est composé de 5 personnes : 2 ITA CNRS et 2 BIATSS UCA ainsi que de la référente RPS Risques Psychosociaux de l'unité. Elle est en lien étroit avec la direction de l'OSU.

Ce comité se réunit au moins 4 fois par an. Son responsable est l'Assistant de prévention. Il rend compte de ses travaux auprès de la direction et lors des Assemblées générales de l'UMS 833.

Il se compose de : P. Beyrie (Assistant de prévention), T. Latchimy, M. Bontemps, A. Faissal, V. Guesneau (Risques Psychosociaux).

Il intervient principalement lors de missions sur le terrain que ce soit en France ou à l'étranger pour évaluer les risques. En outre, il s'appuie principalement sur les risques recensés dans le document unique et planifie les actions à mener en fonction de la cotation du risque et des budgets alloués.

Il intervient aussi lorsque le registre d'hygiène et de santé au travail est complété par un agent. Il informe la directrice et en parallèle il essaie de trouver des solutions avec le service de prévention des risques de l'UCA et le service prévention du CNRS. En outre, un dialogue permanent existe entre les assistants de prévention de l'UMR 6016 (LaMP), l'UMR 6524 (LMV) et l'UMS 833 (OPGC).

L'analyse du document unique fait ressortir plusieurs risques. Ainsi plusieurs actions de formation ont été menées durant la période 2015-2019 (formation secouriste sauveteur au travail, formation adaptée au poste pour l'habilitation électrique, formation secours en milieu isolé).

Depuis la dernière évaluation, plusieurs personnes travaillant au voisinage et en contact du milieu électrique ont suivi une formation électrique adaptée à ce poste de travail et sont habilitées en matière électrique. Cependant pour certains personnels il est parfois difficile de les inscrire pour un recyclage.

En raison des différents mouvements de personnels, plusieurs personnes auraient besoin de se former pour les travaux en hauteur et le montage ou démontage d'échafaudage.

Concernant les nouveaux entrants, une formation leur est dispensée pour les informer sur les risques présents à l'UMS. En outre, cette formation met l'accent sur les risques incendie et la conduite à tenir si un tel risque survenait.

Des actions de rappel et de sensibilisation au port des Équipements de Protection Individuelle sont conduites régulièrement auprès des utilisateurs. Dans le même temps l'assistant de prévention procède au contrôle de ces équipements et les fait changer lorsque le besoin s'en fait sentir.

Il est à noter qu'au sein de l'UMS 833, 13 personnes sont secouristes sauveteurs du travail et 3 personnes ont suivi antérieurement cette formation mais n'ont pas suivi le recyclage.

L'OPGC met à disposition des deux UMRs un véhicule 4x4, mais plus principalement pour l'UMR 6016 (LaMP), afin d'accéder au site instrumenté du puy de Dôme. En 2007, un stage de conduite tout terrain a été organisé par l'assistant de prévention ; cependant toutes les personnes concernées n'ont pas pu suivre ce stage ; il serait souhaitable de programmer un nouveau stage pour que les personnes habilitées à conduire ce véhicule puissent l'utiliser en toute sécurité lors de conditions extrêmes (neige, glace, terre et boue).

Les personnes susceptibles d'utiliser et de manipuler le LIDAR de l'OPGC doivent toutes passer une VI-Site oculaire pour savoir si elles sont aptes à ce genre de tâches. Il faut noter que Patrick Freville (responsable du SDT) est le responsable laser pour l'OPGC. Il a participé avec l'assistant de prévention à la rédaction et à la mise en place de protocoles d'utilisation et d'accès à l'équipement. Avec la jouvence du LIDAR, l'OPGC sous la tutelle de l'UCA, a déposé une demande d'autorisation d'utilisation de ce matériel auprès de la DSAC (Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile) en présentant à cet organisme le protocole de détection et l'arrêt du matériel.

Enfin, avec le développement des périodes de forte chaleur constatées ces dernières années, l'ensemble du personnel est incommodé par ce phénomène. En effet, durant ces épisodes, le bâtiment peut monter régulièrement à des températures de 36°. Il n'existe aucune pièce climatisée hormis les pièces réservées aux serveurs informatiques. La mise en place d'horaires décalés est réalisée, cependant les bureaux au début de la journée peuvent déjà être à 31°. Un ensemble de capteurs de température est en cours d'installation afin d'évaluer plus précisément ces pics de température pour définir les horaires décalés de manière rigoureuse.

V. Analyse des points forts, faiblesses, risques et opportunités

| FORCES | FAIBLESSES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Rôle national des OSUs - Services d'observation, instruments et sites labellisés au niveau national - Implication dans les Infrastructures de recherche nationales et projets européens - Forte implication locale (ClerVolc, CAP 20-25) - Identité territoriale reconnue de l'OPGC - Mutualisations de services et plateformes - E-OPGC Composante de l'Université | <ul style="list-style-type: none"> - Périmètre de l'OSU peu étendu (uniquement 2 laboratoires INSU/CNRS et l'UMS 833) - Fonctionnement hétérogène de l'E-OPGC (E-C CNU 37 du LaMP non affectés à l'E-OPGC) - Les volets européens du site clermontois associé ACTRIS non gérés à l'OPGC. |
| OPPORTUNITES | MENACES |
| <ul style="list-style-type: none"> - Projet CAP 20-25 avec l'émergence du «Clermont Risk Center» du challenge 4 et du Cloud Environnement du challenge 1 - Prospective INSU et positionnement d'une stratégie régionale scientifique avec les OSU de Lyon et Grenoble - CO-PDD national facility au sein de l'IR ACTRIS-EU - IR européennes EUROVOLC et HEMERA à l'OPGC | <ul style="list-style-type: none"> - Fonction support scolarité E-OPGC trop faible - Equipe associée au service informatique trop réduite. - Difficulté associée au positionnement de la contribution de l'OPGC au sein du SNOV. |



Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC)

Unités membres de la composante

UMS 833 UCA-CNRS
UMR 6016 UCA-CNRS (LaMP)
UMR 6524 UCA-UJM-CNRS-IRD (LMV)

Prospective Scientifique Janvier 2021 – Juin 2025

Introduction générale

La précédente prospective (2017-2021) a été construite et déployée par P. Bachelery jusqu'en décembre 2017. En janvier 2018 la nouvelle direction a poursuivi la stratégie engagée avec les 6 enjeux identifiés alors :

- Implication dans la politique de site (les projets Labex ClerVolc et projet d'I-SITE CAP 20-25),
- Une plus grande ouverture vers des recherches menées en lien avec les laboratoires SHS et sur les risques liés aux phénomènes naturels,
- Participation active aux actions de recherche réalisées dans le cadre de la Fédération des Recherches en Environnement,
- Le renforcement de l'implication de l'OPGC dans les systèmes nationaux et internationaux d'observation de la planète Terre (Terre solide et Atmosphère),
- Le déploiement et le positionnement de l'école de l'OPGC au sein de l'Université Clermont Auvergne en favorisant l'articulation entre la formation et la recherche,
- Le renforcement des liens scientifiques entre les deux UMRs de l'OPGC.

Ces enjeux restent d'actualité et, pour la prospective 2021-2025, ils sont complétés par une actualité riche qui permet de prévoir une feuille de route robuste pour établir la prospective 2021-2025, que ce soit en interne à l'OSU OPGC, au niveau du site clermontois, de la région AURA, de la politique nationale CNRS-INSU et des projets européens et internationaux.

I. Participation à la politique de site

I.1 Institut des Sciences fondamentales

L'OPGC dans la nouvelle structuration de l'UCA fait partie du collégium des Sciences fondamentales qui regroupe les composantes d'enseignement, les laboratoires et l'école doctorale associée : en sciences de l'univers (E-OPGC) LMV et LaMP, en physique et ingénierie (EUPI) LPC et IP, en chimie UFR Chimie et ICCF, en mathématiques UFR Mathématique et LMBP.

L'OPGC, en tant que structure fédérative dédiée à l'Observation à long terme pour le suivi de l'évolution de notre planète, a dans sa feuille de route le soutien à la recherche. Il comporte dans sa structure les physiciens et physiciens adjoints du Corps National des Astronomes et Physiciens. Ces derniers mènent des projets scientifiques associés à la politique de site (Labex ClerVolc, I-Site CAP 20-25) mais aussi nationaux (projets CNRS-INSU et CNES par exemple) et internationaux via les 4 infrastructures de recherche européennes (EPOS, EUROVOLC, ACTRIS, HEMERA). De plus les missions des OSU comme l'OPGC sont également de décliner la stratégie scientifique nationale CNRS-INSU au niveau local. L'OPGC est ainsi un acteur de la recherche scientifique sur le site.

[A ce titre, dans la nouvelle structuration de l'Université et l'évolution des collégioms en instituts, l'OPGC souhaite siéger dans l'Institut Sciences Fondamentales \(SF\) en tant que tel ainsi qu'à l'école doctorale en tant qu'acteur de la recherche.](#)

La structuration de l'UCA en institut a pour objectif de favoriser la synergie enseignement-recherche. Ainsi l'OPGC est la cellule élémentaire sur le domaine Sciences de l'Univers de l'Institut SF où il joue tout son rôle de phasage entre les laboratoires (LaMP, LMV et UMS) et la composante d'enseignement (E-OPGC) au travers d'une stratégie commune établie par ses conseils (pédagogique, scientifique et conseil de l'observatoire).

[En particulier l'OPGC, sur sollicitation de la présidence de l'UCA a répondu en 2018 à l'appel à manifestation d'intérêt pour la création d'une Ecole Universitaire de Recherche EUR portée par l'OPGC.](#) Ce projet d'EUR "International school on Volcanos in terrestrial system", est prévu par la présidence pour être partie prenante du projet de l'UCA en réponse au futur Appel d'offre EUR Grande Université de Recherche (GUR). Il s'appuie sur le Labex ClerVolc et le projet d'I-Site CAP-2025.

L'ambition pédagogique du projet InVolc est de construire une "graduate school" dont l'objectif est de devenir une référence internationale pour la formation de spécialistes de l'étude des phénomènes volcaniques et atmosphériques, de leurs conséquences, en attirant les meilleurs étudiants dans le monde, en master et en doctora cela implique une évolution pédagogique et un élargissement de l'offre de formation actuelle. Il est proposé l'ouverture d'un nouveau parcours international de master "Disaster risk reduction and management" en lien avec les thèmes scientifiques portés par le Challenge "Risques naturels catastrophiques et vulnérabilité socio-économique" de l'I-Site CAP-2025. Le dispositif de formation InVolc se déclinera en quatre parcours de Master basés sur le dispositif actuel (GéoAG, MV, ScAC et ses deux parcours internationaux) et la création du parcours interdisciplinaire "Disaster risk reduction and management", suivis du Doctorat en lien avec l'école doctorale Sciences Fondamentales. Au cœur du dispositif, se situe une stratégie pédagogique résolument tournée vers le continuum enseignement/recherche/observation, l'internationalisation, l'innovation pédagogique, les débouchés

et le monde socio-économique, la visibilité du réseau InVolc et la création du parcours interdisciplinaire (Cf. **Annexe 2**).

L'OPGC est responsable du Groupe de travail Master Risque du Challenge 4 de l'I-SITE CAP 20-25 qui s'appuie sur les composantes DEG et SHS et les Labex CLERVOLC, IDGM+ et le challenge 4 de l'I-SITE CAP 20-25.

I.2 Contribution au projet I-Site CAP 20-25

L'OPGC est très impliqué dans le projet d'I-Site CAP 20-25. L'un des objectifs de ce projet est de décloisonner des domaines en positionnant des axes de développement du site clermontois au-delà de l'UCA et en favorisant des travaux pluridisciplinaires. Ce projet pour l'OPGC est une ouverture au développement de projets pluridisciplinaires de proximité et favorise ainsi les liens entre les domaines scientifiques et de sciences humaines et sociales du site.

Dans ce cadre l'OPGC renforcera sa contribution aux 2 challenges scientifiques :

Challenge 1 : Agro-écosystèmes durables dans un contexte de changement global

Challenge 4 : Risques naturels catastrophiques et vulnérabilités socio-économiques

Pour le challenge 1 de l'I-Site, l'OPGC fait partie depuis mars 2019 du comité d'animation du Cloud Environnemental au bénéfice de l'Agriculture (CEBA).

Le CEBA a pour but de fournir un observatoire numérique de l'environnement et des agroécosystèmes (eau, sol, air, biodiversité) à l'échelle du territoire auvergnat. Les compétences de l'OPGC, en termes d'acquisition, de production, suivi de qualité des données et métadonnées, plateforme de gestion des données scientifiques, interopérabilité des données d'observation et de communication et échange de données entre applications, seront mises au service du CEBA. En particulier l'implication de l'OPGC dans les infrastructures de recherche ACTRIS et ICOS permettra d'abonder le CEBA vis-à-vis de la variabilité 4-D des espèces atmosphériques à temps de vie court et données associées à la mesure des flux et des concentrations en dioxyde de carbone (écosystèmes, fuels fossiles et cimenteries), méthane (gaz naturel, agriculture et élevage), et oxyde nitreux (agriculture, fuels fossiles et feux).

Pour le challenge 4 de l'I-Site, l'enjeu est de favoriser les travaux aux interfaces entre les sciences fondamentales et les sciences humaines et sociales en décloisonnant les domaines avec comme bande commune l'évaluation des risques naturels. L'OPGC, au travers de sa composante atmosphère en lien avec le LaMP, devra faire monter en puissance la contribution atmosphérique associée aux risques naturels comme les risques associés aux précipitations intenses.

L'OPGC via l'UMS 833 contribuera également au développement du *Risque Center Clermontois* au travers du volet base de données qu'elles soient scientifiques ou issues des sciences humaines et sociales.

L'OPGC, via son école et les deux laboratoires LMV et LaMP de son périmètre, a mis en place en janvier 2019 une formation continue sur la modélisation des risques volcaniques liés aux retombées de cendres à l'intention de cadres d'AXA Assurances (<http://www.ferdi.fr/en/node/4668>). Les contenus de cette formation ont associé les Enseignant-Chercheurs du LMV sur la partie aléas volcaniques et du LaMP sur la partie modélisation de la dispersion des gaz et cendres volcaniques. Ce type d'action de formation continue à destination des acteurs du secteur privé est à renouveler et sera une composante du *Risk Center Clermontois*.

I.3 Lien avec la Fédération des Recherches en Environnement

Les travaux avec la Fédération des Recherche Environnement se prolongeront au travers du futur défi SYMBIOSE en cours d'élaboration pour le CPER 2021-2026. En cours de montage, il est porté par le Challenge 1 de l'I-Site CAP 20-25 et la FRE. Ce projet concerne principalement des financements d'investissement.

De plus la Fédération des recherches en Environnement a déposé un dossier EUR nommé *ENVschool* (Environnement School) en support au Challenge 1 de l'I-Site CAP 20-25, à l'interface entre les instituts des sciences de la vie, sciences fondamentales et sciences humaines et sociales, qui a reçu un écho favorable auprès de la présidence de l'UCA. L'OPGC mettra en œuvre des synergies/mutualisations nécessaires avec cette EUR *EnvSchool* afin de contribuer à une offre d'enseignement cohérente au niveau du site clermontois.

Projet ANR BIO-MAIDO (2019-2022)

Le projet BIO-MAIDO (Bio-physicochimie des nuages tropicaux au Maïdo (Île de la Réunion) : processus et impacts sur la formation des aérosols organiques secondaires) a pour objectif de mieux comprendre les mécanismes chimiques et biologiques multiphasiques contrôlant la formation des aérosols organiques secondaires (AOS). Le milieu tropical de l'île de la Réunion présente des conditions optimales pour étudier la formation des AOS : (1) de nombreux composés biogéniques, précurseurs des AOS sont émis en grande quantité et le fort ensoleillement et la

température favorisent leurs transformations chimiques ; (2) en raison de la forte occurrence de brouillards, ce site permet d'évaluer l'influence des processus aqueux dans la formation des AOS. La stratégie proposée repose sur une campagne de mesures d'ampleur sur deux sites afin de caractériser les sources d'émission des gaz et des aérosols, et d'évaluer les voies multiphasiques de formation et d'oxydation des AOS. Ce travail s'effectue en synergie avec des études de modélisation avec un modèle explicite de chimie du nuage (CLEPS) et un modèle 3D de transport/chimie (Meso-NH). La campagne de mesures se déroulera sur deux sites : un situé à mipente proche des sources biogéniques (milieu forestier) et soumis à la formation de nuage et un en zone réceptrice de l'air ayant subi des transformations multiphasiques chimiques (observatoire du Maïdo). Ce projet est un projet de recherche collaborative piloté par le laboratoire d'aérodynamique avec les contributions de la FRE (LaMP, OPGC, ICCF), LACY, IGE, LARGE, et CNRM. Ce projet est démonstrateur de l'exportation des savoir-faire relatifs à la bio-physicochimie des nuages sur le site du Maïdo de l'OSU OPAR.

II. Positionnement scientifique des recherches et déclinaison vers l'international

Une meilleure compréhension du système terre est en enjeu majeur en ce début de 21^{ème} siècle. En particulier les interactions entre les systèmes volcaniques, l'environnement, l'atmosphère et les activités humaines sont essentielles, à mesure que les densités de population augmentent et que les infrastructures et les économies mondiales deviennent de plus en plus interconnectées.

Dans le cadre de la prospective nationale menée à l'échelle de l'institut CNRS-INSU, l'OPGC a identifié des défis scientifiques et techniques qui lui permettront de développer la transversalité sur le périmètre de l'OSU, renforcer l'interdisciplinarité en identifiant des sujets scientifiques sur lesquels les travaux menés permettront de dégager une stratégie régionale en collaboration avec les OSU de Lyon et Grenoble et trouveront écho au niveau national/international. Au total 10 défis scientifiques et méthodologiques ont été identifiés.

Ces défis scientifiques et/ou méthodologiques sont des axes prioritaires de développement scientifiques de l'OSU OPGC (chacun de ces défis est détaillé en annexe 2).

Trois défis permettront le renforcement de la transversalité au sein de l'OSU, deux défis scientifiques et deux méthodologiques permettront à l'OPGC de mener en interne au niveau du site et à l'échelle de la région des animations scientifiques afin de créer des synergies et produire des avancées au cours du prochain contrat pour les décliner au niveau national puis international. Enfin bien évidemment l'OPGC soutiendra les défis qualifiés de "spécifiques" en raison de leur segment très resserré mais ayant une reconnaissance nationale et internationale.

L'animation et le développement de cette stratégie scientifique sera déployée et mise en œuvre par la direction, les directions adjointes et le conseil scientifique de l'OPGC. Dans la nouvelle organisation de l'OPGC, les directions adjointes ne sont pas seulement en charge des actions d'observations de l'OPGC, leurs missions se déclinent à l'échelle de l'OSU sur le volet recherche et également au travers des axes scientifiques définis ci-dessous.

Ces défis en terme de localisation/focalisation se déclinent sur des études à mener dans des régions particulièrement sensibles à l'échelle du globe :

- Amérique du Sud avec villes d'Amérique du Sud où coexistent à la fois des émissions naturelles (volcans) et anthropiques, risque volcanique, impact sanitaire, urbanisation croissante.
Cette région pourrait être à considérer comme une zone atelier où convergent différentes thématiques bien au delà de l'OPGC.
- Afrique : zone sensible où l'effet du changement climatique serait déjà visible avec une urbanisation croissante, des émissions de polluants atmosphériques très largement sous estimées actuellement.
- Zone insulaire tropicale : Ile de La Réunion, Nouvelle Calédonie, et Indonésie sensible aux tsunamis
- Zone australe en particulier la nouvelle Zélande (ERC Sea2Cloud)

II.1 Transversalité au sein de l'OSU

Deux défis identifiés vont favoriser les interfaces au sein de l'OSU pour une plus valeur entre les domaines Océan/Atmosphère et Terre Solide du CNRS-INSU.

Le premier thème concerne l'*Etude des panaches volcaniques depuis le cœur du volcan jusqu'à l'atmosphère*. L'objectif est de répondre au questionnement : Quelle est la dynamique des grandes éruptions volcaniques et leurs couplages avec l'atmosphère ?

C'est un défi à fort potentiel pour l'OPGC en terme de transversalité de par les segments scientifiques du LMV et du LaMP. Il s'inscrit dans un renforcement des liens volcanologie-atmosphère initiés par l'ANR STRAP et le Labex ClerVolc. Ce thème se décline également à l'échelle nationale et internationale via le livre blanc MIST (Modeling, Imaging Sensing and Tracing of émissions and volcanic plumes) remonté en 2017 au niveau du CNRS-INSU pour la création d'un groupe de recherche européen. Depuis 2019, l'OPGC pilote ce groupe. A très court terme, un workshop soutenu par le programme PNTS de l'INSU est prévu à l'automne 2019 sur le site clermontois. L'OPGC et l'ensemble des contributeurs du groupe MIST souhaitent la mise en place d'un Groupe de recherche européen.

Le second thème concerne l'*Impact environnemental et sanitaire des émissions gazeuses et particulaires en zones volcaniques anthropisées* qui est un thème très novateur à l'OPGC. Il est à construire en lien avec les compétences du LMV et du LaMP et le développement d'interactions avec des chercheurs de l'INC et de l'INSERM. Il s'agit de comprendre comment la coexistence d'émissions gazeuses et particulaires d'origine anthropique et volcanique affecte leur impact sanitaire et environnemental. Sur ce thème l'OPGC s'incrira également dans une stratégie régionale avec les équipes géomédecine (de l'environnement au diagnostic médical) de l'Observatoire de Lyon et géologie médicale de l'Observatoire de Grenoble.

II.2 Défis pour le développement d'une stratégie régionale AURA

Avec les OSUs de Grenoble et Lyon, deux défis scientifiques à la fois complémentaires et ayant des bandes communes ont été identifiés.

Le défi *Habitabilité des planètes* est un défi qui adresse la question scientifique des environnements de la Terre primitive : comment construire une planète habitable ? L'objectif est de retracer l'histoire de la Terre depuis sa formation jusqu'au développement des premiers environnements favorables à la vie, en se basant sur l'expérimentation, l'analyse d'échantillons naturels et la modélisation numérique. Il s'appuie sur les projets ERC – ISOREE, ANR – GASTON, et Labex ClerVolc. Ce défi est complémentaire du défi de l'Observatoire de Lyon : Terre ancienne, origine de la Vie et crises biologiques, Formation des galaxies et des planètes, Mars et Lune.

Le défi *Risques littoraux (tsunamis, tempêtes et cyclones)* est un défi très structurant et fédérant au niveau de la région AURA. L'objectif est d'améliorer l'*évaluation des risques*, en combinant à terme les données des PSHA (*Probabilistic Storm Hazard Assessment*) avec les données de vulnérabilité humaine et structurelle (ex. fragilité du bâti, des réseaux) pour construire des PTRAs ou PSRA (*Probabilistic Tsunami or Storm Risk Assessment*). Il s'appuie sur la communauté COST 2018 AGITHAR "*Accelerating Global science In Tsunami HAZard and Risk analysis*" qui fournira un cadre de discussions sur les méthodes à l'échelle européenne. Il trouve un écho dans le challenge 1 de l'I-SITE CAP 20-25.

II.3 Défis méthodologiques

Dans le cadre du défi spatial l'OPGC est particulièrement investi pour développer des recherches sur l'*Evaluation des aléas et risques liés au volcanisme : vers une exploitation temps réel des données satellitaires COPERNICUS*. Ce défi a été rédigé avec plusieurs membres des OSUs de Lyon et de Grenoble, à la fois sur les aspects traitement des données que modélisations. Il est en lien étroit avec le défi Intelligence artificielle (analyse en temps réel, interprétation des données parcimonieuses) de l'OSUG et à Lyon avec les travaux sur les données parcimonieuses, et interprétation automatique d'images. Ce défi spatial s'appuie sur une communauté structurée au niveau national, l'OPGC ayant contribué à l'organisation en 2013, 2015, 2017 du workshop "Mesure des déformations par imagerie Satellite", dans le cadre du pôle de données Form@ter. Ce sous défi est structurant au niveau régional.

L'OPGC est engagé dans des projets instrumentaux (avion et drone) de *Miniaturisation de la mesure aéroportée pour l'échantillonnage autonome en environnement extrême*. Les enjeux se déclinent également au niveau de l'OSU de Lyon et de l'OSU de Grenoble via les mesures aéroportées sous drone. Ceci permet de rendre accessibles des zones jusqu'alors non échantillonnées. Cet axe via le porteur drone se développera au niveau de la région AURA en interface avec les trois OSUs. Ce thème entre dans l'axe instrumentation en milieu extrême de la prospective INSU, dont l'OPGC est en charge de mettre en place l'atelier national à l'hiver 2020. Ainsi l'OPGC pourra positionner au mieux ses savoir-faire et développements instrumentaux au sein de la stratégie nationale CNRS-INSU.

Enfin l'OPGC s'intéresse aux questions relatives à la distribution spatiale/quadrillage des instrumentations dans le cadre des services d'observations et Infrastructure de Recherche. Les réflexions et avancées au niveau national sur le thème *de l'Expérimentation à l'Observation* pourront potentiellement être déclinées au niveau du challenge 1 de l'I-SITE.

II.4 Défis spécifiques

L'OPGC via le LaMP développe des recherches sur des segments scientifiques très spécifiques. Ce sont des niches scientifiques à forte plus-value à soutenir par l'OPGC.

Les défis *Impact climatique du cycle de vie des nuages* et *Le nuage, vecteur et réacteur biologique et chimique* sont des marqueurs forts du site clermontois côté atmosphère ayant une visibilité nationale et internationale, de

nombreuses collaborations et partenariats public/privé. Sur le site ils sont partie prenante de la Fédération des Recherches en Environnement et ainsi permettent de développer des projets avec les chercheurs de l'INEE et de l'INC.

Le défi [Biogéochimie marine et émissions atmosphériques](#), s'intéresse au rôle de la biogéochimie marine sur les émissions atmosphériques et leurs impacts sur les propriétés nuageuses. Il s'appuie sur les Projets ERC Sea2Cloud (2019-2023) et Projet ANR TONGA (2018-2020). Il contribue à l'ouverture vers l'océan des thématiques atmosphériques et permet ainsi de développer des interactions avec l'Observatoire de Villefranche, l'OSU Pythéas et au niveau international l'institut NIWA (National Institute for Water and Atmospheric research) de Nouvelle-Zélande, et le laboratoire CSIRO de Melbourne en Australie. [Ce thème est à soutenir et développer dans le prochain quinquennal.](#)

III. Positionnement des services d'observation de l'OPGC et implication dans le contexte national et international des Infrastructures de Recherche

Actuellement (en 2019) la commission spécialisée Océan Atmosphère mène l'exercice de labellisation de ses Actions Nationales d'Observation pour la période 2020-2024.

Ainsi le site national instrumenté CO-PDD, l'instrument national Plateforme de Mesures Aéroportées PMA et le Service national d'Observation CLAP ont déposé un dossier de renouvellement de leur label national avec le soutien de l'OPGC.

[Le cadrage offert par la CSOA \(définition et critères associés aux services nationaux d'observation, instruments nationaux d'excellence ou communautaires, sites nationaux instrumentés et codes communautaires\) a été déployé sur l'ensemble des actions d'observation de l'OPGC qu'elles soient Océan-Atmosphère, Terre solide ou Environnement. Cet exercice a été riche d'échanges et d'aides à la structuration en interne et nous l'espérons contribuera à une uniformisation des pratiques vis-à-vis des actions d'observation à l'échelle du CNRS-INSU.](#)

Dans cette partie II est présenté les perspectives des actions nationales d'observation, puis les contributions aux Infrastructures de recherche et enfin les actions d'Observations développées en interne à l'OPGC.

III.1 Actions nationales d'observation

Le tableau ci-dessous résume ces différentes actions nationales d'observation. La synthèse des perspectives est aussi résumée ci-dessous (dans l'**Annexe 2**, les dossiers détaillés sous format CSOA-INSU des différents actions d'observation sont présentés).

| Type (Instrument national, site instrumenté, Service d'observation, Code numérique) | Domaine | Infrastructure de Recherche | Nom de l'action d'observation | Label |
|---|---------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| IN d'excellence ANO ?? | TS | IR RÉGEF En cours | Presses multi-enclumes | Label national |
| IN d'excellence | OA | Demande IR SAFIRE | Plateforme de mesures aéroportées | en renouvellement Label national |
| SI national | OA | ACRTRIS-FR et ACTRIS Eu | Cézeaux Opme puy de Dôme (CO-PDD) | en renouvellement Label national |
| SNO | TS | EPOS EUROVOLC et | SNOV-OPGC | Label national |
| SI national VELI ANO 6 | TS | | STEREOVOLC | Contribution au SI national VELI |
| SNO | OA | ACTRISfr et ACTRIS Eu | CLAP | en renouvellement Label national |
| SNO | Environnement | H+ | AUVERWATCH | Label national H+ |

Instrument nationaux

Presses multi enclumes

Les presses multi-enclumes permettent de générer des pressions comprises entre 2 GPa plus de 26 GPa pour des températures pouvant atteindre 2000°C (<http://lmv.univ-bpclermont.fr/presses-multi-enclumes/>). Les systèmes étudiés peuvent être constitués de solides, de liquides ou de fluides, puisqu'on a la possibilité de travailler en capsules fermées. Le module DIA permettra de produire des pressions bien supérieures à 30 GPa à l'aide d'enclumes ultra-dures (en diamant fritté).

L'Instrument National inclut 2 presses, l'une de 1000 tonnes installée en 1996, et l'autre de 1500 tonnes installée en 2010. L'Instrument National offre un accès à tous les utilisateurs de l'INSU. Il est à noter la participation aux 'user meetings' des synchrotrons (SOLEIL, ESRF).

L'instrument national a été proposé pour contribuer à l'IR REGEF.

Les récents développements du système in situ ainsi que l'installation de la technique de diamant fritté pour des expériences ultra-haute pression vont élargir considérablement la portée de la recherche. Les principaux projets de recherche à mettre en œuvre dans les années à venir sont :

- Élaboration d'un modèle thermique s'appliquant aux manteaux supérieur et inférieur afin de comprendre l'origine des panaches mantelliques.
- Développement du modèle de stockage et recyclage de l'eau dans le manteau.
- Contraintes sur la circulation des fluides dans le manteau.
- Détermination de la structure, la dynamique et la composition des planètes extraterrestres.
- Découverte de nouveaux matériaux à haute pression en collaboration avec le Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM), l'Institut Galilée à Paris, l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB) et l'Institut Néel de Grenoble.

Plateforme de Mesures aéroportées : Instrument National d'Excellence

La Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA) est un ensemble d'instruments scientifiques permettant de caractériser les propriétés microphysiques et optiques des particules nuageuses observées in situ. Elle est accompagnée de moyens d'étalonnage, spécifiquement développés pour parfaire la maîtrise des mesures complexes réalisées par les sondes optoélectroniques, et de programmes de traitement des données performants à même de garantir le haut niveau de qualité des données. Elle s'inscrit avant tout dans le cadre de l'instrumentation des avions de recherche atmosphérique français (ATR-42 et Falcon20).

Unique en France et à la pointe de ce qui se fait dans le monde, la configuration instrumentale modulable s'adapte aux objectifs scientifiques des projets respectifs et au potentiel d'emport des différents avions de recherche sur lesquels elle est installée. Impliquée dans de nombreux projets de recherche nationaux et internationaux, la PMA permet de documenter par des observations in situ les processus nuageux (ex. : microphysique, chimie, électricité...) ou les interactions entre nuages et climat pour une application dans les modèles atmosphériques, et à valider des produits de télédétection (sol, avion, spatiale). Le service est également sollicité pour répondre à des problématiques industrielles (certification, givrage en aéronautique) et par le Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement SAFIRE.

La poursuite de l'étude des processus fondamentaux de l'atmosphère nuageuse ainsi que son environnement depuis les processus de nucléation jusqu'aux précipitations nécessite des efforts sur différents aspects encore peu quantifiés dans le passé. Les questions les plus urgentes concernent :

- la nucléation de la glace (primaire/secondaire, nuages convectifs et aussi en Arctique),
- la discrimination eau/glace à l'échelle de la particule et à l'échelle de mesure intégrée (bulk) et processus en nuage mixte,
- le travail conséquent sur la reconnaissance de forme de cristaux pour quantifier les contributions des 3 modes de croissance à la production de la phase glace,
- la poursuite des travaux liés à la validation de produits de télédétection et à la préparation de missions futures,
- l'aide aux paramétrisations améliorées de modèles microphysiques et climatiques afin de quantifier l'impact réel des nuages sur le bilan radiatif,
- les prévisions des phénomènes météorologiques dangereux (éclaircs, fortes précipitations) et l'amélioration de la sécurité et de l'efficacité du transport aérien par la caractérisation des conditions givrantes en aéronautique.

Le périmètre du service évoluera par l'amélioration et l'émergence de nouvelles technologies instrumentales dans le but d'avancer nos connaissances des propriétés et processus des nuages.

L'équipe de la PMA souhaite travailler en étroite collaboration avec SAFIRE (Falcon 20 et ATR42) en termes de certification, installation et mise en œuvre des instruments et elle participe à la formation des personnels de l'unité SAFIRE pour la maîtrise des mesures microphysiques de base (sondes CDP-2 et imageur CIP) au niveau de la maintenance, des techniques de calibration et du traitement de niveau 1 des données. De plus la plateforme d'étalonnage pour sondes optoélectroniques conçue dans le cadre de la PMA est mise à disposition des autres laboratoires, et notamment SAFIRE, qui ne dispose d'aucun moyen de calibrage de leurs sondes optoélectroniques (CIP, FSSP-300, CDP, FSSP-100, PCASP, UHSAS).

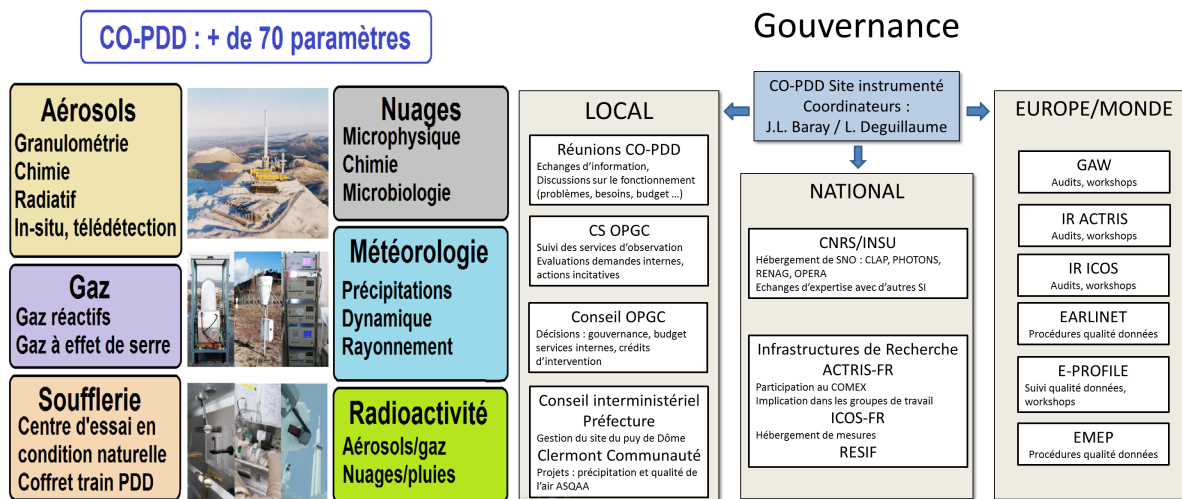
Site national instrumenté : CO-PDD

Le site instrumenté propose des séries d'observations de paramètres atmosphériques in situ et par télédétection lidar et radar pouvant être utiles et utilisées pour la validation satellitaire. Par exemple, la synergie lidar/photomètre/in situ permet une caractérisation optique fine des aérosols sur le site (Chauvigné et al., 2016). Il est d'ailleurs prévu une extension vers le spatial pour faire du site un point de validation de EARTH-CARE, grâce au projet COPLid (lidar multi-longueurs d'onde) financé par l'Appel d'offre mi-lourd du CNRS-INSU et dans le cadre d'un CDD IR financé par le CNES (projet EECLAT) qui a débuté en mai 2019.

Les mesures par radiosondage AIRCORE pour la mesure des gaz à effet de serre, dont un premier vol test a été effectué en collaboration avec le LMD (C. Crevoisier, F. Danis) à Clermont Ferrand en novembre 2018, fournissent un autre exemple du caractère stratégique pour le spatial du site, notamment avec sa participation à la campagne MAGIC de juin 2019 pour la validation de missions spatiales mesurant les gaz à effet de serre telles que Microcarb, Merlin et IASI NG.

Au niveau européen, la station du puy de Dôme a vocation à devenir une station importante ("national facility") de l'IR européenne ACTRIS, parmi d'autres sites français : Maïdo, SIRTa, OHP, et P2OA. Le site a démontré sa capacité d'accueil d'instruments supplémentaires au niveau international au cours de campagnes d'intercomparaison d'instruments dans le cadre du TNA ACTRIS2, lors de la campagne d'intercomparaison de sondes de microphysique du nuage qui s'est déroulée au puy de Dôme en mai 2013, en 2016 (ACTRIS2 WP3-Task 2.2) ou plus récemment au cours de la campagne PICNIC (Puy de dôme Ice Nucleation Intercomparison Campaign) en octobre 2018. L'importance du SI dans l'IR européenne ICOS est soutenue par le coordinateur ICOS-FR.

Le diagramme ci-dessous résume les paramètres mesurés et l'organigramme de gouvernance du CO-PDD et le positionnent dans son environnement national et international.



L'acquisition récente d'un outil en ligne de mesure des composés organiques volatiles par PTR-TOF-MS va permettre de suivre la composante organique atmosphérique de façon continue pour les gaz et lors de campagnes de mesures pour les aérosols et les gouttelettes de nuage. Cet instrument de spectrométrie de masse haute résolution, à l'aide de différents inlets, permettra de faire le lien entre les compartiments atmosphériques (gaz, eau, particules) à travers la composante organique qui demeure à ce jour la plus méconnue. Les mesures sont complémentaires également avec les mesures actuelles du SI. La mise en œuvre, la maintenance et le traitement des données de cet instrument nécessiteront l'acquisition d'un soutien technique et d'une expertise en spectrométrie de masse.

Les activités autour des mesures des gaz traces réactifs PUYGAZ sont également portées en interne par l'OPGC. Aux niveaux national et international, les mesures s'effectuent sur plusieurs sites dans les cadres d'ACTRIS-FR (GT6) et d'ACTRIS2 (WP3) en suivant les procédures standard d'opération (SOP) qui sont en cours de finalisation. Ces activités ont pour objectif de se structurer autour d'un SNO au niveau national.

Deux scientifiques, Jacques Fournet Fayard, physicien adjoint et Yves Pointin, chargé de recherche CNRS, spécialistes en mesure, traitement et analyse de données radar, sont partis en retraite respectivement en 2012 et

2014. Il n'ont pas été remplacés, et le départ de Joël Van Baelen prévu en septembre 2019 engendrera une perte d'expertise supplémentaire importante pour l'activité scientifique menée autour des mesures radar du site instrumenté qui comporte plusieurs radars de type profileur VHF, UHF, radar en bande X pour les précipitations, micro-rain radar en bande K et radar nuage en bande Ka.

Enfin, un autre besoin en base de données et calcul scientifique est également exprimé, qui permettrait d'améliorer le traitement statistique des données, de développer des outils de modélisation pour l'interprétation des mesures, et faciliter les échanges avec le pôle de données AERIS.

Services nationaux d'observation

Service national d'observation en volcanologie : SNOV-OPGC

L'OPGC contribue de manière significative au SNOV national au travers de 5 services d'observation historiques (Oi2, HOTVOLC, GAZVOLC, DYNVOLC et VOLDORAD). Un travail de structuration a été mené par l'équipe de l'Observatoire sur la base du cadre défini par le CNRS-INSU : Service National d'Observation, Site national Instrumenté, Instrument National ou encore codes communautaires. L'objectif est de contribuer de manière constructive au SNOV, en définissant clairement les contributions de l'OPGC en termes de données produites, structuration/collaboration des équipes et interfaces avec le pôle de données FORM@TER pour une visibilité accrue et une implication croissante dans les infrastructures de recherche européenne (EPOS et EUROVOLC). Le SNOV est actuellement piloté par P. Bachelery de l'OPGC et J.-C. Komorowski de l'IPGP. Le SNOV regroupe des équipes de l'OPGC et de l'IPGP qui contribuent à la production et l'analyse de données scientifiques associées aux volcans français au travers des 3 observatoires volcanologiques et sismologiques (Piton de la Fournaise à La Réunion, Soufrière à la Guadeloupe et Montagne Pelée à la Martinique) et à l'échelle globale sur la base de données satellite. Les observatoires volcanologiques et sismologiques français ont en plus des missions de surveillance de ces volcans français. Au sens du CNRS-INSU ils correspondent en partie à des sites nationaux instrumentés. L'implication des personnels de l'OPGC lors de missions courte et longue durée sur ces sites est une plus value certaine et doit être facilitée. Actuellement pour des missions de longue durée nous sommes contraints de mettre en place des mutations vers l'IPG, ce qui n'est pas optimal.

Concernant les observables l'OPGC souhaite que l'exercice d'identification des compétences/productions de données et de structuration soit valorisé au travers du site web CNRS-INSU relatif à la gestion des services d'observation. Ce travail est conséquent et nous apparaît nécessaire en raison des besoins identifiés pour la surveillance des volcans français et des enjeux internationaux associés aux infrastructures européennes de recherche. De plus valoriser et afficher les compétences permettra de faciliter "la mise en place d'un groupe d'urgentistes des risques telluriques à mobiliser en cas de catastrophe", qui a été récemment suggéré par E. Humler DAS Terre solide du CNRS-INSU. La crise de Mayotte montre le besoin de répertorier, d'impliquer et de mobiliser les personnels et compétences au-delà des observatoires volcanologiques et du BRGM. Ces crises volcanologiques nécessitent l'implication systématique des universitaires et chercheurs et ITA/BIATSS en volcanologie. En effet au delà du service à l'état en raison de leurs compétences, leur implication permet une plus value scientifique certaine. Les enjeux et besoins sont tels en volcanologie sismologie vis-à-vis des volcans actifs (observation, surveillance, service à l'état) avec une déclinaison européenne au travers des IR EPOS et EUROVOLC que l'OPGC souhaite pouvoir contribuer à une réflexion large à l'échelle nationale pour la mise en place d'une infrastructure de Recherche dédiée au volcan actifs s'appuyant sur les nombreux organismes concernés (IPG, CNRS, Université, BRGM, météoFrance...).

Les cibles prioritaires de la contribution de l'OPGC au SNOV concernent d'une part (i) les cibles volcaniques Françaises (Piton de la Fournaise, Soufrière de Guadeloupe et Montagne Pelée), (ii) d'autre part des travaux sont également effectués sur d'autres cibles prioritaires dont les produits éruptifs (ex. cendres et gaz) peuvent impacter les territoires/espace aérien français et européen comme les volcans Islandais (ex. Eyjafjallajökull, Bardarbunga), Italiens (Etna) ou des Antilles anglophones (Soufrière Hills).

Les travaux de l'OPGC se déclinent à l'échelle nationale grâce à des collaborations fortes avec les équipes de l'IPGP et les OVS (OVPF,OVSG), le LATMOS, le LaMP, le LMV, le PRODIG, MétéoFrance, l'OVSQ et également la protection civile italienne, l'Université de Florence, ou le CENAPRED au Mexique.

Les activités d'observation en Volcanologie de l'OPGC comprennent des activités stratégiques pour le spatial. Notamment, le service HOTVOLC (télé-détection IR thermique) qui fonctionne principalement à partir des données Meteosat (CNES-ESA) et utilisant les données du programme Sentinel-2/5 (CNES-ESA) pour les activités de CAL/VAL sur les produits de données volcanologiques à haute valeur ajoutée (ex. débits laviques, etc.).

Notre expertise en télé-détection spatiale nous conduit aussi à participer au phase 0/A de développement de futures missions (ex. Trishna – CNES/ISRO). Les activités d'observations en interférométrie radar (système OI²) sont basées, notamment, sur l'utilisation des données Sentinel-1 (CNES-ESA).

Le CNES soutient également les développements techniques et méthodologiques des activités de CAL/VAL des données satellites par les mesures géophysiques aéroportées dédiées à l'observation des émissions volcaniques au moyens de vecteurs aéroportés légers (drones) qui est un axe de développement mutualisé au niveau de l'OPGC.

Les paramètres mesurés par les différents services sont relatifs à des données en continu sur le long terme (Oi2, HOTVOLC, GAZVOLC-UV/IR, ThermaVolc et STEROVOLC) et des données associées aux crises volcanologiques (DYNVOLC, GAZVOLC-Chem).

| | Nom | Type | Paramètres mesurés | Période | Fréquence | Distribution |
|---------------|---|-----------------------------|---|--|---|--|
| IN-SITU | Rock analysis (DYNVOLC) | SNOV ANO-1 | -Taille/type de particules -Texture micro/macro - Majeurs + traces | Fournaise 1998-ongoing | During crisis | OV-OPGC open-access |
| | Chemical analysis (GAZVOLC) | SNOV ANO-1 | Gaz and solid chemistry | 2014-ongoing | During crisis | OV-OPGC Open-access |
| TELEDETECTION | Space-based radar interferometry (OI ²) | SNOV ANO-1 | Wrapped differential interferograms Insar lava flow maps | Continuous 2003-ongoing | 1/week | CASOAR Open-access |
| | Space-based InfraRed (HOTVOLC) | SNOV ANO-1 | Volcanic plume ash and SO2 Thermal anomaly of lava flows | Continuous 2010-ongoing | Real-time (15 min) | HOTVOLC Open-access |
| | Ground-based UV/IR (GAZVOLC) | SNOV ANO-1 | DOAS measurements (SO2) + Multi-GAS (CO2, SO2, H2S) | Continuous 2014-ongoing | Continuous < 1 s | OV-OPGC Open-access |
| | Ground-based IR (ThermaVOLC) | SNOV ANO-1 | Broad-band Thermal-IR + in-situ thermal measurements (heat flux) | 2017-ongoing + continuous 2018-ongoing | 1/month < 1 s | Volobsis + OV-OPGC |
| | Ground-based VIS/IR (STEREVOLC) | SI-VELI ANO-6 | IR Stereo measurements (heat flux + morphology) VIS Stereo measurements (heat flux + morphology) | 2013-ongoing | Real-time (3 min) Real-time (10 min) | OV-OPGC open access + Merapi Obs. |

L'OPGC contribue également aux observations volcanologiques grâce à des instrumentations spécifiques. L'instrumentation VOLDORAD constituée de 4 radars doppler est une instrumentation unique en France. Elle rayonne au niveau international pour le suivi du volcan ETNA par exemple. L'OPGC souhaite positionner ces instrumentations à l'échelle nationale et préparer un dossier de labellisation CNRS-INSU : instrument national d'excellence.

L'OPGC développe également des instrumentations pour l'acquisition de données in situ par drones (photogrammétrie, échantillonnage physico-chimique des panaches). Cette compétence a été reconnue au niveau national via le recrutement en 2019 d'un physicien adjoint sur ce thème "géophysique aéroportée". L'objectif de l'OPGC est de développer les instrumentations sur ce type de vecteur et ainsi sa capacité de mesures par drone pour le suivi et la surveillance des volcans. A l'échelle nationale la structuration du volet drone pour la volcanologie doit être mise en œuvre. Le vecteur drone offre une capacité de mesure au plus près des émissions et sa facilité de déploiement est d'une plus value certaine pour le suivi en cas de crise.


| | Nom | Type | Paramètres mesurés | Période | Fréquence | Distribution |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|---|--------------------|---|
| Teledetection | Ground-based radars (4 VOLDORAD) | IN-SNOV ANO-1 | L0: Reflectivity and velocity L1: MER, TEM, duration | <u>Popocatepetl</u> 2013-ongoing <u>Campaigns</u> ≥1998 | Real-time < 1 s | OV-OPGC Open-access + INGV-OE + CENAPRED |
| | | | L0: echo power, radial velocity, Doppler spectra L1: MER, TEM, duration | <u>Etna</u> L0 2009-ong L1: 2019-ong | Real-time < 1 s | |
| UAV | Airborne geophysics (VOLCADR ONE) | IN-SNOV ANO-1 | VIS/IR measurements (high resolution DEM) | - | - | - |
| | | | Gravi/Mag shallow volcanic structures | - | - | - |
| | | | Plume ash and gas measurements | - | - | - |

Enfin l'OPGC possède une expertise dans la modélisation numérique des processus volcaniques. Les simulations de ce type sont pertinentes pour l'interprétation des mesures. Les données générées sont des données de niveau 3 (au sens du CNES). L'OPGC souhaite valoriser cette compétence et deux codes numériques sont en cours de mise à

disposition à la communauté scientifique au travers de l'Observatoire Virtuel de l'OPGC : (i) DEFVOLC, centré sur la modélisation des déformations associées à la mise en place des intrusions (dykes, etc.) et (ii) VOLCFLOW dédié à la modélisation des écoulements (PF, Lahars, tsunami, coulées de lave). Cet axe de développement entre dans une stratégie plus générale de l'OPGC (cf. Observatoire virtuel) . Ces codes numériques "en free access" font partie intégrante du service aux utilisateurs de l'Infrastructure de Recherche EPOS et contribuent ainsi à la valorisation des produits de la recherche.

| | | | |
|-----------|---------------------------------|----------|---|
| MODELLING | Modelling deformation (DEFVOLC) | CN ANO-1 | Cartes de déplacements : géométrie, localisation, contraintes cisailantes, pression |
| | Modelling flows (VOLCFLOW) | CN ANO-1 | Cartes de simulations : Pyroclastic flow, tsunami, lava flow |

La structure de pilotage locale (cf. image ci-dessous) impliquant l'ensemble des acteurs de ces différents volets (télédétection, in situ, UAV et modélisation) est en cours de mise en place. Il est prévu une gouvernance avec au moins 3 réunions annuelles qui définiront la stratégie en termes de RH, besoins financiers, stratégie scientifique, lien avec les pôles nationaux de données et implication dans les infrastructures européennes de recherche EPOS et EUROVOLC.



SERVICES D'OBSERVATIONS

OPGC (CNRS/INSU)

Coordinateur :
M. Gouhier

Service admin.
P. Beyrie, V. Guesneau

Service Technique
A. Faissal, C. Bernard
C. Vallat, C. Mendes

BDD/Calcul Scientifique
P. Cacault, Y. Guéhenneux,
E. Delage

| TELEDETECTION | IN-SITU | UAV | MODELISATION |
|--|---|--|--|
| <p>OI² Interferometrie JL. Froger* Y. Guéhenneux A. Hrysiwicz</p> <p>HOTVOLC InfraRouge M. Gouhier* P. Labazuy Y. Guéhenneux P. Cacault</p> | <p>VOLDORAD Radar Doppler F. Donnadieu* Y. Guéhenneux C. Hervier F. Peyrin P. Fréville T. Latchimy</p> <p>STEREOVOLC VIS/IR-Stereo K. Kelfoun* M. Bontemps T. Latchimy</p> <p>ThermaVolc IR D.Jessop* A.Harris Y. Guéhenneux M. Bontemps</p> | <p>DYNVOLC Rock analysis L. Gurioli* I. Vlastelic P. Bachèlery O.Chevrel/A.Harris Y. Guéhenneux + support pôle technique (LMV)</p> <p>GAZVOLC Chemical analysis S. Moune* Y. Guéhenneux</p> | <p>VOLCADRONE VIS/IR P. Labazuy* E. Régis D. Jessop/T. Souriot M. Bontemps Gravi/Mag L. Gailler* P. Labazuy E. Régis In-situ P. Labazuy* S. Moune</p> |
| <p>SNOV ANO - 1 IR-EPOS METEO-FRANCE Form@ter / Theia</p> | <p>SNOV ANO - 1 Instrument / ANO - 1 IR-EPOS</p> | <p>VELI SI ANO - 6</p> | <p>SNOV ANO - 1 IR-EPOS</p> |
| | | | <p>SNOV ANO - 1 Instrument / ANO - 1</p> |
| | | | <p>Code numérique ANO - 1 + OI² ANO - 6 Form@ter</p> |

L'OPGC poursuivra son implication pour la labellisation des tâches de service dans lesquelles sont engagés les personnels CNAP. Cela concerne tout particulièrement le SNOV. D'ores et déjà, les travaux entrepris par les personnels CNAP de l'OPGC sont clairement dédiés à l'observation des volcans français et au suivi de leurs éruptions dans le futur.

Concernant les bases de données, une politique de constitution et de gestion de bases de données ouvertes à la communauté scientifique est en cours dans le cadre du SNOV avec en lien avec EPOS également la création d'un site internet SNOV. Pour les données SNOV-OPGC elles sont accessible via le portail de données unique pour l'OPGC (observatoire virtuel). La formalisation des liens avec FORM@TER est en cours. Les développements prévus dans le cadre de EPOS et EUROVOLC sont une priorité.

L'implication croissante des équipes de l'OPGC aux infrastructures européennes EPOS et EUROVOLC nécessite le recrutement d'un Ingénieur d'étude IGE BAP-E : calcul Scientifique-base de données, demandé de manière récurrente.

Ce poste est nécessaire pour l'OPGC et est associé en particulier aux données satellite INSar du service d'observation OI². Il s'agit de produire la chaîne opérationnelle de traitement des données satellite pour une production de données de niveau 2 interoperables avec les centres de données comme FORM@Terre. Ce service est actuellement entièrement pris en charge par J.-L. Froger MCF de l'UCA. Ce poste sera mutualisé également avec la partie observation atmosphérique de l'OPGC en lien avec l'infrastructure de recherche européenne HEMERA en sciences de l'atmosphère.

STEREOVOLC : Contribution au site national instrumenté VELI

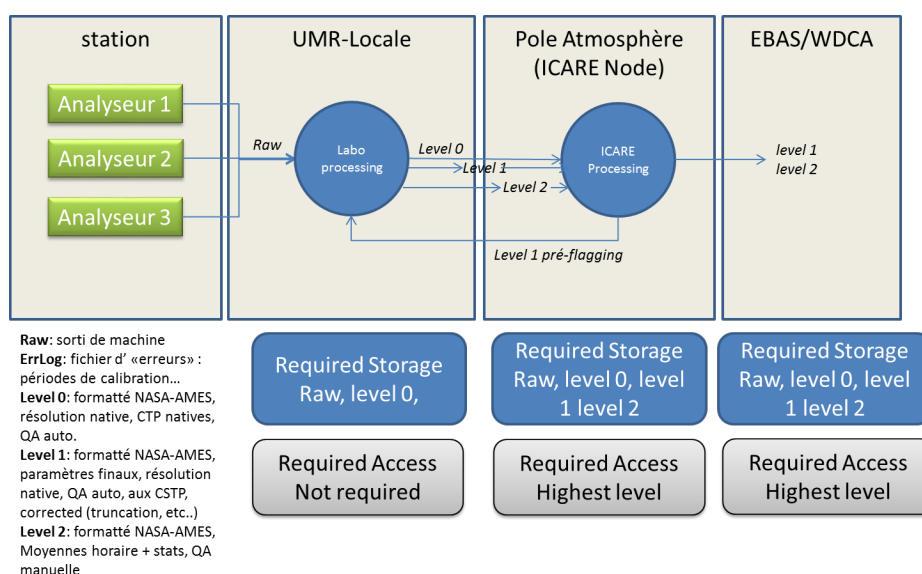
Les activités d'observation en Volcanologie qui sont réalisées à l'OPGC couvrent un spectre plus large que le seul SNOV. Soutenu initialement par l'OPGC le cas du système d'observation STEREOVOLC qui réalise des mesures VIS/IR stéréo pour le suivi temps-réel du dôme du Mérapî (Indonésie) est désormais intégré au site instrumenté VELI (Volcans Explosifs – Laboratoires Indonésiens) de l'ANO-6 (TS).

| Nom | Type | Paramètres mesurés | Période | Fréquence | Distribution |
|----------------------------------|---------------|--|--------------|-------------------|-----------------------------------|
| Ground-based VIS/IR (STEREOVOLC) | SI-VELI ANO-6 | IR Stereo measurements (heat flux + morphology) | 2013-ongoing | Real-time (3 min) | OV-OPGC Open access + Merapi Obs. |
| | | VIS Stereo measurements (heat flux + morphology) | | Real-time(10 min) | |

CLAP : Service National d'Observation

L'objectif de CLAP est le suivi de paramètres climatiques essentiels (essential climate variables – ECV-) liés à l'aérosol atmosphérique et définis comme tels par GCOS (Global Climate Observing System) et GAW (Global Atmosphere Watch), à partir de sites d'observation. Ces mesures doivent permettre d'évaluer, dans un contexte de changement climatique (1) l'évolution long terme de certaines sources importantes de l'aérosol, (2) l'évolution long terme de la charge en aérosol pour différentes classes de taille et pour différentes espèces chimiques, et (3) les rétroactions éventuelles de l'aérosol vers le climat à travers ses propriétés optiques et de noyau de condensation nuageuse (CCN).

Le SO CLAP bénéficie d'une longue expérience pour la définition des formats de données/métadonnées et des mécanismes de leur diffusion élaboré pour EUSAAR/ACTRIS et pour le SOERE ORAURE, puis l'IR ATMOS et enfin l'IR ACTRIS. La figure ci-dessous résume le flux de données, depuis la mesure jusqu'à leur diffusion.



Il existe un besoin croissant de validation des paramètres aérosols mesurés en télédétection sol et spatiale, pour s'assurer de leur qualité, et compte-tenu de la mise à disposition de plus en plus de nouveaux produits élaborés issus d'algorithmes de restitution complexes basés sur de nombreuses hypothèses et approximations. La mise en place d'un suivi continu de paramètres aérosols répond à une demande très clairement exprimée dans le cadre de la mise en place des services atmosphériques et climatiques de Copernicus et de la stratégie IGACO du réseau GAW.

Le SNO CLAP regroupe donc à l'heure actuelle 5 sites d'altitude variant de 1465 m à 5240 m (asl), et deux sites de plaine, situés sur 4 continents différents.

Dans le cadre de la nouvelle vague de labellisation/demandes de re-labellisation actuelle, plusieurs sites ont envisagé d'intégrer le périmètre CLAP : le site de l'OHP ainsi que le site d'AMS dont les dossiers "Sites Instrumentés" ont été soumis à la CSOA du CNRS-INSU. Ces deux sites ne sont pas encore équipés de l'instrumentation nécessaire au suivi des paramètres CLAP et ne répondent donc pas aux critères d'éligibilité énoncés plus haut.

Toutefois, ces sites ont chacun un intérêt géographique spécifique d'une source d'aérosol en particulier.

- ✓ Le site de l'OHP a une longue expérience d'études de sources d'espèces atmosphériques biogéniques issus de la végétation typique du climat méditerranéen.
- ✓ Le site d'AMS est un site d'exception pour l'étude des aérosols marins produits dans l'hémisphère Sud. L'étude de l'aérosol marin dans cette partie du globe est primordiale dans l'évaluation du rôle de la biosphère marine sur le climat, et des rétroactions qui pourraient en découler (hypothèse CLAW).

Le SNO CLAP ne bénéficie pas de personnel CNAP pour assurer des services de bonne qualité à la communauté, en particulier au niveau de la stratégie de communication et la formation des personnels au sein de CLAP, et surtout au niveau de la possibilité de fournir un service de contrôle qualité de mesures qui seront effectuées par des acteurs extérieurs au SNO actuellement (campagnes ponctuelles, moyens mobiles, etc.). La direction du SNO, prise en charge par une DR CNRS, est une solution provisoire compte tenu de la charge de travail qu'elle assume par ailleurs. Des candidats, avec de très bons dossiers ont été présentés chaque année auprès de la CNAP SCOA, sans succès à ce jour auprès de la commission.

Auverwatch : Service National labellisé H+

Le système d'observation AUVERWATCH s'attache à caractériser l'évolution de la qualité des masses d'eaux en Auvergne (hydrosystèmes volcanique, sableux, alluvial, cristallin, thermo-minéral) face aux changements globaux (<http://www.obs.univ-bpclermont.fr/SO/auverwatch/index.php>). Le projet est développé autour de 3 objectifs scientifiques : 1) un suivi à long terme destiné à contrôler l'évolution de la qualité et de la quantité de la ressource en eau en liaison avec les changements globaux ; 2) un site expérimental sur la nappe alluviale de l'Allier destiné à la mise en place d'actions collaboratives pour étudier la réactivité du milieu alluvial ; 3) des études ponctuelles sur l'ensemble des sites pour mieux comprendre le fonctionnement et les transferts d'eau et de matière à l'échelle des différents sites. L'ensemble des données est géré par l'OPGC et mis à disposition de la communauté via l'Observatoire virtuel de l'OPGC.

AUVERWATCH est financé par l'OPGC, la Fédération des Recherches en Environnement de l'UCA, Clermont-Communauté, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et L'Oréal Vichy International. Il appartient au SNO H+ et à l'IR OZCAR.

Le projet pour le prochain quadriennal s'oriente selon deux axes : 1) une meilleure définition de la géométrie de l'aquifère ; 2) une approche de la réactivité du milieu alluvial.

Plusieurs campagnes de géophysiques permettront de définir la géométrie du substratum de l'aquifère alluvial et son recoupement par des anciens chenaux de l'Allier, qui ont un rôle majeur dans les circulations d'eau et donc le transport des contaminants. Par ailleurs, un couplage entre les concentrations en pharmaceutiques et les mesures distribuées de température par fibre optique (FO DTS) permettra de mieux comprendre comment se distribuent les circulations d'eau. Ces circulations seront interprétées à partir de mesures des concentrations en pharmaceutiques en terme de processus de transport (diffusion, dégradation, adsorption).

III.2 Infrastructures de recherche

RSA Contribution à l'IR RESIF

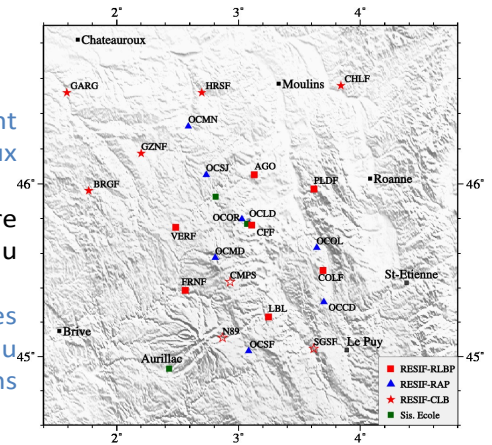
Le Réseau Sismologique d'Auvergne (RSA) de l'OPGC a comme principal objectif d'observer la sismicité de l'Auvergne et de ses alentours. Ce réseau fait partie de l'instrument national RESIF (Réseau Sismologique et Géodésique Français) dont l'objectif est au niveau national de permettre à des disciplines comme la sismologie, la géodésie, la gravimétrie, d'acquérir de nouvelles données de qualité et ainsi de progresser dans notre compréhension de la dynamique de notre planète. RESIF dispose sur l'ensemble du territoire français d'instruments permettant de mesurer l'activité du sol. RESIF s'intègre aux dispositifs européens et mondiaux d'instruments permettant d'imager l'intérieur de la Terre. Le RSA représente cette structure au niveau local.

Le RSA comprend en 2019 un total de 18 stations permanentes opérationnelles déployées en Auvergne et dans ses alentours. La majeure partie de ces stations fait partie du réseau national RESIF. Il s'agit de 7 stations vélocimétriques large bande de l'action spécifique RESIF-RLBP (Réseau Large Bande Permanent) et de 8 stations accélérométriques de l'action spécifique RESIF-RAP (Réseau Accélérométrie Permanent).

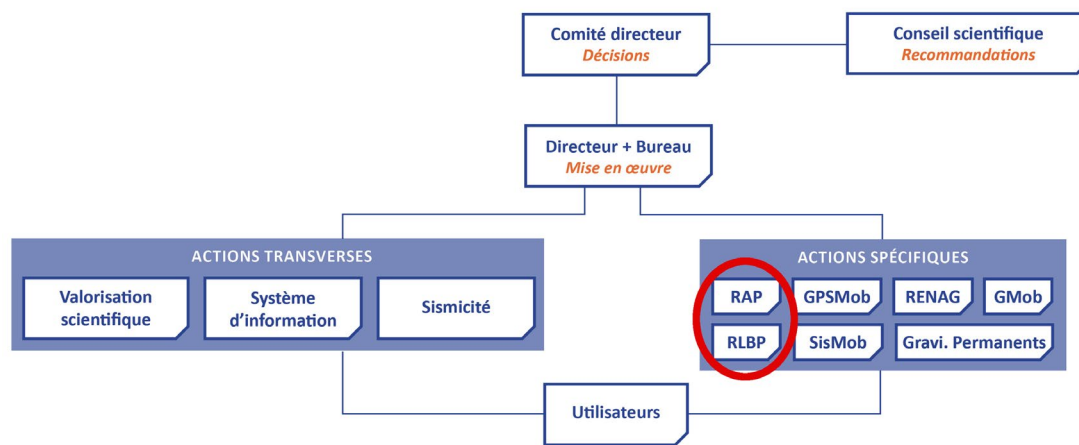
5 stations supplémentaires RESIF-RLBP sont en cours de construction. Les 8 stations RESIF-RLBP déjà opérationnelles ont été rénovées durant ces dernières années dans le cadre de l'Equipex RESIF-CORE pour être aux standards internationaux.

Les données sont transmises par ADSL au portail RESIF afin d'y être stockées et diffusées. A ces stations s'ajoutent 3 stations du réseau éducatif « sismo à l'école ».

L'OPGC dispose également d'un réseau de sept sismomètres portables large-bande pouvant être installés rapidement pour densifier le réseau permanent ou effectuer des déploiements temporaires sur des volcans actifs.



Dans l'organigramme de RESIF (présenté ci-dessous) le RSA intervient dans les actions spécifiques RAP et RLBP. Depuis 2013, l'Université Clermont Auvergne est membre du consortium RESIF, et l'OPGC participe à l'EquipEx RESIF-CORE.



Contribution à l'IR REGEF

L'IR REGEF concerne la structuration de la communauté nationale vis-à-vis de l'utilisation et la mise en œuvre des outils basés sur la géochimie et la pétrologie/minéralogie. Les problématiques scientifiques et la communauté dans son ensemble s'en sont emparées pour décrire, observer et quantifier les systèmes géologiques et environnementaux. Les missions de RéGef sont de : (i) maintenir l'innovation et le développement technologique au plus haut niveau, tout en (ii) organisant l'accès aux instruments et la production de données pour la communauté scientifique. Elle est au cœur du transfert entre (i) les phases de développement et d'innovation des traceurs et méthodologies pour mettre en évidence de nouveaux processus, (ii) leur utilisation par la communauté pour documenter les systèmes géologiques et environnementaux, et (iii) leur archivage dans un effort de pérennisation et d'optimisation de l'information scientifique.

Le projet RéGef est construit sur un modèle d'Infrastructure de Recherche dite "distribuée".

La contribution (soumise en novembre 2018) du LMV/OPGC à RéGef concerne trois plateformes : la Microscopie et micro-analyse électronique (déjà déposée sur le cloud OTELO), la Spectrométrie TIMS & ICPMS (en cours de dépôt sur la plateforme OTELO) et la Pétrologie expérimentale et minéralogie (déposé en 2019 sur la plateforme OTELO).

Plateforme Microscopie et Micro-analyse électronique

LMV_MEB et microsonde électronique regroupe les moyens analytiques : Microsonde électronique CAMECA SX100/microsonde CAMECA SX Five Tactis (à partir de mai 2019), Evaporateur carbone Denton Vacuum Desk V, Onduleur Liebhert GTX3, Refroidisseur à circulation TF25, Microscope électronique à balayage JEOL 5910 LV (+ EDS), Détecteur MEB cathodoluminescence, Système de spectrométrie X à dispersion d'énergie sur MEB (jouvence), Diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD) sur MEB JEOL.

Plateforme 2 Géochimie, Spectrométrie TIMS & ICPMS

TIMS – TRITON, ICP-MS AGILENT 7500 CS, Système Ablation Laser Resonetics M-50^E, HR-ICP-MS ELEMENT II, MC-ICP-MS NEPTUNE-PLUS, ICP-AES Jobin Yvon, TIMS - TRITON-PLUS, Salle blanche de chimie, Spectromètre γ (ITECH), Spectromètre α (ORTEC), Compteur α/β .

Plateforme Pétrologie expérimentale et minéralogie est relative à l'Instrument National Presse Multi-Enclume. Presse multi-enclumes (1500 tonnes), Piston-cylindre 4 GPa (Voggenreiter), Piston-cylindre 3 GPa, Pistons-cylindres sans contre-pression 1.6 GPa (x 2), Autoclave à chauffage interne (Nova Swiss), Autoclaves à chauffage externe, Fours à atmosphère contrôlée, Expérimentation Microthermométrie, Cellule diamant à chauffage laser, Tour numérique, Fraiseuse numérique, Spectromètre FTIR, Spectromètre Raman.

Contribution aux IR européennes EPOS et EUROVOLC

Les équipes de l'OPGC sont fortement impliquées dans EPOS (Work Package 11 «Volcano Observations») et EUROVOLC (Networking WP4 / volcan-atmosphère et WP24). L'OPGC soutiendra ces actions pour la mise en place de services interopérables et offrir un accès continu aux données et procédure de qualification des données. Les travaux effectués sont en lien étroit avec le service base de données et Calcul scientifique identifié en 2018 de l'OPGC au travers de l'Observatoire virtuel. Dès 2020 le projet EUROVOLC 2 sera en cours d'écriture, les équipes de l'OPGC déjà leader du WP4 / volcan-atmosphère, renforceront leur contribution.

Contribution à l'IR européenne HEMERA

Depuis Janvier 2018, l'OPGC pilote l'ensemble de la contribution française CNRS-Université au projet HEMERA : infrastructure européenne de recherche basée sur le vecteur Ballon pour l'astronomie-atmosphérique et l'atmosphère.

Ce projet est en cours de réalisation avec en particulier la contribution du service base de données et calcul scientifique de l'OPGC au développement de services/ outils de visualisation des données ballon dédiés aux utilisateurs de l'infrastructure en lien avec le pôle de données AERIS.

Dès 2020 HEMERA-2 sera en cours de rédaction afin d'être soumis dans le cadre des appels d'offre H2020 en tant que « Advanced community ». L'OPGC soutiendra ce projet et contribuera à son élaboration aux côtés des agences spatiales européennes et des scientifiques européens.

III.3 Actions d'observations spécifiques de l'OPGC

L'OPGC soutient en interne des services et actions en lien avec les observations à long terme. L'observatoire se positionne comme un réacteur de nouveaux observables et de nouveaux outils mis à disposition de la communauté scientifique.

L'OPGC soutient en interne des services d'observation, qui ont pour vocation d'intégrer les réseaux d'observations nationaux et internationaux. L'objectif est à la fois pour ces services de contribuer à la structuration nationale comme le service PUYGAZ (dédié aux mesures des gaz réactifs) et également de développer et exporter des savoir-faire spécifiques des équipes locales comme le service PUYCLOUD.

Une des voies de développement qui est prévue également est relative aux codes numériques et outil de simulation pour l'interprétation des mesures. Ceci concerne à la fois les équipes des sciences de la terre et celles de l'atmosphère avec, au travers de l'Observatoire Virtuel, la mise à disposition de 3 codes numériques.

De plus dans le cadre des instrumentations la plateforme drones de l'OPGC associée à du développement instrumental est amenée à se développer.

| SO OPGC | OA | PUYCLOUD | Action OPGC |
|------------|-------|-------------------|--|
| SO OPGC | OA | PUYGAZ | Action OPGC et ACTRIS-FR (GT6) ACTRIS2 (WP3) |
| CN | TS | VOLCFLOW | Action OPGC et EPOS |
| CN | TS | DEF VOLC | Action OPGC et EPOS |
| CN | OA | CAT | Action OPGC |
| CN | OA | CHIMREAC | Action OPGC |
| plateforme | OA-TS | Plateforme drones | Action OPGC |

III.3.a Services d'observations de l'OPGC

PUYGAZ

Les gaz traces réactifs comprennent des espèces jouant un rôle clé dans la chimie atmosphérique. Il s'agit principalement des oxydes d'azote (NOx) ou des composés organiques volatils (COV). Ces espèces sont, soit directement émises par des sources naturelles ou anthropiques, soit issues de processus photochimiques. Ces espèces gazeuses conduisent à la formation de polluants secondaires comme l'ozone ou les aérosols organiques secondaires qui ont des impacts directs sur la santé, le climat et les écosystèmes.

Par conséquent, le suivi à long terme de ces composés dans les observatoires de recherche est primordial pour l'analyse des tendances en lien avec l'évolution des politiques de réduction des émissions polluantes, pour la compréhension des processus atmosphériques dans un contexte de changement climatique, pour la contrainte des modèles de prévision et l'évaluation des impacts.

Les NOx font partie des variables atmosphériques visées par ACTRIS dans ses objectifs de standardisation des protocoles d'assurance et de contrôle qualité des mesures opérées dans les stations européennes. La mesure sélective de 6 COV et des NOx sont parmi les attentes minimum définies pour un site ACTRIS-IR pour l'observation des gaz traces réactifs in situ.

Les activités autour des mesures des gaz trace réactifs PUYGAZ sont également portées en interne par l'OPGC. Au niveau international, le CO-PDD (PUYGAZ) est dans ACTRIS 2 WP3 en tant que site gaz réactif, en suivant les procédures standards d'opération (SOP) en train d'être finalisées. Au niveau national, les mesures s'effectuent sur plusieurs sites et mettent en œuvre différents outils de mesures dont les protocoles sont en cours de standardisation dans le cadre du GT6 d'ACTRIS France.

Positionnement actuel et prévu : les activités ont pour objectif de se structurer autour d'un potentiel futur SNO au niveau national qui doit se discuter stratégiquement au sein d'ACTRIS-France.

PUYCLOUD

L'objectif du SO PUYCLOUD est de documenter et quantifier l'impact des modifications environnementales notamment d'origine anthropique :

- sur le transfert et la transformation d'espèces chimiques dans l'eau atmosphérique et ses conséquences sur le climat ;
- sur la composition chimique de la troposphère (gaz et particules d'aérosols) ;
- sur la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes dans l'eau atmosphérique et leur impact sur la chimie troposphérique.

Ces activités fédèrent divers laboratoires impliqués dans l'étude de l'eau pour aborder de façon pluridisciplinaire les problèmes posés. Notamment, ces activités se déroulent en collaboration principalement avec l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF) et à moindre mesure avec le Laboratoire Microorganismes : Génome et Environnement (LMGE) de l'Université Clermont Auvergne. Elles s'inscrivent dans le cadre de projets portés notamment par la Fédération des Recherches en Environnement (FR 3467).

Un accord de collaboration entre les différents partenaires du site doit être mis en place pour sécuriser les financements de fonctionnement du service sur le long terme, ces travaux doivent passer du mode projet scientifique au mode service d'observation à long terme.

Les activités autour des mesures dans le nuage PUYCLOUD sont portées en interne par l'OPGC et sont également soutenues par le SI CO-PDD. Les études menées au puy de Dôme se sont exportées sur le site du Maïdo sur l'île de la Réunion à travers deux pré-campagnes et un projet ANR qui a commencé en janvier 2019 (projet BIOMAÏDO). Une campagne de mesure est également prévue en octobre 2019 au Mont Cimone qui est un site TNA de ACTRIS. Un nouveau groupe de travail a été identifié au niveau d'ACTRIS Europe concernant la caractérisation in situ des nuages. L'objectif est de fédérer les sites qui font un suivi long-terme de la composition chimique et des propriétés microphysiques des nuages ; les scientifiques du LaMP/OPGC participent activement à la mise en œuvre de ce nouveau réseau.

Les activités ont pour objectif de se structurer autour d'un potentiel futur SNO au niveau national qui doit se discuter stratégiquement au sein d'ACTRIS-France.

III.3.b Codes de calculs numériques en ligne

L'OPGC dispose de codes numériques permettant de mener des analyses scientifiques, et souhaite au cours du prochain quinquennal valoriser au mieux les codes numériques développés.

Ainsi 3 codes numériques vont être mis à disposition de la communauté nationale et internationale via des interfaces Homme/machine faciles d'utilisation via l'Observatoire virtuel.

DEFVOLC

| |
|---|
| Type de service : Code numérique |
| Nom du code numérique : DEFVOLC |
| Adresse URL du site web du service : http://www.opgc.fr/defvolc |

DefVolc est un ensemble de codes permettant la modélisation inverse de déplacements de volcans, que ceux-ci résultent de la déformation de fractures (failles ou intrusions remplies de magma) ou de réservoirs massifs. Defvolc a pour vocation principale d'aider à l'exploitation rapide des déformations InSAR dont le flux connaît une croissance rapide, notamment grâce aux satellites Sentinel-1. Les inversions [Fukushima et al., JGR, 2005] reposent sur la combinaison de modèles de déformation par éléments frontières 3D [Cayol et Cornet, JGR, 1998] et d'algorithmes d'inversions par proches voisins [Sambridge, GJI, 1999a ; JGI, 1999b]. Les géométrie, localisations, contraintes cisailantes et pressions sont déterminées, ainsi que les incertitudes associées. Les données inversées sont des données InSAR, GNSS, dilatométrie ou autre. Une interface permet la préparation rapide et le lancement des inversions même pour des non experts, grâce à l'imbrication implicite des étapes de préparation des calculs et à l'utilisation de règles d'or de mécanique des roches ou d'inversions. Les calculs sont ensuite lancés au choix sur la machine de l'utilisateur ou sur des clusters, tel que ceux de l'Université Clermont-Auvergne pour les participants du projet d'infrastructure Eurovolc.

VOLCFLOW

| |
|---|
| Type de service : Code numérique |
| Nom du code numérique : VOLCFLOW |
| Adresse URL du site web du service : http://lmv.uca.fr/volcflow/ |

Le code VolcFlow a été développé pour la modélisation des écoulements volcaniques. Il a été utilisé pour reproduire les avalanches de débris, les écoulements pyroclastiques et les lahars. Une option thermique permet de simuler la mise en place des coulées de lave. Des options à deux fluides simulent la mise en place de la partie dense et de la partie diluée des écoulements pyroclastiques, le tsunami créé par l'entrée en mer d'une avalanche de débris et l'effet d'une rivière sur le refroidissement des coulées de lave.

Le code est écrit sous Matlab. Sa grande souplesse réside dans les scripts programmables par l'utilisateur lui permettant de choisir les conditions initiales, sources et aux limites voulues ainsi que la rhéologie et la représentation souhaitées. La capacité d'intégrer de nombreuses rhéologies le rend particulièrement performant pour simuler les phénomènes naturels aux rhéologies complexes et non encore comprises.

Hors du domaine de la volcanologie, il a été utilisé pour simuler les glissements de terrain au Groenland et les tsunamis martiens.

CAT tool

| |
|---|
| Type de service : Code numérique |
| Nom du code numérique : Computing Advection-interpolation of atmospheric parameters and Trajectory tool |

CAT tool est un Outil optimisé pour l'advection/interpolation à méso-échelle.

Il correspond à une version optimisée du code LACYTRAJ développé dans les années 2010 au LACY. Les développements consistent à élaborer, à partir de LACYTRAJ V2, un outil de trajectoire/advection/interpolation de traceur atmosphérique pouvant utiliser de nouvelles analyses à haute résolution spatio-temporelle (ECMWF ERA5) ainsi que des matrices de relief à haute résolution spatiale (4 minutes d'angle en latitude et longitude, Bezdek and Sebera, 2013, Figure 4). Cet outil permettra des études de dynamique à plus petite échelle, par exemple autour de reliefs tels que le puy de Dôme ou la Réunion.

Le cœur même du calcul des positions de trajectoires sera donc revu et optimisé pour prendre en compte ces évolutions, et devra donc permettre de lancer des trajectoires avant et arrière à toute heure et non sur les heures d'échéance ERA-Interim (à 0, 6, 12 ou 18 UT) comme c'est le cas avec LACYTRAJ.

Un prototype sera élaboré en MATLAB mais une version optimisée pourra être développée en Python pour de meilleures efficacités de calcul et portabilité vers l'extérieur.

Une interface Homme/Machine sera développée en lien avec le SBC de l'OPGC.

CAT permettra des applications nouvelles ou optimisées comme par exemple :

1. l'étude de l'influence de la dynamique sur les concentrations de gaz à court temps de vie (COV, thèse Manon Rocco),
2. l'étude des processus d'échanges stratosphère-troposphère et couche limite-troposphère libre avec une meilleure résolution spatiotemporelle que LACYTRAJ :

- l'analyse de la correspondance entre un profil vapeur d'eau par sonde advectée par le vent avec le profil de vapeur d'eau par lidar à la verticale du système de mesure, le but étant d'identifier, si à telle heure et à telle altitude les masses d'air se trouvaient dans un rayon défini autour du faisceau du lidar.
- l'analyse à méso-échelle de la dispersion de graines de *Spathodea campanulata* et *Tecoma stans* (Bignoniacées), espèces envahissantes à Tahiti et les îles aux alentours (projet CADISPAT déposé dans le cadre de l'appel à projets du PEPS ECOMOB (CNRS-INEE) 2019, Sébastien Larrue).

III.3.c Plateforme drones pour la volcanologie

Nom du service : VOLCADRONE - Géophysique aéroportée – (SNOV TS ANO-1)

Adresse URL du site web du service : <http://volcadrone.opgc.fr/>

L'imagerie de la structure interne et de la dynamique temporelle des volcans est un véritable défi pour comprendre les processus qui régissent leur évolution, notamment les précurseurs éruptifs. Les méthodes géophysiques, du fait de la grande variabilité des propriétés physiques des fluides et des magmas au sein d'un édifice volcanique, permettent d'apporter des contraintes cruciales à différentes problématiques majeures pour la compréhension des systèmes volcaniques et des mécanismes mis en jeu (*stockage magmatique, zones de faiblesse, systèmes hydrothermaux, transferts de fluides, déformation, etc.*).

L'utilisation de drones comme vecteurs d'instruments géophysiques constitue une avancée incontournable pour améliorer notre compréhension des systèmes volcaniques et rendre plus efficace leur observation (couverture homogène, suivi régulier, interventions rapides et sécurisées sur des zones ciblées autrement inaccessibles) mais aussi de déployer les systèmes d'acquisitions géophysiques aéroportés sur des sites volcaniques actifs d'intérêt prioritaire, notamment les volcans français, en coordination avec les activités du SNOV.

Les mesures aéroportées prévues concernent des mesures magnétiques, thermiques et de gaz. Elles viendront en complément des mesures sol.

L'instrument VOLCADRONE a pour vocation à être intégré au Service National d'Observation en Volcanologie (SNOV) et, à venir compléter les observables mis à disposition au sein de la Plateforme Européenne d'Observations de la Terre EPOS. L'OPGC souhaiterait contribuer à une stratégie nationale vis-à-vis des mesures aéroportées par drone, avec la création d'un instrument national distribué.

IV. Projets mutualisés de l'OPGC

L'OPGC au travers du service de développement technologique et du Service Base de données et Calcul scientifique, développe des projets mutualisés de R&T et R&D en lien avec les laboratoires LaMP et LMV et l'école de l'Observatoire. Le tableau ci-dessous résume ces projets qui viennent en supplément des projets associés aux missions d'observation et de recherche.

Projets du SDT

Le fonctionnement du service en mode projet, stratégique depuis 2015, passe en phase plus opérationnelle depuis 2019. Le plan de charge des agents est désormais mis à jour mensuellement, afin d'avoir une visibilité convenable de l'activité du service, de prévoir les domaines de compétences dans lesquels des "points durs" peuvent apparaître et de prioriser l'implication dans les projets. Il permet également de synthétiser l'état d'avancement des projets.

| | | | |
|----------------|-----------------------|----------------|--|
| R&T | Datalogger Universel | R&D | Viscosimètre pour les laves volcaniques |
| | Surveillance aérienne | | Disdromètre pour Vitesse des cendres |
| | Software Design Radio | | PVM IP : contenu en eau liquide et nuage |
| | Capteur téléphonie | | Impacteur à nuage haut volume |

Le projet COPLid, financé sur l'AO Mi-lourd du CNRS-INSU est en cours. L'objectif initial du projet (la production d'un lidar atmosphérique à 3 longueurs d'ondes d'émission) sera atteint cette année 2019. Mais le projet se poursuivra avec une phase d'exploitation de l'instrument dans le cadre d'ACTRIS. Par ailleurs, d'autres développements seront lancés par la suite tels que l'ajout de nouvelles voies de mesures.

Deux nouveaux projet sont en cours de définition :

- Cloudnet : sous réserve d'acquiescer un radar nuage qui serait utilisé à des fins d'observations, le SDT pourrait être impliqué dans la réalisation des mesures et leur contrôle-qualité. Dans ce cas de figure, ces observations permettraient de rejoindre la communauté Cloudnet, à travers l'IR ACTRIS-EU.
- Profilleur de vent VHF : sous réserve d'obtention d'un financement suffisant (>150k€), le SDT serait impliqué dans la jouvence complète de ce vieux système (mis en service au début des années 1990).

Projets du SBC

Le projet structurant du Service Base de données et Calcul scientifique concerne l'Observatoire Virtuel de l'OPGC. Il est en lien avec les Infrastructures de Recherche Nationales (ACTRIS-FR) ou encore Européenne EPOS.

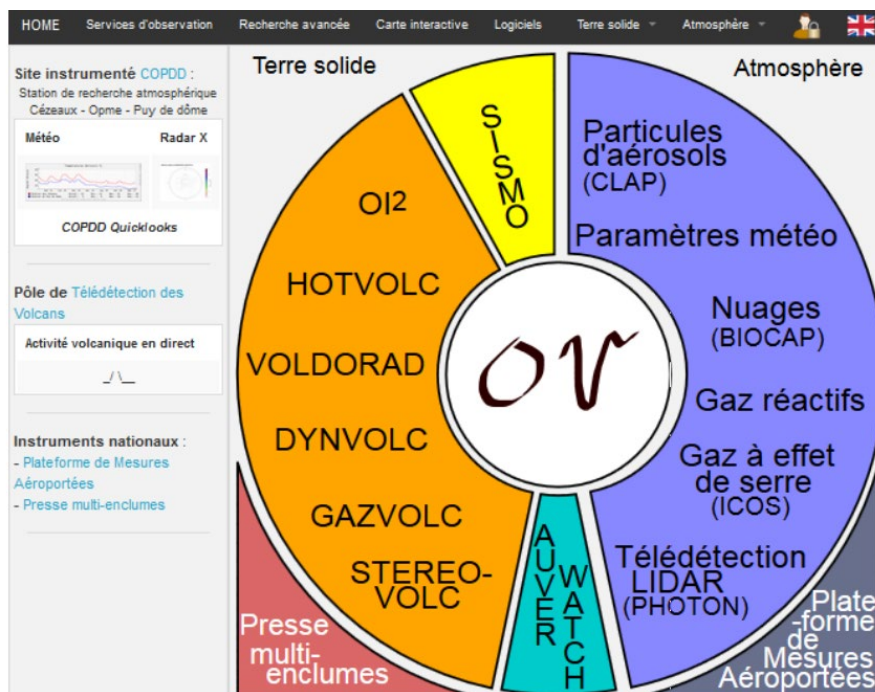
En raison du besoin croissant d'exploitation des masses de données issues des programmes d'observation tant depuis le sol que depuis l'espace, il était nécessaire de développer à l'échelle de l'OPGC cet OV.

De plus dans le cadre de la valorisation des données de la recherche (directive inspire) une cellule mutualisée à l'échelle de l'OSU sera mise en place pour mener une réflexion commune vis-à-vis des données autres que les données d'observations.

Les réflexions seront nourries par les conclusions de la table ronde de l'AEI 2019, de l'atelier DEFI 14 accès aux données scientifiques de la prospective INSU, ou encore du guide de bonnes pratiques sur la gestion et valorisation des données de la recherche (<http://otelo.univ-lorraine.fr/observation/gestion-des-donnees/gestion-des-donnees>) de l'OSU OTELO. L'objectif est la mise en place d'outils communs pour l'accompagnement des chercheurs et projets.

L'Observatoire Virtuel (OV) est un cadre organisationnel incontournable des bases de données et des services, impliquant l'usage de standards de description des données et de protocoles d'accès.

Cette intégration dans un cadre standardisé permet le dialogue entre systèmes c'est-à-dire l'interopérabilité. Il devient alors possible de croiser des données d'origines différentes, de façon transparente pour l'utilisateur, et d'utiliser des outils génériques. L'observatoire Virtuel de l'OPGC est en cours de développement.



Le SBC est responsable également de la mise en place et du développement d'interface Homme/Machine pour les codes numériques de simulation. Ces codes seront intégrés dans l'Observatoire Virtuel.

Les autres projets du SBC concernent des développements d'outils de visualisation 3D en réalité virtuelle augmentée en soutien aux enseignements de l'E-OPGC mais aussi pour des applications de valorisation grand public.

L'OPGC porte, avec le soutien du Challenge 4, des projets innovants dans le domaine de l'éducation (3DTeLC : Enseignement, apprentissage et communication (financement ERASMUS+), ou encore GeoVir3D - Géologie virtuelle et réalité augmentée en 3D : du terrain aux modèles (projet LIA)). L'OPGC, à l'interface avec le LaMP, souhaite mettre en valeur la collection unique d'images d'hydrométéores en développant le projet CloudVisit.

Le SBC souffre d'un manque cruel de personnels. Actuellement 2,5 ETP contribuent à ce service. L'Observatoire fort de ses réussites contribue désormais à 4 Infrastructures européenne et doit ainsi gérer des données de plus en plus nombreuses. Ce service doit être à même également de concevoir de nouveaux logiciels de traitement de données et visualisation. Il est demandé expressément par l'OPGC un renforcement de cette équipe via 1 ETP BAP E niveau Ingénieur d'Etude.

Projets Enseignement-Recherche : laboratoire enterré d'essai de géologie

Nous envisageons de développer un site d'expérimentation enterré.

Ce site enterré (5 à 6 m de profondeur) sur une surface totale de 350 m² environ (35x10m) serait installé sur le campus des Cézeaux. Il consistera en un ensemble d'objets aux dimensions et aux propriétés physiques (densité, porosité, magnétisme) connues disposés en profondeur, dans des lieux parfaitement connus.

Une telle installation permettra de former des étudiants ou stagiaires (formation initiale, formation continue) aux techniques de prospection géophysique pour la détection d'objets enfouis, dans des conditions parfaitement contrôlées avec des sols encaissants bien identifiés et compactés soigneusement pour leur stabilité dans le temps. Les objets enfouis pourront être des tuyaux divers, rochers, cavités, maçonneries, parfaitement localisés dans un repère géodésique local.

De plus, cette installation permettra de calibrer des instruments utilisés pour l'enseignement ou pour des campagnes de prospection, de tester et évaluer les performances des méthodes et des appareils et de réaliser des essais comparatifs entre matériels ou entre méthodes de prospection géophysique.

V. Structure et gouvernance de l'OSU OPGC

Les Observatoires des Sciences de l'Univers sont administrés par un Conseil élu et dirigés par un directeur choisi dans l'une des catégories de personnels qui ont vocation à enseigner dans l'école. Les directeurs des Observatoires des Sciences de l'Univers sont nommés par le ministre chargé de l'enseignement supérieur, sur proposition du Conseil. Leur mandat est de cinq ans renouvelable une fois. Le directeur est ordonnateur des recettes et des dépenses.

De par ses statuts, l'OSU OPGC est doté de trois conseils : le Conseil de l'observatoire, le conseil scientifique et le conseil pédagogique.

Le Conseil est présidé par une personnalité extérieure (M. Claude JAUPART, Professeur de géophysique à l'Université Paris-Diderot, et chercheur en volcanologie) depuis le 11 juin 2018 dont le mandat est de trois ans. Le Conseil définit le programme pédagogique et le programme de recherche de l'OSU, dans le cadre de la politique de l'établissement dont il fait partie. Le Conseil est consulté sur les recrutements. Le directeur de l'OSU assiste de droit au Conseil.

L'OPGC est doté d'un Conseil comprenant 22 membres élus des différents collèges des personnels et usagers de l'OPGC, et 12 personnalités extérieures dont les représentants des tutelles (Président de l'Université Clermont Auvergne, le Directeur de l'Institut National des Sciences de l'Univers du CNRS et le Directeur de l'IRD), du Conseil Régional de la Région Auvergne, d'organisations de salariés, du CNES, du BRGM et de Météo France, et une personnalité désignée par le Conseil à titre personnel.

L'OPGC est doté d'un conseil scientifique chargé de proposer les orientations de sa politique scientifique.

Il est aussi doté d'un conseil pédagogique en charge des orientations en termes d'enseignement et de formation, dans le contexte général défini par le Conseil de l'OPGC.

Ils sont présidés par le Directeur de l'OPGC.

L'équipe de direction de l'OSU OPGC est constituée de trois directions adjointes et du responsable administratif. La direction de l'OPGC souhaite un pilotage plus collégial de la structure avec des responsabilités accrues des directions adjointes.

En octobre 2018 une direction Adjointe Technique dont les attributions ont été définies en accord avec le Directeur Adjoint Technique du CNRS-INSU (P. Kern) a été mise en place.

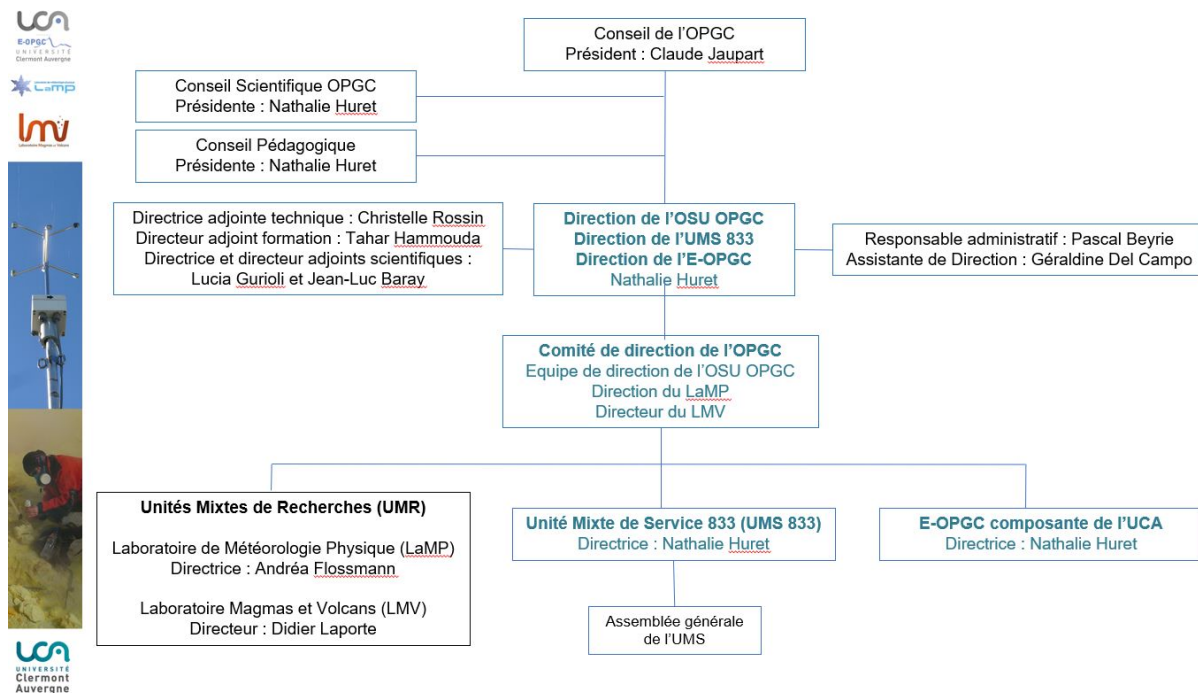
Mme Christelle Rossin, Ingénieur de Recherche HC CNRS à l'UMS est directrice adjointe technique. Cette direction adjointe a pour mission d'être membre de l'équipe de direction de l'OSU, poste transverse à l'UMS 833/LaMP/LMV, aide au Pilotage de l'OSU OPGC en interaction avec les directeurs du Pole Technique LMV et Pole Instrumentation Analyses et Développements, support aux agents techniques, support au management de Projet, suivi de carrière des personnels techniques, aide à la construction des dossiers de promotion. Elle est en charge du suivi et développement des projets R&T et R&D et mutualisation.

Mme Lucia Gurioli, physicienne rattachée à l'UMS 833 effectuant ses recherches au LMV, et M. Jean-Luc Baray, physicien adjoint rattaché à l'UMS 833 effectuant ses recherches au LaMP, sont directeurs adjoints Scientifique et

Observation. Ils sont en charge du suivi des services d'observation relatifs à leur domaine respectifs mais également des défis scientifiques transverses aux domaines Terre Solide et Atmosphère de l'Observatoire.

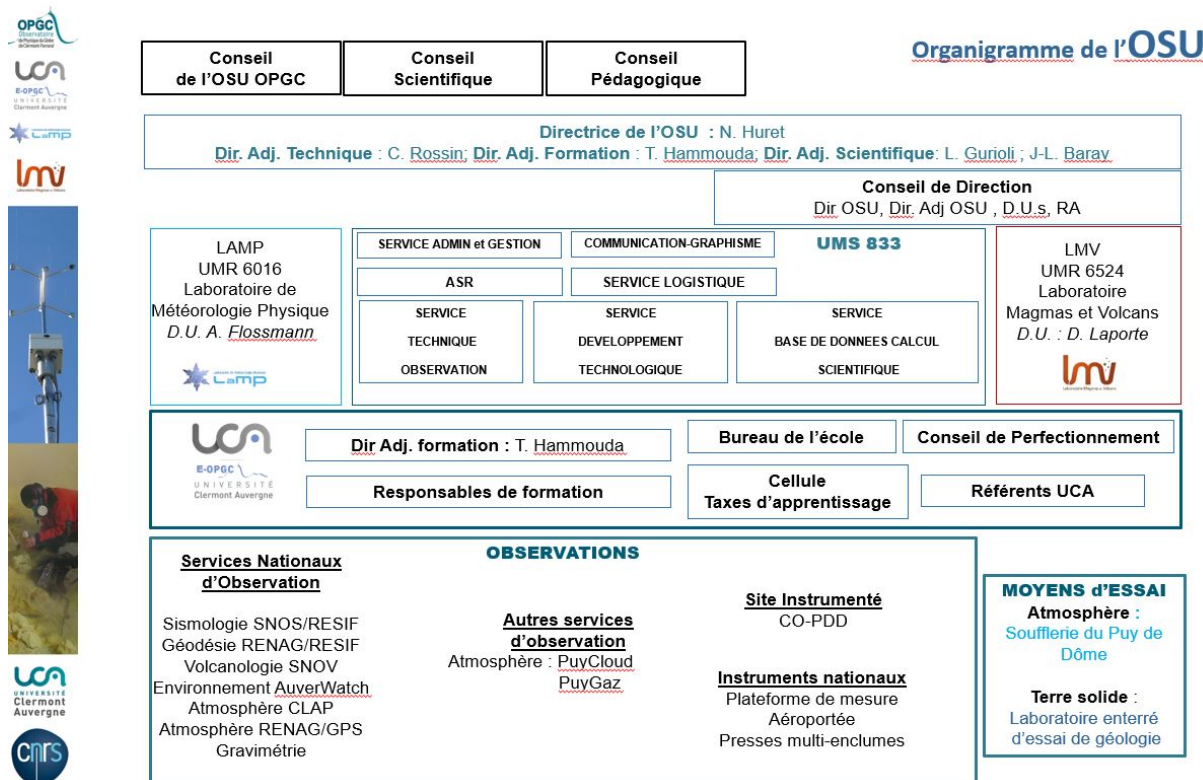
M. Tahar Hammouda, professeur à l'UCA, effectuant ses recherches au LMV, est directeur adjoint en charge des formations de l'E-OPGC. Il pilote le bureau de l'école OPGC.

L'organigramme fonctionnel pour le pilotage de l'OSU OPGC dans toutes ses dimensions est donné ci-dessous.



La direction de l'OPGC s'appuie, dans les prises de décisions quotidiennes sur le Comité de Direction formé par le directeur et les directeurs adjoints de l'OPGC, les directeurs des deux UMRs, LaMP et LMV, le responsable administratif et l'assistante de direction de l'OPGC. Les responsables de service peuvent être appelés à participer au CoDIR, si nécessaire.

L'organigramme détaillé de l'OSU OPGC est présenté ci-dessous.



L'UMS 883 est l'organe de mise en commun et mutualisation des entités composant l'OSU OPGC.

Les Services Centraux de l'OPGC permettent d'assurer la gestion administrative et financière de l'UMS 883, la coordination informatique et la logistique de ses entités. Ils contribuent au fonctionnement des plateformes d'observation, au développement d'outils technologiques spécifiques, garant de la qualité des observations, aux activités de recherche, et au développement de projet innovants d'enseignement.

L'implication croissante de l'OPGC aux services nationaux d'observation, instrument nationaux et site national instrumenté a conduit en 2018 à la mise en place du Service Technique Observation (STObs), en plus du Service de Développement technologique SDT. Le STObs contribue en direct aux actions de routines et à l'implantation de nouveaux sites de mesure en local. De même les besoins de plus en plus importants de développement logiciel (chaîne locale de traitement de données, interfaces Homme/Machine) associés aux observations et à leur valorisation en lien avec les infrastructures nationales et européennes de recherche a conduit à identifier le Service Base de données et Calcul scientifique (SBC) dans l'organigramme.

Le Service Administration Système et Réseau est en charge des ressources informatiques, des serveurs et dispositifs de stockage des données. La commission informatique est tenue deux à trois fois par an. Elle réunit la direction de l'OPGC, les informaticiens rattachés à l'UMS, ceux des UMRs, et un représentant de la direction de chaque UMR.

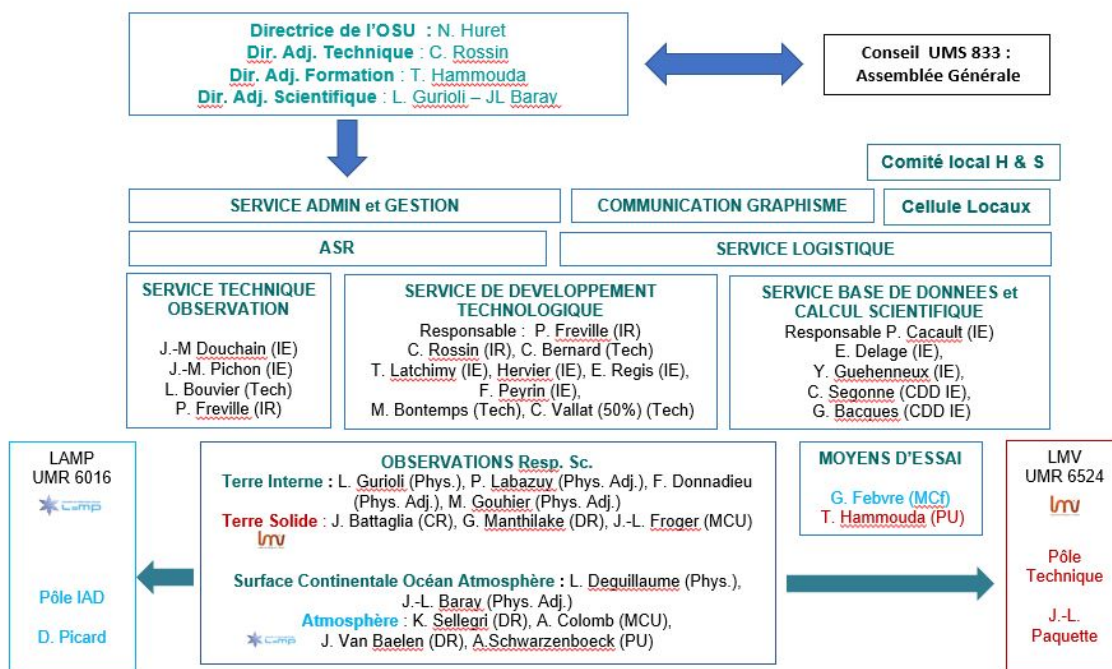
Le Service Logistique en lien direct avec la cellule locaux est en charge des locaux et apporte sa contribution en termes de logistique pour les routines et campagnes de mesures, et les activités d'enseignement.

La cellule communication graphisme participe à la circulation de l'information et porte l'image et l'identité de l'établissement auprès de la communauté scientifique ainsi que du grand public. Elle assure la diffusion de la culture scientifique en collaboration avec le service (DCSTI) de l'UCA et les services de communication du CNRS et de l'UCA. Pour l'ensemble des services de l'observatoire, le fonctionnement des ingénieurs et techniciens s'effectue en mode projet (R&T, R&D, observables) avec la participation simultanée de plusieurs personnes aux compétences diverses en interface avec les laboratoires et l'E-OPGC. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les missions premières du SDT, SBC et STObs. Ces services mutualisés d'ingénieurs et techniciens sont en charge de :

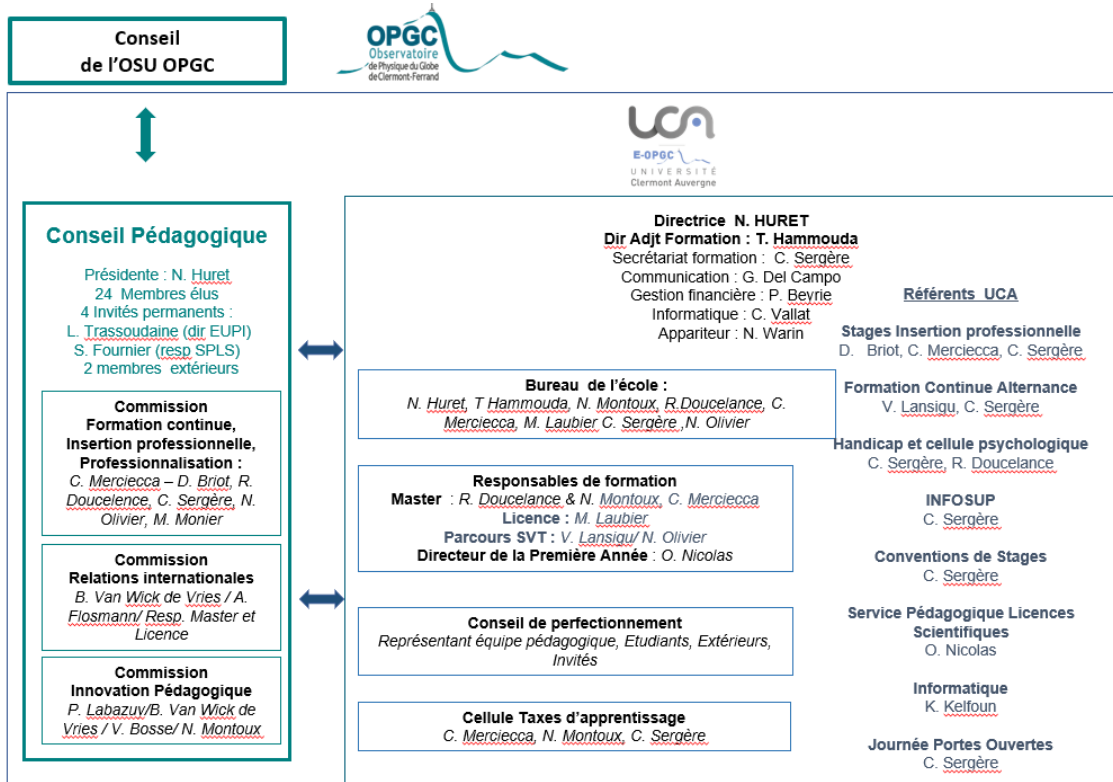
- La conception et la réalisation des prototypes destinés aux Services d'Observation ou aux projets des laboratoires de Recherche, et de la mise à niveau technologique des appareillages scientifiques (R&T, R&D, projets),
- Le développement et les actions de routine des services d'observation,
- La gestion de la base de données et les calculs scientifiques associés aux chaînes de traitement des données.

Une assemblée générale des personnels de l'UMS 883 est tenue deux fois par an. Elle est un lieu d'échanges entre les personnels et la direction de l'OPGC.

Organigramme de l'UMS-883



Enfin l'école de l'Observatoire fait partie intégrante de l'OSU OPGC. Composante d'enseignement de l'Université Clermont Auvergne depuis septembre 2017, l'ensemble des filières de traitement administratif des dossiers (agents, étudiants, formation) et de pilotage de la composante a été mis en place. Le directeur de l'OSU OPGC est directeur de la composante d'enseignement.



Observatoire de Physique du Globe
de Clermont-Ferrand

ANNEXES



Campagne d'évaluation 2019-2020
Vague A



ANNEXES 1

Inventaire équipement

| ANNEE | SERVICE | PROJET | EQUIPEMENT | FINANCEME | | |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------|------------|
| | | | | NT | MONTANT | |
| 2014 | | SNOV | Ordinateur Dell | | 2 107,00 € | |
| | | | Ordinateur Sony | | 1 494,09 € | |
| | | OPGC | Vidéo Projecteur | | 1 543,00 € | |
| | | | Travaux salle serveur | | 3 563,59 € | |
| | | PAES | Débimètre massique | | 1 252,00 € | |
| | | | Détendeur | | 1 146,04 € | |
| | | SISMO | RESIF | Ordinateur Dell | | 1 815,00 € |
| | | | | Zbook | | 1 057,00 € |
| | | | | Mac book pro | | 1 751,83 € |
| | | INFO | | PowerEdge | | 5 901,00 € |
| | | | | PowerEdge | | 3 070,00 € |
| | | | | Switch | | 1 205,00 € |
| | | | | Serveur | | 1 702,00 € |
| | | | RENAG | Récepteur compas GNSS | | 2 799,00 € |
| | | Transmetteurs | | | 4 408,00 € | |
| | | SOLEIL | Onduleur | | 993,89 € | |
| | | | carte DAQ | | 1 611,00 € | |
| 2015 | | SNOV | Licence Diapason 3 ans + maintenance | | 5 000,00 € | |
| | | AP2 | Ordinateur Dell | | 1 463,00 € | |
| | | AP3 | Ordinateur Dell | | 3 000,00 € | |
| | | VEHICULES | REPARATION 4X4 | | 4 260,19 € | |
| | | CO PDD | Lampe UV pour analyseur | | 1 340,00 € | |
| | | | Heated tail WAV25x sensors | | 1 004,00 € | |
| | | | Réparation anémomètre | | 2 730,00 € | |
| | RESIF | Ordinateur Dell | | 1 428,00 € | | |
| | SOLEIL | Rackmount industrial ordinateur | | 3 058,00 € | | |
| 2016 | | VOLCRAD | PLDRO | | 3 388,00 € | |
| | | | Amplifier frequency | | 7 488,00 € | |
| | | | Activ multiplicier chain WR-10 | | 6 182,00 € | |
| | | | Alimentation 2 voies | | 1 144,17 € | |
| | | DEFI | Single sideband modulator | | 1 442,00 € | |
| | | | Avnet EMG 4DSP | | 1 963,00 € | |
| | | | Source PLDRO à 15,825 GHz | | 3 400,00 € | |
| | | INFO | Power Edge Dell | | 2 009,00 € | |
| | | | Power Edge Dell | | 1 290,00 € | |
| | | | Power Edge Dell | | 1 662,00 € | |
| | | CO PDD | Calibrateur pour analyseur | | 12 230,00 € | |
| | | | Compteur gaz | | 1 133,61 € | |
| | | | Analyseur SO2 par fluorescence | | 12 480,00 € | |
| | | | Banc à permeation | | 2 610,00 € | |
| | | ATMOS | CFR 400 2W | | 4 411,00 € | |
| | Gated photomultiplier module | | | 4 115,00 € | | |
| | Canister SilcoCan 61 vanne RAVE | | | 2 008,90 € | | |
| | Multi component calibration mix | | | 3 321,12 € | | |
| | SDT | | Machine à graver Girojet | | 3 587,00 € | |
| | CLAP | | Régulateur de débit massique | | 1 160,00 € | |
| | RESIF | | Ordinateur Precision Dell | | 2 692,11 € | |

| | | | | | | |
|------|-------|-------------------------|---|---------------------------|-------------|------------|
| 2017 | | DEFI | Chassis basta petit epoxy | | 2 430,00 € | |
| | | RESIF | Berlingo VP XTR Blue HDI | | 11 180,13 € | |
| | ADMIN | | HP Zbook | | 1 383,67 € | |
| | | TOMUVOL | Dell Precision XTCO | | 10 761,00 € | |
| | | CO PDD | Analyseur et générateur d'ozone | | 11 450,00 € | |
| | | INFO | HP Zbook studio | | 1 540,03 € | |
| | | SNOV | Power Edge Dell | | 8 049,00 € | |
| | | ACTIONS INCITATIVE | Elitebook HP | | 926,21 € | |
| | | | GPS | | 1 758,50 € | |
| | | LIDAR | Laser INDI | | 35 000,00 € | |
| | | | Ordinateur Dell | | 1 068,74 € | |
| | | POLE | Ordinateur Dell | | 1 562,00 € | |
| | | SDT | Ordinateur Dell | | 948,30 € | |
| | IRSN | Flange mounted detector | | 3 074,50 € | | |
| | | total | | | | |
| 2018 | | LIDAR | Transcient recorder + photomultiplier | | 15 740,00 € | |
| | | | Transcient recorder +ethernet interface | | 10 140,00 € | |
| | | | Silicone APF Dectector module | | 6 900,00 € | |
| | | | Afocal d'émission apochromatique | | 5 500,00 € | |
| | ADMIN | | | Dell Power Edge | | 1 538,00 € |
| | | | | Surface Pro | | 1 484,47 € |
| | | | | Mobilier salle de détente | | 1 472,50 € |
| | | | | 4x4 Ford | 18 000,00 € | 4 000,00 € |
| | | | | Precision Dell | | 2 104,43 € |
| | | | | Precision Dell | | 1 978,92 € |
| | | GPS | Ordinateur Dell | | 1 617,64 € | |
| | | CNES VOLCADRONE | Ordinateur Dell | | 2 648,14 € | |
| | | CNES SAR | | Precision Dell | | 3 003,74 € |
| | | | | Precision Dell | | 2 152,67 € |
| | | CO PDD | | Débitmètre massique | | 1 460,00 € |
| | | | | Pompe à canal latéral | | 965,00 € |
| | | | | Photomultiplier turbomass | | 2 080,00 € |
| | | | | TOATM220 | | 2 729,52 € |
| | | | | Sécheur d'air | | 3 175,00 € |
| | | ACTIONS INCITATIVE | | Starter Kit Gilair plus | | 1 810,00 € |
| | | | Ordinateur Dell | | 2 147,36 € | |
| | INFO | | | Antenne radio AirFiber | | 1 930,00 € |
| | | RESIF | | Ordinateur Dell | | 2 630,42 € |
| | | | Ordinateur Dell | | 823,00 € | |
| | SNOV | | Power Vault MD306 De | | 19 676,00 € | |
| | SDT | | Ordinateur Dell | | 1 182,00 € | |
| | INFO | | HPE Aruba + module transmetteur | | 2 595,00 € | |
| | | | Power Edge Dell | | 1 230,00 € | |
| | PMA | | Ordinateur Dell | | 2 113,42 € | |

Bilan actions incitatives 2014-2018

2014

| Intitulé de l'action | Montant alloué |
|---|-----------------|
| Mesures à haute résolution temporelle de la chimie de l'aérosol au sommet du puy de Dôme. FRENEY Evelyn (LaMP) | 9 000 |
| Observations continues de l'évolution morphologique et thermique du dôme de lave du volcan Merapi (Indonésie). KELFOUN Karim (LMV) | 7 000 |
| Does partial melting cause geophysical anomalies in the Earth's mantle ? A novel experimental approach with in situ sound-wave velocity and electrical conductivity measurements. MANTHILAKE G. (LMV) | 2 000 |
| Fabrication et évaluation de nouveaux matériaux de chromatographie d'extraction spécifiques, en vue de la séparation chimique d'éléments d'intérêts géochimique et isotopique. PIN Christian (LMV) | 1 000 |
| Validations statistiques des longues séries temporelles de la station du puy de Dôme et des séries des sites urbain et péri-urbain dans son voisinage méso-échelle. DUROURE Christophe (LaMP) | 1 000 |
| Total | 20 000 € |

2015

| Intitulé de l'action | Montant alloué |
|---|-----------------|
| Acquisition aéroportée par drone de paramètres physico-chimiques pour l'étude et le suivi des panaches volcaniques Philippe LABAZUY (UMS/LMV) - Karine SELLEGRI (LaMP) | 6 300 |
| Contribution des inclusions magmatiques à l'étude des ébullitions/dégazages explosifs dans les systèmes magmatiques Régis THIERY - Olivier ROCHE - Pierre SCHIANO (LMV) | 2 700 |
| Simulation 3D des panaches volcaniques. Etude de faisabilité Frédéric SZCZAP (LaMP) - Mathieu GOUHIER (LMV) | 3 000 |
| Etude chimique et isotopique du lessivage des poussières minérales dans l'atmosphère (site du puy de Dôme) Ivan VLASTELIC (LMV) – Karine SELLEGRI (LaMP) | 3 470 |
| Radar défini par radio logicielle Frédéric PEYRIN (UMS) | 4 500 |
| Total | 19 970 € |

2016

Pas d'actions incitatives

2017

| Intitulé de l'action | Montant alloué |
|---|----------------|
| Projet de développement Technologique SDT/SDI, Android, Téléphonie portable et capteurs Martial BONTEMPS (UMS), Christophe VALLAT (UMS) | 2 000 |
| Composition multiphasique de la matière organique au sommet du puy de Dôme : extension au milieu nuageux Agnes BORBON (LaMP) | 3 000 |
| A new field-portable viscometer to measure the viscosity of active lava Oryaëlle CHEVREL (LMV), Andrew HARRIS (LMV) | 4 000 |
| Lier de dégazage explosif du volcan Popocateptl avec le modèle de genèse du tremor Franck DONNADIEU (UMS/LMV) | 4 000 |
| Dynamique magmatique superficielle et activité de dégazage persistante sur un grand stratovolcan basaltique : le masaya, Nicaragua Pierre-Jean GAUTHIER (LMV), Séverine MOUNE (UMS/LMV) | 2 000 |
| Datalogger connecté universel paramétrable Edouard REGIS (UMS) | 5 000 |
| Bloc optique pour CPC1 Karine SELLEGRI (LaMP), David PICARD (LaMP) | 3 500 |
| Dynamique éruptive et caractéristiques physiques des téphras pliniens du Huaynaputina au sud du Pérou, et évaluation des impacts sur quelques sites archéologiques Jean-Claude THOURET (LMV), Lucia GURIOLI (UMS/LMV) | 500 |
| Calibration et inter-étalonnage des moyens radars de l'OPGC/LaMP Joël VAN BAELEN (LaMP) | 3 000 |
| TOTAL | 27 000 |

2018

| Intitulé de l'action | Montant alloué |
|---|----------------|
| Thermal monitoring on La Soufrière volcano, Guadeloupe David JESSOP (UMS/LMV), Andrew HARRIS (LMV), Martial BONTEMPS (UMS) | 5 000 |
| Valorisation de la collection de minéralogie LMV : (VI-Site virtuelle / numérisation 3D) Sylvaine JOUHANNEL (LMV) | 2 200 |
| Action de Mutualisation Réseau Profileurs de vent Acquisition d'un instrument de contrôle pour les radars profileurs VHF et UHF et missions techniques OPGC-Observatoire Midi Pyrénées Jean-Luc BARAY (UMS/LaMP), Joël VAN BAELEN (LaMP), Frédéric PEYRIN (UMS), Claude HERVIER (UMS) | 2 000 |
| CPC-Cfd Développement d'un ensemble saturateur-condenseur de CPC (Condensation Particle Counter : compteur de particules d'aérosols par condensation de vapeur) Karine SELLEGRI (LaMP), David PICARD (LaMP) | 2 700 |
| Auto-stéréoscopie et systèmes d'affichage pour la modélisation géométrique et la visualisation en géosciences Emmanuel DELAGE (UMS) | 2 000 |
| AEROVOCC : nouveau préleveur de COV de l'air interstitiel du nuage Mickael RIBEIRO (LaMP) | 3 000 |
| Suivi thermique et morphologique du dôme du volcan Merapi par imagerie. Karim KELFOUN (LMV), Thierry LATCHIMY (UMS), Martial BONTEMPS (UMS), Iham Nuredin | 2 000 |
| Caractérisation de la variabilité du régime éruptif du Karthala (Comores) à travers l'étude de dépôts phréatiques, phréatomagmatiques et magmatiques de 2005 et comparaison avec les dépôts du Piton de la Fournaise (La Réunion, France). Patrick BACHELERY (LMV), Lucia GURIOLI (UMS/LMV), Simon THIVET (LMV) | 1 500 |
| Couplage de modélisation expérimentale et de mesures radars des panaches de cendres Franck DONNADIEU | 4 000 |
| TOTAL | 24 400 |

Actions incitatives colloques 2014-2018

| Année | Libellé du Projet | Porteur du Projet | Montants attribués |
|-------|---|----------------------------------|--------------------|
| 2014 | Le Colloque ACTRIS Cette manifestation réunit chaque année la communauté ACTRIS pour présenter les avancées du projet. Cette année sera également dédiée à l'élaboration de la suite du programme européen ACTRIS, ACTRIS 2. | LAMP | 3000 |
| | Le colloque ITM 2015 (International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application) sera organisé à Montpellier au mois de mai 2015. Ce congrès fait suite à une longue série de conférences, organisées périodiquement tous les deux ans, initiées par le comité CCMS. Ce congrès réunit environ 200 personnes au niveau national et international. | Nadine Chaumerliac Douw Steyn | 2000 |
| 2015 | Pas de financement colloque | | |
| 2016 | Pas de financement colloque | | |
| 2017 | MDIS FORM@TER 2017 | Jean-Luc Froger Valérie Cayol | 1000 |
| | Atmospheric Chemical and Biological processes : interactions and impacts | Laurent Deguillaume | 1000 |
| | ISOTRACE | Didier Laporte | 1000 |
| 2018 | Pas de financement de demande | J.-L Baray, O. Jourdan | 1500 |
| 2019 | Colloque EECLAT : Expecting Earth-Care, Learning from A-Train. Janvier 2019, Fréjus | J.-L Baray, O. Jourdan | 1500 |
| | Colloque LEFE-CHAT, Juin 2019, Villeurbane | C. Rose | 1000 |

Bilan communication 2014-2018

Jusqu'en aout 2015 l'OSU était doté d'un poste à temps plein en communication. Il était occupé par Marie Russias qui est partie à la retraite. Le poste n'a pas été remplacé. Aujourd'hui la communication est assurée par Mme Del Campo s'ajoutant à ses fonctions d'assistante de direction. Le temps consacré à cette fonction de communication n'est pas optimal.

En interne, la communication participe à l'amélioration de la circulation de l'information au sein des services communs d'une part et d'autre part entre les deux laboratoires qui constituent l'OPGC : le Laboratoire de Météorologie Physique et le laboratoire Magmas et Volcans. Mme Del Campo a en charge également la communication de la partie « Ecole OPGC ». En externe, elle porte l'image et l'identité de l'établissement auprès de la communauté scientifique ainsi que du grand public.

L'OSU travail en étroite collaboration avec les services communications de l'UCA et du CNRS, ainsi qu'avec la Cellule de Diffusion de la Culture Scientifique, Technique et Industrielle (DCSTI) de l'UCA.

Depuis 2018 l'OSU dégage un budget d'environ 4000 € pour la communication. Viennent s'ajouter les 2500 € de subventions demandées dans le cadre de la fête de la science.

L'OSU participe chaque année à la fête de la science coordonnée par l'UCA et le Conseil Départemental. A ce titre l'OPGC s'implique dans deux journées, une en semaine initiée par l'UCA avec des stands/Ateliers proposés aux scolaires, et une journée le week-end, initiée par le Conseil Départemental avec une visite de l'Observatoire au sommet du puy de Dôme et une présentation de la Chaîne des puy.

Dans le cadre de la diffusion de la culture scientifique l'OSU a été sollicité à plusieurs reprises durant ces 5 dernières années pour participer à diverses manifestations comme les rencontres « Montagne et Sciences », Le village des 4 éléments, le train du climat, le rendez-vous des Chercheurs à Vulcania, Exposition temporaire (2 ans) « Quand la terre tremble » (sismologie) à Vulcania, participation à la conception d'un film diffusé à Vulcania (drone), Festival des nuées ardentes, etc.

L'OPGC ouvre également tout au long de l'année l'observatoire au sommet du puy de Dôme pour des visites essentiellement scolaires, mais aussi des associations, entreprises, administration, etc.

Toutes ces actions de communications sont faites en coordination avec les deux laboratoires de l'OSU.

Les événements marquants pour la communication de l'OSU ont été :

- ✓ 2015, l'obtention du label GAW qui positionne l'Observatoire au sommet du puy de Dôme comme premier site en France à recevoir ce label qui est décerné par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) aux stations scientifiques de référence.
- ✓ 2017, sortie de l'ouvrage en deux volumes « Des volcans au Nuages » de la Revue d'Auvergne consacré à l'OPGC. La Revue d'Auvergne est initiée par l'Alliance Universitaire.

En termes de communication graphique (visuel), l'OSU a développé ce domaine depuis un an. Avec notamment la création d'un livret de visite pour l'Observatoire au sommet du puy de Dôme, ce livret est pédagogique, vulgarisé et permet plus particulièrement aux enseignants des établissements scolaires de préparer en aval leur visite. Plusieurs goodies ont également été réalisés (sac, stylos, carnet, autocollant, mug, marque page, carte de visites, etc.). Courant 2017 l'OSU a repensé son identité visuelle en changeant son logo. Une charte graphique est en cours, qui déclinera les supports de communications administratifs, le visuel des posters, des slides de présentation ppt, etc. Le chantier le plus important en 2018 a été le visuel sur les vitres à l'entrée du bâtiment.

Un autre chantier est en cours, il s'agit de la refonte du site Web de l'OSU. Pour cela l'OPGC s'appuie sur la trame proposée par l'UCA, K-SUP, qui permet d'alléger le travail en ne réalisant que les contenus.

Ont été réalisées également plusieurs plaquettes (Ecole et OSU) de présentation, des affiches notamment pour la présentation des séminaires, des posters, etc.

Suite à la l'édition de la Fête de la Sciences 2018, un petit film a été réalisé par Antoine Ligier, Photographe-Vidéaste, www.viseea.com

C'est le service DCSTI de l'UCA qui a coordonné et pris en charge financièrement cette opération.

L'OSU a été sollicité pour participer au Forum International Météo et Climat (le LaMP est membre de Météo et Climat) à Paris du 24 au 28 mai 2019, notamment avec des "expériences grand public". Ont été présentés le simulateur de tornade et de chambre à nuage (Nubex).

Participation au 80 ans du CNRS les 3 et 4 octobre 2019 à Lyon au musée des Confluences, avec un atelier nuage et un atelier climat. Le LMV participera également avec comme thématique «Modélisation des volcans en laboratoire», en collaboration avec un labo de Maths de l'UCA.

Nouvelle édition de la Fête de la Science 2019. L'OPGC participera comme chaque année sur le Campus Universitaire le 10 octobre 2019. Plusieurs ateliers seront proposés avec la participation du LaMP, du LMV et de l'UMS (nuage, climat, lidar, réalité virtuelle, historique de l'Observatoire, ateliers et visite du LMV).

L'OPGC participera également le samedi 12 octobre 2019 à la Fête de la science coordonnée par le Conseil Départemental au sommet du puy de Dôme. Seront proposées, une visite de l'Observatoire, une présentation de la chaîne des puys et une présentation de l'historique de l'Observatoire. Cette année, une nouveauté, avec des ateliers (nuage, climat, réalité virtuelle, Drone) sous barnum. S'ajoutera un atelier de Vulcania.

Visite de l'Observatoire par des scolaires. Quelques dates sont fixées.

L'OPGC dans les médias

Articles de presse 2015

| Date | Intervenant | Sujet | Média |
|------------------|--|---|---|
| 19/06/2015 | Laurent Deguillaume (OPGC/LAMP) | « Un aspirateur à nuages au sommet du Puy de Dôme » | Le Figaro |
| 27/06/2015 | Karine Sellegri (LAMP) | « Au sommet du Puy-de-Dôme, des chasseurs de nuages » | La Marseillaise |
| 02/08/2015 | Pierre Boivin (LMV) | « Les volcans au scanner – Deux formidables jumeaux égueulés » | La Montagne |
| 02/08/2015 | LMV | « Les volcans au scanner – Deux formidables jumeaux égueulés » | La Montagne |
| 17/09/2015 | Joël Van Baelen (LaMP) | « <u>Premier bilan de l'observatoire Corsica, spécialisé dans les relevés de pollution et de météorologie</u> » | Corse Matin |
| 23 et 27/09/2017 | Denis Andrault (LMV) | Suite à la diffusion du communiqué de presse « <u>Un scénario pour réconcilier la Terre et ses origines</u> » : « <u>Formation de la Terre : Une vieille énigme résolue</u> » « <u>Espace. Des experts réconcilient la Terre et ses météorites d'origine</u> » « <u>Une énigme autour de la formation de la Terre enfin résolue ?</u> » « <u>Un mystère sur les origines de la Terre résolu ?</u> » « <u>Aux origines de la création de la Terre</u> » | 20minutes.fr Ouestfrance.fr BFM TV (Site Web) Le Quotidien (Luxembourg) La Montagne |
| 07/10/2015 | OPGC | « <u>Le Train du Climat fait étape aujourd'hui à Clermont</u> » | La Montagne |
| 08/10/2015 | Clémence Rose (LaMP), Christophe Anne-Marie Delort (ICCF) et Corona (GEOLAB) | « <u>Toute première étape hier à Clermont</u> » | La Montagne |
| 09/10/2015 | LaMP, LMV, OPGC | « <u>Un laboratoire à ciel ouvert</u> » | La Montagne |
| 11/10/2015 | Pierre Boivin (LMV), Philippe Labazuy (OPGC), Didier Miallier (LPC) | « <u>De quoi redessiner la volcanologie</u> » | La Montagne |
| 15/10/2015 | Raphaël Paris (LMV) | « <u>Un méga-tsunami dans l'Atlantique</u> » | Le Figaro |
| 06/12/2015 | GEOLAB et LaMP | « <u>COP21, les Auvergnats ont un mot à dire sur le climat</u> » | La Montagne |

Articles de presse 2016

| Date | Intervenant | Sujet | Média |
|--------------------|--|---|------------------------|
| 17/01/2016 | Aurélie Colomb (LAMP) et Pierre Boivin (LMV) | Reportage | Journal de 13h de TF1 |
| Edition hiver 2016 | Maud Boyet (LMV) | Portrait | <u>CNRS Le Journal</u> |
| 12/03/2016 | LMV | <u>Nouveau regard sur les écoulements pyroclastiques lors des super-éruptions volcaniques</u> | Techno-Sciences |
| 08/04/2016 | Julien Bernard (LMV) et Maxime CHASSAING (LIMOS) | A la recherche d'une vulgarisation | La Montagne |
| 29/04/2016 | Michel Douchain (OPGC) | La terre a tremblé jusqu'en Auvergne | La Montagne |
| 23/05/2016 | LMV | <u>L'importance de l'échelle nanométrique dans l'interprétation des datations in-situ</u> | Techno-science |
| 17/06/2016 | LMV | <u>Du magma toujours liquide dans la plomberie des volcans d'Auvergne</u> | Sciences et avenir |
| 17/06/2016 | LMV | <u>Du magma encore chaud sous les volcans d'Auvergne</u> | France 3 Auvergne |
| 17/06/2016 | LMV | Suite à l'alerte presse « <u>Des protéines peu dégradées identifiées dans des microfossiles de 2 milliards d'années</u> » diffusée le : | |
| 17/06/2016 | | <u>Origine de la vie sur Terre : des fossiles de 2 milliards d'années "parlent" enfin</u> | l'Express |
| 20/06/2016 | | <u>Des protéines peu dégradées identifiées dans des microfossiles de 2 milliards d'années</u> | Techno-Science |
| 16/06/2016 | Inauguration LMV | Reportage 19/20 (8min52) | France 3 Auvergne |
| 17/06/2016 | | Un nouvel écrin pour Magmas et Volcans | La Montagne |
| 19/06/2016 | LaMP | Rendez-vous en terre d'exception | La Montagne |
| 18/06/2016 | LMV et OPGC | Ça chauffe sous la chaîne des Puy | La Montagne |
| 25/06/2016 | Danielle Briot (LMV) | <u>Des chercheurs de Nancy débusquent du magma sous les volcans endormis</u> | Vosges Matin |
| 07/07/2016 | Benjamin Van Wyk de Vries (LMV) | Petit concentré de géologie appliquée | La Montagne |
| 18/07/2016 | LMV | Les perspectives du Laboratoire Magma et Volcans | Info |
| 12/08/2016 | Pierre Boivin (LMV) | Le jour où Clermont partira en fumée ! | La Montagne |
| 17/06/2016 | LMV (St Etienne) | <u>Origine de la vie sur Terre : des fossiles de 2 milliards d'années "parlent" enfin</u> | L'Express |
| 21/06/2016 | | <u>Incroyable : des protéines fossiles vieilles de 2 milliards d'années</u> | Futura Science |

| | | | |
|------------|--|--|-------------------------------|
| 25/06/2016 | | <u>L'incroyable découverte de protéines fossiles vieilles de 2 milliards d'années</u> | SciencePost |
| 16/08/2016 | | Des fossiles bien conservés pour leur âge | Le Monde |
| 16/08/2016 | | D'anciennes protéines bien conservée | Pour la Science |
| 04/09/2016 | LMV, LaMP | Les puys comme aires de jeu des scientifiques | La Montagne |
| 14/09/2016 | Christian Amblard (LMGE), Pierre Boivin (LMV) et Frédéric Surmely (GEOLAB) | <u>Passion patrimoine : en Auvergne, du Puy-de-Dôme au Cantal - Des racines et des ailes</u> | France 2 |
| 27/09/2016 | Pierre Boivin (LMV) | Conférence : Le trachyte pour dernière demeure | La Montagne |
| 02/10/2016 | Pierre Boivin (LMV) et Téléspore Sime-Ngando (LMGE) | Le lac Pavin parle aux scientifiques de la planète | La Montagne |
| 07/10/2016 | Denis Andrault et Nathalie Bolfan (LMV) | Science : voyage au centre de la Terre près de Clermont-Ferrand | Le Parisien |
| 11/10/2016 | OPGC | Fête de la science - OPGC <u>Reportage</u> (à 16min57) | France 3 Auvergne-Rhône-Alpes |
| 15/10/2016 | OPGC – LaMP -LMV | La Science fête les 4 éléments place de la Victoire | La Montagne |
| 15/10/2016 | Pierre Boivin (LMV) « Conférence | Pierre Boivin évoque les volcans et les paysages du Puy-de-Dôme | La Montagne |
| 22/10/2016 | Pierre Boivin (LMV) Conférence | Volcans et paysages du Puy-de-Dôme, par Pierre Boivin | La Montagne |
| 26/10/2016 | LMV | Les secrets millénaires du Grand Sarcoui | La Montagne |

Articles de presse 2017

| Date | Intervenant | Sujet | Média |
|------------|--|---|--------------------|
| 11/01/2017 | Joël Van Baelen (LAMP) | La recherche météo au sommet | La Montagne |
| 08/04/2017 | Angelica Bianco (LAMP), Vincent Celsi (LMV) et Pierre-François Léget (LPC) | Un physicien Grand Prix de la 2 ^{ème} édition | La Montagne |
| | Raphaël Paris (LMV) | Suite à la diffusion de l'alerte presse « <u>Glissement de flanc, éruption explosive et tsunami à Tenerife : un nouveau type de scénario volcano-tectonique pour les îles océaniques il y a 170 milliers d'années</u> » : | |
| 21/05/2017 | | <u>Deux tsunamis majeurs sur l'île de Tenerife il y a 170 000 ans</u> | Techno-Science.net |
| 28/05/2017 | | <u>La découverte d'une éruption et de deux tsunamis colossaux il y a... 170.000 années</u> | La Montagne |
| 16/06/2017 | LMV | Entre curiosité, peurs et légendes | La Montagne |
| 03/07/2017 | OPGC | Un œil ouvert entre volcan et nuage | La Montagne |
| 20/07/2017 | OPGC | Phare au sommet du géant des Dômes | La Montagne |
| 20/07/2017 | OPGC | La station du puy de Dôme scrute l'atmosphère | Les Echos |
| 01/10/2017 | La Fête de la science : OPGC | Le puy de Dôme puits de science | La Montagne |
| 10/10/2017 | OPGC | En faveur d'un classement à l'Unesco | La Montagne |
| 13/11/2017 | Nicolas Olivier (LMV) | Suite à la diffusion du communiqué de presse « <u>La plus longue piste de dinosaure sauropode du monde révélée</u> » le : | |
| 13/11/2017 | | <u>Un dinosaure de près de 40 tonnes a laissé 110 traces de pas dans l'Ain</u> | Francetvinfo.fr |
| 13/11/2017 | | <u>Un dinosaure géant de 35 mètres a laissé des traces dans le Jura</u> | Lefigaro.fr |
| 13/11/2017 | | <u>World's longest sauropod dinosaur trackway brought to light</u> | Science Daily |
| 14/11/2017 | | Jura : un dinosaure de 35 mètres a laissé sa trace | Paris Match |
| 15/11/2017 | | La plus longue piste de dinosaure est à Plagne | Sciences et Avenir |
| 21/11/2017 | | La plus longue piste de dinosaure sauropode du monde | La Croix |
| 23/11/2017 | | <u>Quand on montre des empreintes de dinosaure, il y a toujours des gens très sceptiques</u> | Rue 89 Lyon |
| 07/12/2017 | Jean Battaglia (OPGC) | La terre a tremblé hier en Auvergne | La Montagne |
| 29/12/2017 | Nicolas Olivier (LMV) | <u>Dinoplagne : un dinosaure jusque-là inconnu</u> | Le Dauphiné |

Articles de presse 2018

| Date | Intervenant | Sujet | Média |
|---------------|--|---|---|
| 01/01/2018 | Damien Freitas (LMV) | Ils ont percé les secrets de la Terre | La Montagne |
| 19/12/17 | Damien Freitas et Geeth Manthilake (LMV) | <u>Confirmation expérimentale de la fusion partielle du manteau terrestre profond</u> | Site web de l'INSU |
| 17/01/2018 | | | Techno-sciences |
| 26/01/2018 | Denis Andrault (LMV) | <u>La fusion partielle du manteau aurait retardé l'établissement de la tectonique des plaques pendant 2,5 milliards</u> | Techno-Science.net |
| 03/02/2018 | Frédéric SZCZAP (LAMP) | Clermont, la ville aux arcs-en-ciel | La Montagne |
| 01/04/2018 | Pour le LaMP : Joel VAN BAELEN, Alfons SCHWARZENBOCK, Andréa FLOSSMANN | L'université Clermont Auvergne prend de la Hauteur Station du puy de Dôme | Le Lab -Journal de la Recherche de l'UCA. |
| 08/04/2018 | Benjamin Van Wyk de Bries (LMV) | <u>Le volcan Etna glisse lentement vers la Méditerranée</u> | La-croix.com |
| 02/05/2018 | Anne-Magali Seydoux (LMV) | Pourquoi la monazite, minéral très radioactif, ne devient jamais amorphe à l'état naturel ? | Techno-science.net |
| 09/05/2018 | LMV | Conférence : "Croissance, énergie, climat : dépasser la quadrature du cercle | La Montagne |
| 03/06/2018 | LMV Vincent Clesi | Quoi de neuf sur terre vu des labos clermontois ? | La Montagne |
| 06/2018 | Participation de l'OPGC | Festival des nuées ardentes | La Montagne |
| 19/06/2018 | LMV | L'élite de la Terre à Clermont – Colloque EMPG | La Montagne |
| 28/06/2018 | Nathalie Bolfan (LMV) | Un océan sous nos pieds | Sciences et Avenir |
| 01/10/2018 | OPGC | Les mystères de la science à votre porte | La Montagne |
| 11/10/2018 | OPGC | L'Observatoire ouvre ses portes au public | La Montagne |
| Décembre 2018 | OPGC | Des volcans et des Hommes : quand la recherche clermontoise entre en fusion | Le Lab -Journal de la Recherche de l'UCA. |

Articles de presse 2019

| Date | Intervenant | Sujet | Média |
|----------------|--------------------------|--|-----------------------------|
| 08/01/2019 | Pierre Boivin (LMV) | La Chaîne des puys - Faille de la Limagne | La Montagne, |
| 11/01/2019 | Karim Kelfoun (LMV) | Le risque volcanique à l'étude | La Montagne |
| 12/01/2019 | Pierre Boivin (LMV) | La Chaîne des puys-faille de la Limagne, patrimoine mondial de l'Unesco | La Montagne, |
| 27/01/2019 | LMV | Pour gérer l'eau de la Chaîne des puys | La Montagne |
| 29/01/2019 | Pierre Boivin (LMV) | Conférences – De mardi à vendredi à l'Institut du temps libre, à Clermont | La Montagne |
| 5 février 2019 | Mathieu Gouhier OPGC/LMV | Le comportement inattendu des nuages de cendres volcaniques révélé | Journal et Site Web du CNRS |
| 25/02/2019 | Mathieu Gouhier OPGC/LMV | Une équipe de Clermont-Fd étudie l'impact des panaches de cendres des volcans dans le monde. | La Montagne |
| | | | |

École de l'OPGC

La fusion des universités clermontoises au 1er janvier 2017 en un établissement unique, l'Université Clermont Auvergne, a entraîné une redéfinition de la carte des composantes d'enseignement.

L'OPGC est désormais depuis 2017 une composante de l'UCA (E-OPGC) et porte les formations initiales et continues du domaine des Sciences de l'Univers de l'Université Clermont Auvergne. Ainsi l'OPGC joue concrètement son rôle « d'école » au sein de cette nouvelle université. Elle fait partie du collegium « Sciences fondamentales » au côté d'autres UFR disciplinaires.

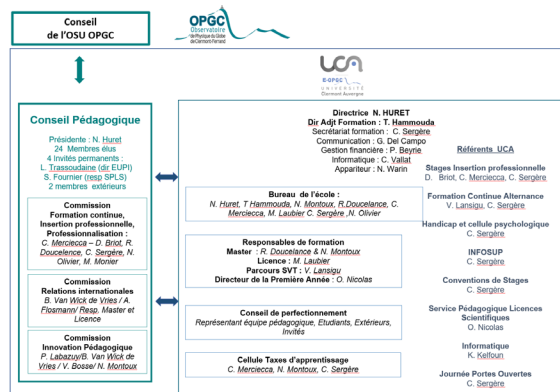
L'OSU OPGC via son Conseil Pédagogique regroupe l'ensemble des enseignants chercheurs en Sciences de l'Univers (sections CNU 35 et 37 du site clermontois, de l'IUT d'allier et de l'antenne de l'IUT d'Aurillac) et du Conseil National des physiciens et Astronomes (section TI et SCOA) de l'Université Clermont Auvergne, incluant ses antennes (MontLuçon, Vichy et Aurillac). Les sièges du conseil pédagogique sont équirépartis entre les sections 35 et 37.

Depuis la rentrée 2017, l'E-OPGC a mis en place l'ensemble de la structure opérationnelle de fonctionnement de l'École (organigramme ci-dessous).

L'offre de formation de l'E-OPGC concerne environ 250 étudiants, 4800 Heures ETD. Elle se déploie grâce à 9 Professeurs, 15 Maîtres de Conférences (dont 7 affectés à l'EUPI), 2 Physiciens et 3 Physiciens adjoints du corps de CNAP, 1 PRAG, 1 ATER et 1 PAST.

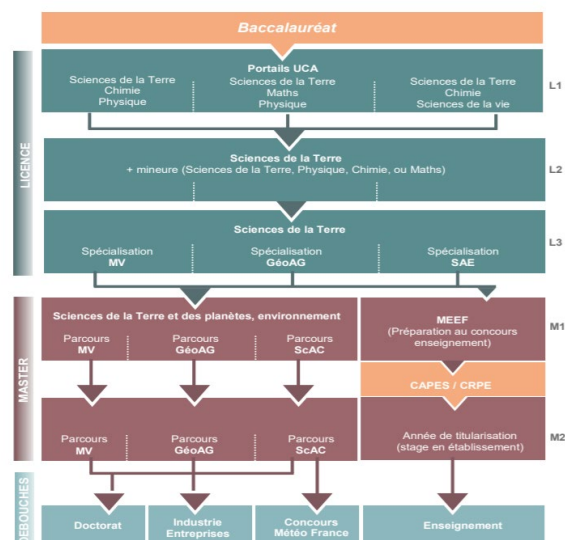
Les fonctions support l'E-OPGC sont :

- Le responsable administratif de l'OSU (ITA CNRS IE, 0.2 ETP)
- La secrétaire scolarité (BIATSS catégorie C, 1ETP)
- L'appariteur (BIATSS Catégorie C, ½ ETP)
- L'assistante de direction de l'OSU (BIATSS, Tech 0.2 ETP)
- Le support informatique (BIATSS IE, 0.15 ETP)



L'offre de formation de E-OPGC concerne la Licence mention Sciences de la Terre et le Master Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement. L'E-OPGC porte également la mineure Science de l'Atmosphère et de l'Environnement (SAE) commune à la Licence des Sciences de la Terre de l'E-OPGC et de La licence de Physique de l'École Universitaire de Physique et d'Ingénierie (EUPI).

L'E-OPGC est également fortement impliquée dans le Master Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la formation (MEEF) de l'École Supérieure du Professorat et de l'Éducation (ESPE).



Lettre de mission cellule Hygiène Sécurité et Condition de Travail : UMS 833

1. Composition

La cellule est composée de 5 personnes 2 ITA CNRS et 2 BIATSS UCA ainsi que de la référente risques psychosociaux de l'unité. Elle est en lien étroit avec la direction de l'OSU.

Cette cellule se réunit au moins 4 fois par an. Son responsable est l'Assistant de prévention. Elle rend compte de ses travaux auprès de direction et lors des Assemblée générale de l'UMS 833.

Elle se compose de : P. Beyrie (Assistant de prévention), T. Latchimy, M. Bontemps, A. Faissal, V. Guesneau (risques psychosociaux)

2. Champ de compétence

La mission de la cellule a pour objet principal d'assister et de conseiller la mise en œuvre des règles de prévention de la santé et de la sécurité au travail.

Les missions s'articulent autour de :

- l'amélioration des méthodes et du milieu du travail ;
- l'approfondissement, dans le service, de la connaissance des problèmes de sécurité et des techniques propres à les résoudre ;
- la bonne tenue du registre de santé et de sécurité de l'unité (du service).

Dans ce cadre la cellule s'assurera que les conditions d'exercice en toute sécurité soient respectées.

En particulier elle sera associée aux réunions de préparation de mission de terrain. Elle s'assurera avant chaque départ :

- de l'équipement adéquat des agents
- de l'équipement de sécurité nécessaire
- du calendrier de travaux sur le terrain et au retour de mission en accord avec la réglementation du travail

Elle conseillera la direction pour l'achat des équipements et matériels nécessaires à la protection et la sécurité des agents.

Elle proposera des mesures pratiques et opérationnelles propres à améliorer la prévention des risques.

Elle analysera les documents régissant le travail des agents et proposera des modes de fonctionnement.

PR. N. HURET, Directrice de l'OPGC



ANNEXES 2

| | |
|--|--|
| Acronyme du projet | InV olc |
| Titre du projet | International Graduate School on Volcano in the Terrestrial System |
| Responsable du projet | <i>HURET Nathalie</i> Professeure d'Université, Directrice de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC) |
| Unité(s) de recherche impliquée(s) dans l'EUR | <i>Porteur : Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC)</i> <i>Laboratoire Magmas et Volcans (UMR 6524)</i> <i>Laboratoire de Météorologie Physique (UMR 6016)</i> <i>Unité Mixte de Service (UMS 833)</i> <i>Ecole Doctorale Sciences Fondamentales</i> |
| Champ(s) scientifique(s) du projet | <i>Sciences du Système Terre-Univers-Environnement</i> |
| Projets PIA | <i>Laboratoire d'Excellence ClerVolc (consortium de six laboratoires de l'Université Clermont-Auvergne : LMV, LAMP, OPGC, LIMOS, LPC, LM)</i> <i>I-SITE CAP 20-25 challenge 4 « Risques naturels catastrophiques et vulnérabilité socio-économique »</i> |

Contexte

Les volcans sont l'une des composantes majeures du système Terre. Les aléas volcaniques et la réduction des risques sont au cœur des problématiques scientifiques et économiques mondiales, environ 500 millions de personnes vivant dans des régions menacées par des éruptions. Une meilleure compréhension des interactions entre les systèmes volcaniques, l'environnement, l'atmosphère et les activités humaines est essentielle en ce début de 21^{ème} siècle, à mesure que les densités de population augmentent et que les infrastructures et les économies mondiales deviennent de plus en plus interconnectées.

Pour faire face à ces défis, le **Projet EUR InVolc** a pour objectif de créer, au sein de l'Université Clermont Auvergne, une « Graduate School » qui soit une référence internationale dans la formation de diplômés experts des systèmes volcaniques. Le **Projet EUR InVolc** se fonde sur un lien fort Enseignement-Recherche-Observation-engageant tous les aspects du phénomène 'volcan' : les processus physicochimiques de la formation des magmas en profondeur dans la Terre, la remontée et le stockage de ces magmas sous les volcans, l'éruption du magma et la dispersion des cendres, la formation et le devenir des aérosols et les gaz volcaniques dans l'atmosphère, la quantification des aléas et des risques volcaniques, la gestion des risques au sein des sociétés et la réduction de leurs impacts socio-économiques.

Porté par l'Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) OPGC, le projet **InVolc** s'appuie sur le Laboratoire d'Excellence *CLERVOLC* et son consortium, la formation de Master de l'Ecole OPGC avec ses parcours internationaux, les moyens d'observation de l'OPGC et les moyens de recherche de ses laboratoires. En interaction avec le challenge 4 de l'I-SITE CAP20-25, il contribuera à l'émergence du Master interdisciplinaire

« Risques et catastrophes naturelles ».

L'**Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand (OPGC)** est une composante (école) de l'Université Clermont Auvergne, au sens de l'article L. 713-1 du code de l'éducation, et un Observatoire des Sciences de l'Univers du Centre National de la Recherche Scientifique - Institut National des Sciences de l'Univers (CNRS-INSU). Il porte les formations en sciences de la Terre et physique de l'atmosphère de l'Université Clermont Auvergne (niveaux licence et master) via son **Ecole OPGC**.

L'OPGC rassemble environ 210 personnels et comprend deux laboratoires de recherche (UMR) et une unité mixte de service. Le **Laboratoire Magmas et Volcans (LMV ; environ 140 personnes)** s'intéresse aux magmas depuis leur formation jusqu'à leur éruption à la surface et aux aléas et risques associés. Il a pour tutelle l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) grâce auquel il développe des partenariats forts avec les pays du Sud (Amérique du Sud, Asie). Le **Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP)** s'intéresse à la physique et chimie atmosphérique, aux nuages depuis leurs aspects microphysiques jusqu'à leur impact sur le climat. Le LMV et le LAMP héberge un parc instrumental unique en Europe allant de l'analyse des roches, l'expérimentation sur les magmas, les mesures des composés chimiques et particulaires in-situ au sol et aéroportés. Ils mettent en œuvre des techniques de pointe pour la surveillance des volcans et de l'atmosphère au sol et par satellite.

L'OPGC a en charge plusieurs dispositifs d'observation labellisés par l'INSU dont le site instrumenté **Puy de Dôme/Opme/Céseaux (CO-PDD)**, les Instruments Nationaux « **Presse multi-enclumes** » et « **Plateforme de mesures aéroportées** ». Il intervient dans les services nationaux d'observation : **CLAP** (CLimate relevant Aerosol Properties from near surface observations) pour le secteur Océan-Atmosphère, **SNOV** (Service National d'Observation Volcanologique) et **SNOS** (Service National d'Observation en Sismologie) pour le secteur Terre solide. Il est acteur des projets européens de développement d'infrastructure de recherche dédiée au volcan et à l'atmosphère (European Network of Observatories and Research Infrastructures for Volcanology (EUROVOLC), Aerosol, Clouds, and Trace gases Research Infrastructure (ACTRIS) <https://www.actris.eu>).

I - Analyse SWOT des forces et faiblesses des dispositifs déjà existants au niveau du site sur le champ scientifique et pédagogique couvert par l'EUR

| FORCES | FAIBLESSES |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Excellence scientifique reconnue à l'échelle nationale et internationale exprimée à travers l'évaluation du LabEx CLERVOLC et des UMR, la contribution à de nombreux réseaux internationaux. - Forte identité territoriale. Le volcanisme est un élément structurant fort de l'identité territoriale en Auvergne. - Lien formation-recherche opérationnel dans le cadre de l'Observatoire de Sciences de l'Univers OPGC : Enseignement (Ecole), Recherche (LMV et LaMP) et Observation (UMS). - Gouvernance déjà effective dans le cadre de l'Observatoire de Sciences de l'Univers OPGC. - Engagement des tutelles CNRS et universitaire depuis plus de 30 ans. - Structures nationales dédiées à l'observation et à l'expérimentation favorisant le couplage observation-recherche-formation. - Déclinaison des formations à l'échelle internationale - Partenariats établis avec les pays du Sud grâce à la tutelle IRD : Equateur (Laboratoire Mixte International), Pérou, Chili, Indonésie. | <ul style="list-style-type: none"> - Faible nombre d'étudiants actuellement dans la filière Sciences de l'univers (constat national) - Structuration récente du master « Sciences de la Terre et des planètes, environnement » - Faible nombre de thèses en cotutelle - Partenariats internationaux insuffisamment structurés - Liens socio-économiques faibles - Trop faible développement de la formation continue |
| OPPORTUNITÉS | MENACES |
| <ul style="list-style-type: none"> - Domaines scientifiques d'excellence conformes aux feuilles de route stratégiques européennes (soutien aux projets EPOS, ACTRIS, EUROVOLC). - Poursuite de la démarche d'excellence initiée avec le LabEx CLERVOLC et poursuivie dans le cadre de CAP 20-25 avec l'émergence du « Clermont Risk Center » - Forte attractivité et intérêt sociétal des domaines de recherche (volcanisme, climat, risques naturels). - Internationalisation forte des formations, en particulier vers les pays du Sud, avec le développement de thèses en cotutelle, et une meilleure synergie entre les dispositifs nationaux et internationaux pour la formation en lien avec la recherche. - Développement de réseaux internationaux forts et bien ancrés dans les pays volcaniques (Amérique du Sud, Italie, Islande, Asie du Sud-Est, Canada, USA) et dans les services d'observation globaux (atmosphère). | <ul style="list-style-type: none"> - Investissement socio-économique limité. - Dépassement des capacités d'accueil pour les étudiants : stages de recherche M2 et doctorats. - Débouchés limités pour les doctorants sur un parcours de recherche fondamentale. |

II – Objectifs stratégiques du projet

L'ambition du projet InVolc est de créer à l'Université Clermont Auvergne une « graduate school » reconnue internationalement dans les champs disciplinaires qui sont ceux du LabEx CLERVOLC, avec, à terme, une plus large ouverture vers l'ensemble des sciences impliquées dans la réduction des risques de catastrophes naturelles. Le renforcement des liens entre enseignement et recherche au travers de l'école de l'OPGC, de la capacité

d'observation de l'OPGC, de l'excellence reconnue internationalement des laboratoires impliqués, est au cœur de cette structuration. Ce contexte offrira aux étudiants un cadre idéal pour acquérir des compétences uniques, et sera en mesure d'attirer des étudiants, des enseignants-chercheurs et des chercheurs de haut niveau.

L'originalité du projet InVolc découle du large éventail de compétences fondamentales et technologiques de l'équipe proposante, sa grande expertise en volcanologie, pétrologie, géochimie, météorologie, physico-chimie de l'atmosphère, physique, informatique, mathématiques, économie et sciences humaines et sociales (intégrés au sein du LabEx ClerVolc et du Challenge 4 de l'I-SITE CAP 20-25). Cela permettra d'aborder efficacement les questions fondamentales concernant la dynamique des volcans, leurs émissions et leurs impacts sur l'atmosphère, ainsi que la caractérisation de l'aléa volcanique, la quantification et la réduction des risques associés.

L'orientation stratégique consiste à développer **l'excellence et l'attractivité** via un continuum enseignement/recherche/observation, l'internationalisation, les relations avec monde socio économique, l'innovation, la visibilité au travers de la création du réseau InVolc et l'interdisciplinarité.

III - Description sommaire du programme

a. Ambition scientifique

Le programme InVolc s'organise autour de trois thèmes scientifiques :

- ✓ **Une approche montante** : L'origine du magma à l'intérieur de la Terre, sa remontée et son stockage sous les volcans, et les signaux géophysiques (séismes, déformation...) et géochimiques (gaz) associés.
- ✓ **Une approche descendante** : Les dégazages éruptifs et diffus, leur dispersion et transport sous forme de panaches de cendres, d'aérosols et de gaz, et l'interaction physicochimique des panaches avec l'atmosphère.
- ✓ **Une approche interdisciplinaire** : Une approche quantitative sur les risques volcaniques et leur impact sociétal s'appuyant sur les synergies pluridisciplinaires développées grâce au LabEx CLERVOLC et au Challenge «Risques naturels catastrophiques et vulnérabilité socio-économique» du projet I-SITE CAP 20-25.

Ils sont renforcés par **deux thèmes transverses méthodologiques**, qui rassemblent les diverses expertises du consortium CLERVOLC, moteur d'innovation et résolument tournées vers les nouvelles technologies : Observation, instrumentation, base de données et Modélisation, traitement du signal.

b. Ambition pédagogique

L'ambition pédagogique du projet InVolc est de construire une « graduate school » **internationale** dont l'objectif est de devenir une référence internationale pour la formation de spécialistes de l'étude des phénomènes volcaniques et de leurs conséquences, en attirant les meilleurs étudiants dans le monde, en master et en doctorat.

Cela implique une évolution pédagogique et un élargissement de l'offre de formation actuelle. En rupture avec le passé, en s'appuyant sur les réussites récentes que sont l'Initiative Risque du challenge 4 de l'I-SITE, il est proposé l'ouverture d'un nouveau parcours international de master « Disaster risk reduction and management » en lien avec les thèmes scientifiques portés par le Challenge « Risques naturels catastrophiques et vulnérabilité socio-économique » de l'I-SITE CAP-2025.

c. Dispositif pédagogique

L'existant :

Le diplôme de Master « **Sciences de la Terre et des planètes, environnement** » porté par l'OPGC propose trois parcours : GéoAG (Géologie de l'Aménagement et Géotechnique), MV (Magmas et Volcans) et ScAC (Sciences de l'Atmosphère et du Climat). Il repose sur un socle commun (65%) en première année (M1) débouchant sur une spécialisation plus forte en deuxième année (M2).

Les parcours MV et ScAC sont respectivement associés à **deux masters internationaux**. INVOGE (INternational master on VOLcanologie and GEotechnique) porté par les universités de Clermont-Ferrand, Milan, Buffalo, Michigan et prochainement New Mexico et Vancouver. INMAS (International Master in Atmospheric Sciences) porté par les universités de Clermont-Ferrand, Mayence, Tbilissi, Laramie.

Le programme doctoral est organisé dans le cadre de l'École Doctorale des Sciences Fondamentales de l'UCA qui réunit l'ensemble des doctorants des laboratoires de recherche en chimie, mathématiques, physique et sciences de l'univers.

Le dispositif InVolc :

Le dispositif de formation InVolc se déclinera en quatre parcours de Master basés sur le dispositif actuel (GéoAG, MV, ScAC et ses deux parcours internationaux) et la création du parcours interdisciplinaire « Disaster risk reduction and management », suivis du Doctorat. Au cœur du dispositif **une stratégie pédagogique résolument tournée** vers le

continuum enseignement recherche/observation, l'internationalisation, l'innovation pédagogique, les débouchés et le monde socio-économique, la visibilité du réseau InVolv et la création du parcours interdisciplinaire.

| | |
|--|---|
| <p>AXE 1 : Continuum Enseignement/Recherche/Observation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intégration des chercheurs au dispositif d'enseignement • Intégration étudiants au dispositif de recherche via des projets • Formation des étudiants sur les instrumentations et modèles numériques professionnels .ie des équipes de recherches • Stage de terrain sur les sites d'observation de l'OPGC en France et à l'étranger. | <p>AXE 2 : Internationalisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enseignements en anglais • Dispositifs de soutien aux étudiants français • Formation des enseignants • Accompagnement des étudiants étrangers (cours de français, aide à l'installation) • Politique de développement du doctorat en cotutelle • Bourses de mobilité • Mise en place d'écoles d'été internationales (suivant le modèle des projets ERASMUS+ 3DTelC, et ERASMUS+ intensive) |
| <p>AXE 3 : Enseignements innovants</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formation en ligne ouverte à tous (FLOT-MOOC) • Appels à projet e-learning • Dispositif d'enseignement interactif à distance à destination des pays d'Amérique latine | <p>AXE 4 : Débouchés et monde socio-économique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enseignements dispensés par les acteurs issus du secteur privé • Parrainage de chaque promotion par un acteur du secteur privé • Dispositif d'aide à la recherche de stage dans le secteur privé • Développement de la formation continue |
| <p>AXE 5 : Visibilité : réseau InVolv</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dispositif de suivi des anciens élèves • Création du Réseau international Involv : Enseignants, chercheurs, acteurs économiques, anciens élèves • Actions de communication au travers des réseaux de recherche • Diffusion d'une lettre d'information semestrielle InVolv au Réseau InVolv | <p>AXE 6 : Création du parcours interdisciplinaire</p> <p>Disaster risk reduction and management en interaction avec le challenge 4 de l'I-Site CAP 20-25</p> |

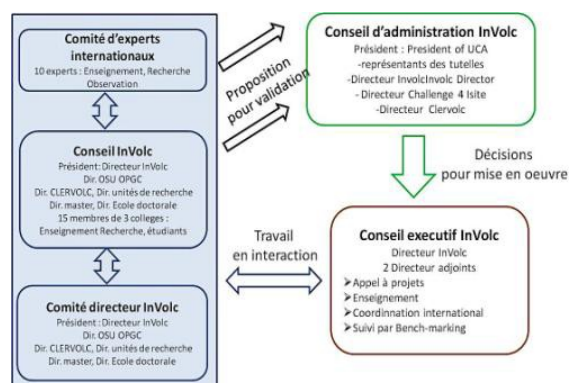
Ce dispositif déployé par **InVolv** sera suivi et évoluera tout au long du projet grâce à une analyse « BenchMarking » incluant l'évaluation par les étudiants du dispositif.

Notre trajectoire est : à court terme de renforcer les filières existantes via une synergie accrue enseignement/recherche/observation, d'augmenter l'internationalisation des parcours, d'améliorer la visibilité nationale et internationale, d'augmenter l'attractivité, d'augmenter les débouchés ; **à moyen terme** d'élargir l'offre de formation avec la création du parcours interdisciplinaire « Disaster risk reduction and management » en interaction avec le challenge 4 de l'I-Site CAP 20-25 ; **à long terme** (objectif à 10 ans) de mettre en place sur le campus un bâtiment dédié InVolv/Ecole OPGC pour la mise en œuvre de dispositifs innovants pédagogiques, en lien avec la recherche, et ainsi finaliser l'identité InVolv afin d'accroître encore sa visibilité pour une meilleur attractivité.







IV - Organisation et pilotage du programme

InVolv sera géré en "mode projet", sans créer une nouvelle entité.

Dans son programme de formation et de recherche, il n'y aura pas de complexité accrue par rapport à l'ancien périmètre du LabEx ClerVolv et en s'appuyant sur le challenge 4 de l'I-Site CAP 20-25. InVolv s'appuiera sur les infrastructures et les services de l'OSU OPGC pour l'administration, la vie étudiante, les services informatiques, etc. Une ébauche organisationnelle est présentée ci-contre.



ANNEXE : Validation du Projet InVoc par les partenaires

| NOM Prénom | Entité | fonction | signature |
|-------------------|--|---|---|
| HURET Nathalie | Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC) Composante de l'Université Clermont Auvergne | Directrice de l'OSU OPGC, de l'école EOPGC, de L'UMS 833 <i>scientifique</i> |  |
| DRUITT Timothy | Consortium LABEX CLERVOLC du PIA | Directeur du LABEX CLERVOLC |  |
| LAPORTE Didier | Laboratoire Magma et Volcans (LMV) UMR 6524 | Directeur |  |
| VAN BAELEN Joël | Laboratoire de Météorologie Physique (LAMP) UMR 6016 | Directeur |  |
| BACHELERY Patrick | Challenge 4 de l'ISITE CA 2025 | Animateur |  |
| MALFREYT Patrice | Ecole doctorale Sciences Fondamentales, Université Clermont Auvergne | Directeur |  |

Introduction

1. Généralité

Une meilleure compréhension du système terre est en enjeu majeur en ce début de 21ème siècle. En particulier les interactions entre les systèmes volcaniques, l'environnement, l'atmosphère et les activités humaines sont essentielles, à mesure que les densités de population augmentent et que les infrastructures et les économies mondiales deviennent de plus en plus interconnectées.

L'**Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand (OPGC)** école interne de l'Université Clermont Auvergne est un Observatoire des Sciences de l'Univers du Centre National de la Recherche Scientifique - Institut National des Sciences de l'Univers (CNRS-INSU). L'OPGC rassemble environ 210 personnels et comprend deux laboratoires de recherche (UMR) et une unité mixte de service.

Le **Laboratoire Magmas et Volcans (LMV ; environ 140 personnes)** s'intéresse aux magmas depuis leur formation jusqu'à leur éruption à la surface et aux aléas et risques associés. Il a pour tutelle l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) grâce auquel il développe des partenariats forts avec les pays du Sud (Amérique du Sud, Asie).

Le **Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP)** s'intéresse à la physique et chimie atmosphérique, aux nuages depuis leurs aspects microphysiques jusqu'à leur impact sur le climat. Le LMV et le LAMP héberge un parc instrumental unique en Europe allant de l'analyse des roches, l'expérimentation sur les magmas, les mesures des composés chimiques et particulaires in-situ au sol et aéroportées. Ils mettent en œuvre des techniques de pointe pour la surveillance des volcans et de l'atmosphère au sol et par satellite.

L'OPGC a en charge plusieurs dispositifs d'observation labellisés par l'INSU dont le site instrumenté **Puy de Dôme/Opme/Céseaux (CO-PDD)**, les Instruments Nationaux « **Presse multi-enclumes** » et « **Plateforme de mesures aéroportées** ». Il intervient dans les services nationaux d'observation : **CLAP** (Climate relevant Aerosol Properties from near surface observations) pour le secteur Océan-Atmosphère, **SNOV** (Service National d'Observation Volcanologique) et **SNOS** (Service National d'Observation en Sismologie) pour le secteur Terre solide. Il est acteur des projets européens de développement d'infrastructure de recherche dédiée au volcan et à l'atmosphère (European Network of Observatories and Research Infrastructures for Volcanology (EUROVOLC), Aerosol, Clouds, and Trace gases Research Infrastructure (ACTRIS) <https://www.actris.eu>)

2. Méthodologie adoptée

La contribution de l'OPGC a été pilotée par le Conseil scientifique de l'OPGC, qui s'est mobilisé afin d'initier les discussions au sein des laboratoires et de manière transverse entre les unités de l'OPGC.

Une fiche réponse type a été mise en place afin de répondre aux mieux aux attentes de l'INSU.

Le contenu de ses fiches a été analysé en conseil Scientifique et présenté en Conseil de l'Observatoire.

au sein de la nouvelle région Auvergne Rhône Alpes (AURA) **Une réunion s'est déroulée entre les directeurs de l'OSU de Lyon de l'OSU de Grenoble et de l'OPGC** afin d'avoir une lecture régionale des sous défis proposés afin d'identifier les axes forts, les complémentarités et niches spécifiques à chacun des sites. Cette prospective INSU nous permettra de développer une synergie régionale avec l'Observatoire de Lyon (OL) et l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG).

PROSPECTIVE INSU : Fiches OPGC

NOM du sous-défi : Domaines INSU concernés (AA-SIC-OA-TS)

Question scientifique :

Mots clés :

Justification scientifique

- *Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?*
 - *Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :*
 - *Projets en cours associés ou envisagés (régionaux, nationaux, européens, internationaux) :*
 - *Autres instituts CNRS concernés ou Fédération de recherche ou autres organismes de recherche*
 - *Lien avec des partenaires privés*
- Autres informations :*

La première partie de ce document présente les titres des sous défis proposés à l'INSU, puis une analyse de leur positionnement dans l'écosystème régional et national/international. Enfin dans la dernière partie les fiches détaillées pour chacun des sous- défis sont présentées.

I. Titre des sous Défis proposés

SOUS DEFIS SCIENTIFIQUES PROPOSES

Défi : Origines

1. Habitabilité des planètes

Défi : Risques et socio écosystèmes

2. Etude des panaches volcaniques depuis le cœur du volcan jusqu'à l'atmosphère

3. Impact environnemental et sanitaire des émissions gazeuses et particulaires en zones volcaniques anthropisées

Défi : Les grandes crises, éclairage du passé pour aujourd'hui

4. Risques littoraux (tsunamis, tempêtes et cyclones)

Défi : Ressources et Cycles naturels

5. Impact climatique du cycle de vie des nuages

6. Le nuage, vecteur et réacteur biologique et chimique : effet sur les processus atmosphériques et sur les écosystèmes

7. Rôle de la bio géo chimie marine sur les émissions atmosphériques et leurs impacts sur les propriétés nuageuses

FOCALISATIONS PROPOSEES

1. **Amérique du Sud** avec villes d'Amérique du Sud où coexistent à la fois des émissions naturelles (volcans) et anthropiques, risque volcanique, impact sanitaire ; urbanisation croissante ; zone atelier où pourraient converger différentes thématiques bien au delà de l'OPGC.
2. **Afrique** : zone sensible où effet du changement climatique serait déjà visible (résultats DACCIWA) ; urbanisation croissante, émissions des polluants atmosphériques (e.g. COV très largement sous estimées actuellement).
3. **Zone de transition tropicale** : Ile de La Réunion (Observatoire Mado), projet Tonga (Nouvelle Calédonie)
4. **Zone australe**

SOUS-DEFIS METHODOLOGIQUE/INSTRUMENTATION PROPOSES

Le Spatial

1. Evaluer les aléas et risques liés au volcanisme : vers une exploitation temps réel des données satellitaires COPERNICUS

Instrumenter l'environnement

2. De l'Expérimentation à l'Observation

3. Miniaturisation de la mesure aéroportée pour l'échantillonnage autonome en environnement extrême

II. Analyse/Positionnement des sous Défis

Le sous défi 1 *Habitabilité des planètes* est un sous-défi proposé par l'OPGC est complémentaire du sous défi de l'Observatoire de Lyon : Terre ancienne, origine de la Vie et crises biologiques, Formation des galaxies et des planètes, Mars et lune

Au niveau régional le sous défi 2 de l'OPGC *Etude des panaches volcaniques depuis le cœur du volcan jusqu'à l'atmosphère* est un sous défi de l'OPGC à fort potentiel de par les unités de recherche qui compose l'OPGC . Ce sous défi est très bien positionné au niveau national en agglomérant une large communauté nationale et internationale.

Le sous défi 3 *Impact environnemental et sanitaire des émissions gazeuses et particulaires en zones volcaniques anthropisées* de l'OPGC pourra s'inscrire dans une stratégie régionale avec les équipes Géomédecine (de l'environnement au diagnostic médical) de l'Observatoire de Lyon et géologie médicale de l'Observatoire de Grenoble

Le sous défi 4 *Risques littoraux (tsunamis, tempêtes et cyclones)* est un sous défi très structurant et très fédérant au niveau de la région AURA.

Les Sous défis 5 *Impact climatique du cycle de vie des nuages* et 6 *Le nuage, vecteur et réacteur biologique et chimique* sont des marqueurs forts du site clermontois côté atmosphère mais avec une visibilité nationale et internationale, de nombreuses collaborations et partenariats public privé.

Le sous défi spatial *Evaluer les aléas et risques liés au volcanisme : vers une exploitation temps réel des données satellitaires COPERNICUS* a été rédigé avec plusieurs membres des OSU de Lyon et de Grenoble, à la fois sur les aspects traitement des données que modélisations. Il fait écho au sous défi Intelligence artificielle - analysent temps réel, interprétation des données parcimonieuses de l'OSUG et à Lyon est en lien avec les travaux sur les données parcimonieuses, interprétation automatique d'images - Mars et le milieu urbain.

Il y a eu la Co-organisation en 2013, 2015, 2017 du workshop « Mesure des déformations par imagerie Satellite », dans le cadre du pôle de données Form@ter. CE sous défi est structurant au niveau régional.

Les questions abordées pour le sous défi *De l'Expérimentation à l'Observation* trouveront écho au niveau national. Ces questions instrumentales sont au cœur des problématique associées à la distribution spatiale/quadrillage des instrumentations dans le cadre des services d'observation et Infrastructure de Recherche.

Concernant enfin le sous défi *Miniaturisation de la mesure aéroportée pour l'échantillonnage autonome en environnement extrême*, les enjeux se déclinent également au niveau de l'OSU de Lyon et de l'OSU de Grenoble via les mesures aéroportées sous drone. Ceci permet de rendre accessibles des zones jusqu'alors non échantillonnées. Cet axe via le porteur drone se développera au niveau de la région AURA en interface avec les trois OSUs.

III. Fiches des sous Défis proposés

SOUS DEFIS METHODOLOGIQUE/INSTRUMENTATION

1. Habitabilité des planètes

Domaines INSU concernés : TS

Question scientifique : *Environnements de la Terre primitive : comment construire une planète habitable ?*

Mots clés : Atmosphère – Manteau – Noyau – Pétrologie expérimentale – Géochimie – Différentiation planétaire -

La Terre se distingue des autres corps planétaires par une dynamique mantellique active couplée à une tectonique des plaques. Ces processus rendent particulièrement difficile l'étude des premiers stades d'évolution de notre planète formée il y a plus de 4,5 milliards d'années. L'évolution de notre planète dépend de la nature des corps qui se sont accrétés pour la former puis des processus qui ont permis sa structuration chimique. La Terre s'est rapidement différenciée pour former la croûte en surface, le manteau et le noyau au centre, ainsi que ses enveloppes externes (hydrosphère et atmosphère). Ce sont les interactions entre ces différentes enveloppes qui ont conduit et contrôlé l'émergence de la vie, mais aussi son maintien et son évolution jusqu'à nos jours. Dans cette prospective nous comptons retracer l'histoire de la Terre depuis sa formation jusqu'au développement des premiers environnements favorables à la vie, en se basant sur l'expérimentation, analyses des échantillons naturels et la modélisation numérique.

Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?

Oui, nous sommes prêts à organiser un « workshop » à Clermont-Ferrand sur le thème de la Terre primitive.

Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :

Laboratoire Magmas et Volcans, INSU, OPGC (Denis Andrault, Nathalie Bolfan-Casanova, Ali Bouhifd, Maud Boyet, Emilie Bruand, Marion Garçon, Tahar Hammouda, Geeth Manthilake, Julien Monteux)

Laboratoire de Météorologie physique, INSU, OPGC (Laurent Deguillaume)

Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, INSU (Hélène Bureau)

Laboratoire d'Etude des Eléments Légers (CEA Saclay), (Hicham Khodja) Physique

ISTO (Fabrice Gaillard)

Muséum National d'Histoire Naturelle (Mathieu Roskosz)

CRPG - Nancy (Evelyn Füri et Yves Marrocchi)

Université de Lausanne, Suisse (Johanna Marin-Carbonne)

Université de Bayreuth, Allemagne (Audrey Bouvier)

Projets en cours associés ou envisagés (régionaux, nationaux, européens, internationaux) :

ERC – ISOREE
ANR – GASTON
Labex ClerVolc

Autres instituts CNRS concernés : INP

2. Etude des panaches volcaniques depuis le cœur du volcan jusqu'à l'atmosphère

Question scientifique :

Une meilleure compréhension de la dynamique des grandes éruptions volcanique et de leurs couplages avec l'atmosphère

Domaines INSU concernés (AA-SIC-OA-TS) : OA-TS

Mots clés : Impact des éruptions volcaniques et du couplage avec l'atmosphère

Justification scientifique

Comme l'a montré l'éruption de l'Eyjafjallajokull (Islande) en 2010, les éruptions volcaniques peuvent causer d'énormes perturbations de l'activité humaine et d'énormes pertes financières pour le trafic aérien.

Pour répondre à ce type de crise il est nécessaire d'améliorer notre connaissance des sources d'aérosols et de gaz d'origine volcanique dans l'atmosphère, leur transport et leur impact en termes de santé humaine, sur l'environnement et le climat et sur le trafic aérien. Pour caractériser cet aléas il est nécessaire de coupler les études depuis la caractérisation des sources d'émissions depuis le cœur du volcan, aux mécanismes d'éjection, de diffusion et de transport jusqu'à l'impact global.

Il s'agit de réunir les communauté scientifiques Terre solide et Atmosphère pour avancer sur ces questions depuis l'étude de processus à petite échelle au sein du panache, à la diffusion à l'échelle régionale en lien avec l'impact à l'échelle globale des émissions gazeuses et particulaire sur le climat. Ces travaux s'effectuent sur la base de mesures à acquérir sur le terrain, mesures satellite et travaux de modélisation aux différentes échelles.

Des travaux autour de ces questions ont été initiés dans le cadre d'initiatives LabEx (ClerVolc – centre clermontois de recherche sur le volcanisme - , VOLTAIRE – volatils terre atmosphère et interactions ressources et environnement) et ANR STRAP, projet Imagetna du LEFE avec une initiative de projet de groupement de recherche européen MIST (modeling, imaging sensing and tracing of émissions and volcanic plumes) dans le but de structurer les actions des différents groupes impliqués sur ces questions scientifiques transdisciplinaires.

[Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?](#)

Un atelier du groupe MIST financé par le PNTS est prévu à l'automne et peut être la base de l'animation de ce sous défi.

Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :

LACy/OSUR, IPGP/OVPPF, OPGC, LPC2E/OSUC, ICARE, LISA, LOA, CNRM, IPGP, LaMP/OPGC, LMV/OPGC, ENS, LMD, ITeP, LA. (Laboratoires ayant participé à la dernière réunion MIST Sept. 2018)

Au niveau international :

Chalmers University (Sweden), Iceland Met office (Iceland), University of Iceland (Iceland), Manchester University (UK), Leeds University (UK), IASB (Belgium)

Projets en cours associés ou envisagés (régionaux, nationaux, européens, internationaux) :

ANR STRAP, Labex ClerVolc, Labex Voltaire, LabEx UnivEarthS, projet Imagetna LEFE-INSU,

Autres instituts ou organismes concernés : INP, INC, BRGM, IRD

Impact environnemental et sanitaire des émissions gazeuses et particulaires en zones volcaniques anthropisées

Domaines INSU concernés : OA - TS

Question scientifique : Comment la coexistence d'émissions gazeuses et particulaires d'origine anthropique et volcanique affecte-t-elle leur impact sanitaire et environnemental ?

Mots clés :

zones urbaines ; gaz ; particules ; cendres volcaniques ; photooxydants ; exposition

Justification scientifique

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la pollution de l'air serait responsable de quelques 3 millions de décès par an. Ce sont principalement les populations vivant en ville les plus exposées et, en particulier, les habitants des villes des pays à faibles revenus qui en subissent, le plus, les conséquences. Les principales sources de pollution de l'air incluent les modes de transport inefficaces, les combustibles ménagers, la combustion des déchets, les centrales électriques alimentées au charbon ou encore les activités industrielles. Ces sources introduisent dans l'atmosphère

des gaz et des particules avec un impact sanitaire avéré. Pour la seule mégapole du Caire (Egypte), des travaux très récents ont attribué 11% des décès non accidentels aux particules fines (PM2.5) soit 12520 morts prématurées annuelles contre 7850 to 10470 liées à l'exposition au dioxyde d'azote (NO₂) (Wheida et al., 2018). Toutefois, l'activité humaine ne constitue pas la seule source de pollution et coexiste souvent avec des émissions d'origine naturelle notamment celles issues des éruptions volcaniques, une réalité très présente dans des régions telle que l'Amérique du Sud ou encore l'Asie du Sud Est. Parmi elles les cendres volcaniques produites par les éruptions explosives respirables au niveau thoracique (< 10 µm) et alvéolaire (<1 µm) représentent un danger important pour les populations vivant dans les zones impactées par les éruptions. Par ailleurs, ces dernières peuvent être remobilisées dans l'atmosphère après leur sédimentation au sol. Evaluer l'impact sanitaire et environnemental (comme par exemple la formation de polluants secondaires) implique de conduire des études transdisciplinaires rassemblant différentes communautés (en atmosphère, volcanologie, médecine, toxicologie, épidémiologie). Cela demande de combiner différentes approches à la fois de terrain et de laboratoire afin de lever en premier lieu des verrous méthodologiques (e.g. caractérisation physico-chimique de la fraction fine des cendres, mode de collecte in-situ, stratégie d'observations compte tenu de la variabilité spatiale et temporelle des émissions, sporadique pour les émissions volcaniques éruptives et horaire et saisonnier pour les émissions anthropiques, stratégie de séparation et collection de la fraction granulométrique la plus fine, choix des fonctions dose-réponse pour l'estimation de l'impact sanitaire).

[Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?](#)

Oui.

[Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :](#)

Observatoires Volcanologiques Français de l'Institut de Physique du Globe de Paris (La Réunion, Guadeloupe, Martinique), Observatoires atmosphériques (ACTRIS-FR) (dont France, Ile de La Réunion), Réseaux de surveillance de la qualité de l'air

National : Consortium national pour la préparation d'un ANR "Volcanic ash: a cocktail of contaminants for human health" incluant: (1) UCA (LMV+OPGC+ LIMOS), (2) IPGP, Institut de Physique du Globe De Paris (OVPF, OVSM, OVSG), (3) ICCF/SIGMA, Institut de Chimie de Clermont Ferrand (4) UCA-GReD, Laboratoire de Genetique Reproduction & Development et (5) Paris 7, Département de Biologie Fonctionnelle & Adaptative.

International:

- Laboratoire Mixte International IRD "Séismes et Volcans dans les Andes du Nord"
- Projet WOW de l'I-SITE (accueil d'un chercheur toxicologue de l'US Geological Survey)
- Actions du chantier Méditerranée MISTRALS : ChArMEx/TRANSEMED, axe transverse Pollution et Microcontaminants
- POLCAIR (Air Pollution in Greater Cairo) – Doctorat en cours de Mohamed Boraiy (co direction franco-égyptienne LaMP avec l'Université de Port Saïd en Egypte)

Projets en cours associés ou envisagés (régionaux, nationaux, européens, internationaux) :

- projet I-SITE CAP 20-25- Challenge 4 "ASH : Ash Study for Health" ; Labex ClerVolc

[Autres instituts CNRS concernés ou Fédération de recherche ou autres organismes de recherche](#)

ICCF/SIGMA : INC, UCA-GReD : INSB

IRD(Partenaires IRD en Equateur (IG-EPN), au Pérou (INGEMET) et en Indonésie (CVGHM)

INSERM

Autres informations :

Si les émissions naturelles ici se rapportent aux émissions volcaniques, les mêmes problématiques se posent pour d'autres émissions naturelles même si elles ne mettent pas en jeu les mêmes processus : émissions biogéniques versus émissions anthropiques (exemple des villes des moyennes latitudes avec des régimes chimiques limités en COV - Composés Organiques Volatils - et où se pose la question du rôle des COV d'origine biogénique dans un contexte de changement global), émissions de poussières désertiques lors de tempêtes de sable versus émissions désertiques (cas des villes aux abords des déserts comme la mégapole du Caire), émissions marines versus émissions anthropiques (cas des villes côtières)

3. Risques littoraux (tsunamis, tempêtes et cyclones)

Domaine de l'INSU : OA, SIC, TS

Question scientifique : Comment intégrer les données géologiques et historiques dans l'évaluation du risque de submersion marine ?

Justification scientifique : Les catastrophes naturelles représentent un coût global de plus en plus élevé : 1713 milliards de dollars entre 1980 et 1999, 2928 milliards de dollars entre 2000 et 2017 (source : MunichRe). L'addition aura bientôt doublé en 20 ans. Les aléas affectant les littoraux, et notamment les tsunamis et les cyclones, représentent à eux seuls la moitié des coûts engendrés par les catastrophes naturelles. Le tsunami de 2011 au Japon (*Tohoku-oki earthquake*) illustre parfaitement cette tendance, avec un coût estimé à plus de 250 milliards de dollars, incluant à la fois les destructions directes et les impacts à moyen terme (coût de la reconstruction, gestion des déchets radioactifs de la

centrale de Fukushima, etc.). Le cyclone Irma, d'une intensité sans précédent sur l'Atlantique, a dévasté l'île de Saint-Martin en endommageant à divers degrés 95% du bâti. La vulnérabilité des milieux littoraux est en partie due au fait qu'ils concentrent de nombreuses activités humaines (fortes densités de populations, infrastructures industrielles, etc.). En termes de risque, les littoraux sont donc des zones aussi sensibles que stratégiques. La réduction des risques liés aux tsunamis, tempêtes et cyclones est donc un défi interdisciplinaire dans lequel l'INSU a un rôle prépondérant à jouer. Les côtes françaises sont concernées : tsunamis et cyclones dans les Antilles, à La Réunion et dans le Pacifique, tempêtes sur la façade Atlantique et en Méditerranée. Les géologues et géophysiciens français sont également très présents sur des cibles internationales telles que la côte Pacifique d'Amérique du Sud (Pérou, Chili), le Japon et le Sud-Est asiatique (Indonésie, Taïwan, etc). Sur le plan opérationnel, la communauté scientifique française est impliquée dans les groupes de coordination de la Commission Océanographique Intergouvernementale (IOC) de l'UNESCO en charge de la mise en place de systèmes d'alerte aux tsunamis dans les quatre bassins tsunamigéniques mondiaux (Pacifique, Océan Indien, Caraïbe et Méditerranée/Atlantique nord-est).

Objectifs identifiés

- *Approfondir les critères d'identification des paléo-crisis dans les séquences sédimentaires*
- *Améliorer les modèles inverses dépôts – inondation,*
- *Développer les modèles numériques capables de simuler les paléo-inondations*
- *Assurer la transition entre l'approche déterministe et l'approche probabiliste de l'aléa submersion marine.*
- En termes d'**évaluation des risques**, il s'agit à terme de combiner les données des PTHA ou PSHA (*Probabilistic Storm Hazard Assessment*) avec les données de vulnérabilité humaine et structurelle (ex. fragilité bâti, des réseaux) pour construire des PTRA ou PSRA (*Probabilistic Tsunami or Storm Risk Assessment*).

Le projet COST 2018 AGITHAR « *Accelerating Global science In Tsunami Hazard and Risk analysis* » fournira un cadre de discussions sur les méthodes PTHA et PTRA à l'échelle européenne.

[Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?](#)

Oui ce projet est fédérant au niveau régional.

[Un réseau de chercheurs dépassant les frontières de l'INSU :](#)

laboratoires de l'INSU : LMV, IsTerre, EPOC, Géoazur, CEREGE, LGO, IPGP, IPGS, OPGC, OASU, OSUG, Pythéas, EOST). Service National d'Observation DYNALIT l'INSU.

[Autres instituts CNRS concernés ou Fédération de recherche ou autres organismes de recherche](#)

unités interdisciplinaires INEE-INSHS telles que CHRONO-ENV (Besançon), LIENSs (La Rochelle), EDYTEM (Chambéry), le LGP (Meudon), le GRED (Montpellier), le LETG (Brest), INSYS : (SIAME à Anglet, IMFT à Toulouse, UPMC à Paris, FAST à Orsay. Le

Le CEA et le BRGM sont concernés en tant qu'acteurs directement impliqués dans la prévention des risques sur le territoire français. L'Ifremer par ses connaissances dans le milieu marin est aussi un partenaire intéressé.

4. Impact climatique du cycle de vie des nuages

[Domaines INSU concernés](#) : OA

[Question scientifique](#) : Quel est l'Impact climatique du cycle de vie des nuages ?

[Mots clés](#) : nuage, impact climatique, évènements extrêmes, processus multi-échelles, synergie observation-modélisation

[Justification scientifique](#)

Dans le cadre d'un changement climatique, la compréhension fine du cycle de vie des nuages (formation, temps de vie, évolution à différents endroits de la planète) est fondamentale pour cerner leurs impacts sur les projections climatiques et les risques associés sur l'activité anthropique (évènements extrêmes, sécheresse, inondation, etc...). A ce jour, l'impact du changement climatique sur les nuages et leur rétroaction sur le climat sont parmi l'une des inconnues les plus fortes des divers scénarii de projection.

Les nuages couvrent en moyenne 70% de la surface terrestre et jouent un rôle fondamental sur le bilan hydrologique et énergétique du système terre-atmosphère. Constitués de gouttelettes d'eau et de cristaux de glace, ils sont le siège de processus chimiques, dynamiques, thermodynamiques, microphysiques et radiatifs complexes qui s'opèrent à différentes échelles spatio-temporelles, allant de l'échelle de la molécule (formation des aérosols et des noyaux de nucléation) jusqu'aux échelles régionale et globale (précipitation, taux de chauffage, dynamique, impact orographique, etc...).

L'étude du cycle de vie des nuages dans différentes régions du globe (zones polaires, latitudes moyennes, tropiques) s'appuie d'une part sur l'observation « in-situ » et par télédétection (à partir du sol, de plateformes aéroportées et spatiales) et d'autre part sur la modélisation multi-échelles (processus à microphysique détaillée, large-eddy-simulation-LES, méso-échelle, modèle climatique). Dès lors, l'étude du cycle de vie des nuages nécessite la coordination d'une large communauté scientifique couvrant de nombreuses compétences scientifiques en physique de l'atmosphère, ingénierie de la mesure, mathématique, informatique et modélisation.

[Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?](#)

Oui, avec une thématique forte sur l'impact de la microphysique des nuages froids sur le cycle de vie des nuages

[Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :](#)

LaMP, LATMOS, LOA, LMD, LA, LACy, CNRM, IGE

OPGC, OMP, MAIDOI

ACTRIS-FR, ACTRIS-EU

[Projets en cours associés ou envisagés \(régionaux, nationaux, européens, internationaux\) :](#)

I-SITE axes1/4

ANR HIGH-TUNE, ANR EXAEDRE, ANR DIP NAWDEX, MPC2 (ANR premier tour acceptée)

Projets LEFE-IMAGO, PNTS, CNES/EECLAT, CNES/PMA, CNES/COPPD

INSU, CNES, ESA

HYMEX, AC3, MOSAIC, EUREC4A, ICE-GENESIS, MORECALCAL, C3IEL

[Autres instituts CNRS concernés ou Fédération de recherche ou autres organismes de recherche](#)

Fédération FRE INEE

[Lien avec des partenaires privés](#)

Industrie aéronautique (Airbus, etc...)

Weather Measure

[Autres informations :](#)

Lien avec les ateliers AMA

Lien avec le GDR DEPHY2

Lien avec le projet MESCAL

5. Le nuage, vecteur et réacteur biologique et chimique : effet sur les processus atmosphériques et sur les écosystèmes

[Domaines INSU concernés : OA](#)

[Question scientifique](#) : Le nuage, vecteur et réacteur biologique et chimique : effet sur les processus atmosphériques et sur les écosystèmes.

[Mots clés](#) : Atmosphère – Nuage – Processus chimique, biologique – Biodiversité –

[Justification scientifique](#) :

Des particules solides sont émises directement depuis la surface (sol, océan, végétation, activité anthropique) ; jusqu'à 40% de ces particules pourraient être d'origine biologique. Les aérosols biologiques sont concernés par différentes problématiques atmosphériques incluant la santé, la météorologie et le climat de par leur rôle de noyaux de condensation nuageuse et/ou de noyaux glaçogènes, leurs effets sur les aérosols déliquescents et leur impact sur le bilan radiatif. La chimie atmosphérique est modifiée par la présence de ces particules vivantes car les microorganismes vivants dans les nuages comme les bactéries consomment et produisent des composés chimiques. Le nuage peut également être vu comme un milieu permettant le transport de microcontaminants ou encore la dissémination d'organismes biologiques dans l'atmosphère. Les mécanismes de précipitation amènent au transfert de cette matière abiotique et biotique vers d'autres écosystèmes. Finalement, la présence de nuages (70% de la surface terrestre) pose la question de leur rôle dans la modification de la composition chimique atmosphérique et du transfert de matière vers d'autres compartiments environnementaux. Evaluer leur rôle se base sur l'analyse d'échantillons de nuage et de précipitations (gaz, aérosols, gouttelettes, biodiversité) en conditions naturelles variées, sur des expériences en laboratoire et sur la modélisation numérique.

[Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?](#)

Oui, nous sommes prêts à organiser un « workshop » à Clermont-Ferrand.

[Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :](#)

Laboratoire de Météorologie Physique, INSU, OPGC (Laurent Deguillaume, Agnès Borbon, Aurélie Colomb, Evelyn Freney, Joël Van Baëlen)

Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, INC (Anne-Marie Delort, Pierre Amato, Gilles Mailhot, Marcello Brigante)

Laboratoire Microorganismes : Génome et Environnement (Didier Debroyas, Delphine Latour)

Fédération des recherches en Environnement (CNRS FR 3467 INEE, INRA)

Institut des Géosciences de l'Environnement, INSU (Jean-Luc Jaffrezo, Didier Voisin, Stephan Houdier)

Laboratoire d'Aérodynamique, INSU (Maud Leriche)

Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones, INSU (Pierre Tulet, Valentin Duflet)

Unité de Pathologie végétale, INRA, Avignon (Cindy Morris)

Laboratoire TROPOS, Allemagne (Hartmut Herrmann)

[Projets en cours associés ou envisagés \(régionaux, nationaux, européens, internationaux\) :](#)

Projet Symbiose CPER 2015-2020 (Fédération des Recherches en Environnement)

ANR BIOMAIDO (2019-2022)

[Autres instituts CNRS concernés :](#) INC, INEE

6. Rôle de la bio géo chimie marine sur les émissions atmosphériques et leur impacts sur les propriétés nuageuses

[Domaine INSU concerné :](#) OA

[Mots clés :](#) Interaction océan-atmosphère – biogéochimie - Aérosol- Nuage

L'océan est une source importante de particules atmosphériques, soit émises mécaniquement par l'action du vent sur la surface de l'eau, soit formées dans l'atmosphère à partir de précurseurs gazeux émis par les microorganismes marins. Dans les régions éloignées des sources de particules anthropiques (majoritairement dans l'hémisphère sud), ces sources marines peuvent impacter considérablement la formation nuageuse et leurs propriétés (épaisseur optique, temps de vie, etc.). Une partie des recherches qui seront menées dans les 5 prochaines années portera sur l'étude du rôle de la biogéochimie marine sur la nature et quantité d'émissions d'aérosols dans l'atmosphère, et finalement sur les propriétés nuageuses. Cette recherche nécessitera une interaction forte entre atmosphériciens et biogéochimistes marins. La transversalité océan-atmosphère sera enrichie de l'étude du rôle des sources hydrothermales sous-marines sur la biogéochimie marine et en cascade sur les émissions atmosphériques.

[Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?](#)

C'est possible

[Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :](#)

LaMP, OPGC (Karine Sellegrì, Clémence Rose, Evelyn Freney, Céline Planche, Olivier Jourdan, Guillaume Mioche)

Laboratoire Magma et Volcan, OPGC (Franck Donnadiou)

LATMOS, IPSL (J. Delanoë, J. Pelon)

LaCY OPAR (Pierre Tulet, Valentin Dufлот)

LOV, Observatoire de Villefranche (Cécile Guieu, Frederic Gazeau)

MIO, OSUPytheas, (S. Bonnet, G. Gregori, M. Thyssen)

LISA, EFFLUVE (K. Desboeufs)

NIWA (National Institute for water and atmospheric research), Nouvelle-Zélande (C. Law, M. Harvey)

CSIRO, Melbourne, Australia (M. Keywood, R. Humphries)

[Projets en cours associés ou envisagés \(régionaux, nationaux, européens, internationaux\) :](#)

Projet ERC Sea2Cloud (2019-2023)

Projet ANR TONGA (2018-2020)

Projet MAP-IO (Equipement Marion Dufresne)

Le spatial

1. Aléas et risques liés au volcanisme : Vers une exploitation temps réel des données satellitaires COPERNICUS

Domaines INSU concernés : TS (pôle de données Form@ter)

Question scientifique : Mieux évaluer les aléas et risques liés au volcanisme (éruptions, déstabilisations de flancs), aux glissements de failles ou aux tsunamis implique de savoir rapidement quantifier et analyser les déformations mesurées régulièrement par le radar du satellite Sentinel-1. Le défi actuel est d'extraire rapidement les informations pertinentes des gros volumes et flux de données acquis, en fournissant des méthodes basées sur la fouille de données et l'intelligence artificielle, et en s'appuyant sur la modélisation et la combinaison avec des données sol.

Mots clés : Déplacement du sol, Aléas et risque volcanique, aléas sismique, aléas lié aux tsunamis, Données satellitaires, Sentinel-1, Données GNSS, intelligence artificielle, fouille de données, plateformes de services, modélisation

Justification scientifique

L'estimation des aléas et risques liés au volcanisme, failles et tsunamis à partir de la **masse de données** fournie par les **satellites Sentinel** (>10 To / jour) constitue un défi majeur pour la communauté des Sciences de la Terre et de l'Environnement. Les différentes initiatives de **plateformes de données, de calcul et de services** telles que développées dans les nouvelles Infrastructures de Recherche "Système Terre" (Pôles de données ForM@Ter, Theia, Odatis, AERIS) au niveau national et EPOS au niveau européen, ainsi que les plateformes développées par les agences spatiales (PEPS-CNES, GTEP-ESA) apportent de premiers éléments de réponse à ce défi. Cependant, pour exploiter pleinement les opportunités offertes par le programme **COPERNICUS**, de façon globale et dans des conditions se rapprochant, autant que possible, du **temps réel**, l'élaboration et la mise en œuvre de **stratégies novatrices adaptées à l'analyse de gros volumes de données** en temps court sont indispensables. Ainsi, les recherches futures devront utiliser les techniques de **fouille de données** et d'**intelligence artificielle** (apprentissage profond, PCI, ACI), de **combinaison d'observations** (assimilation de données multi-capteurs, etc ...) en s'appuyant sur l'**analyse et la modélisation des données COPERNICUS, de données de capteurs au sol** et de productions participatives (réseaux sociaux, crowdsourcing, etc ...).

Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ? Nous collaborons avec les OSU de Lyon et Grenoble et Grenoble est leader avec le développement d'une chaîne de traitement des données du radar satellitaires.

Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales : Collaboration de J.L. Froger et V. Cayol avec plusieurs membres des OSU de Lyon et de Grenoble à la fois sur les aspects traitement des données que modélisations. Co-organisation en 2013, 2015, 2017 du workshop «Mesure des déformations par imagerie Satellite », dans le cadre du pôle de données Form@ter

Projets en cours associés ou envisagés (régionaux, nationaux, européens, internationaux) : Collaborations avec divers autres utilisateurs de données Sentinel à l'IPGP (co-encadrement de la thèse de T. Sheve avec R. Grandin), l'OSUG (Co-encadrement de la thèse de D. Smittarello avec V. Pinel, collaboration de V. Pinel au post doc de T. Le Thu), collaboration avec l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (A. Peltier, intégration données GPS et InSAR), collaboration avec Penn State (demande de bourse Chateaubriand pour un co-encadrement de la thèse de J. Gonzales avec C. Wauthier), collaboration envisagée avec T. Bodin de l'OL.

Autres instituts CNRS concernés ou Fédération de recherche ou autres organismes de recherche : INS2I

Autres informations : sous-défis élaboré en concertation avec des chercheurs des OSU de l'EOST, l'IPGP, l'IUEM, l'OCA, l'OL, l'OMP, l'ONUSA, l'OPGC, et l'OSUG

Instrumenter l'environnement

2. De l'Expérimentation à l'Observation

Domaines INSU concernés : SIC-OA-TS

Question méthodologique : Quelles sont les particularités de l'Observation par rapport à l'Expérimentation ?

Mots clés : Observation, Autonomie, Automatisation, Pérennisation, Sécurisation, Standardisation

Justification méthodologique :

Il existe un grand nombre de points communs entre expérience et observation. Mais il existe aussi de nombreuses différences. Notamment, pour l'observation :

- les mesures se veulent pérennes et continues dans le temps. Les données doivent être stockées et archivées
- la mise à disposition des données d'observation impose une standardisation du format de ces données ;
- la présence humaine devrait être réduite, les instruments devraient produire des données le plus automatiquement que possible ;
- les instruments déployés sur le terrain doivent être autonomes énergétiquement. Ils doivent se trouver dans des infrastructures sécurisées dans tous les sens du terme (environnement climatique, humain), et ne doivent pas présenter un danger eux-mêmes ;
- malgré la durée des observations, les instruments évoluent. Il faut donc pouvoir maintenir les observations tout en mettant à niveau l'instrumentation ;
- le personnel dédié à l'observation doit être permanent et qualifié
- l'expérience des uns et des autres doit être capitaliser
- des crédits récurrents et adaptés sont nécessaires pour le maintien à un haut niveau de qualité et pour assurer la pérennité des mesures.

Toutefois, on notera que la plupart des défis mentionnés ici sont déjà relevés lorsque les moyens financiers et humains alloués sont à la hauteur.

Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales : Actris-FR, SNOV, RESIF

3. Miniaturisation de la mesure aéroportée pour l'échantillonnage autonome en environnement extrême

Domaines INSU concernés: OA et TS

Question technologique : Caractérisation des systèmes atmosphériques ou terrestres : comment améliorer notre capacité de mesure en environnement extrême ?

Mots clés : miniaturisation, autonomisation, mesure aéroportée, gestion de données, synergies instrumentales

Justification technologique :

Les mesures aéroportées, in situ ou de télédétection, sont aujourd'hui une source de connaissance importante en volcanologie et sciences de l'atmosphère, notamment pour documenter la structure interne des volcans ou des systèmes hydrothermaux, ou caractériser les processus physico-chimiques atmosphériques. Elles sont aussi primordiales pour la validation de produits satellitaires.

Moyennant miniaturisation des capteurs et autonomisation des mesures embarquées, l'essor des vecteurs aériens inhabités, dont la trajectoire peut être définie et contrôlée à distance, offre une opportunité unique d'adapter la capacité de mesure à l'étude de processus multi-physiques et multi-échelles par nature, en s'affranchissant des contraintes opérationnelles liées aux vecteurs aériens usuels (avions de recherche, ballons).

Avec pour objectif d'augmenter la portabilité (gain en compacité, masse, consommation énergétique, coût) des instruments aéroportés, ce défi technique permettrait de : 1) développer des synergies instrumentales par l'augmentation du nombre de mesures colocalisées (mesures de gaz type SO₂ ou CO₂, spectre de taille de particules, P, T, hygrométrie, vitesse de l'air, gravimétrie, magnétisme, thermographie IR...), 2) améliorer la résolution spatiale et temporelle (densification des mesures, suivi lagrangien, ...), 3) disposer d'une gamme de mesures étendue et d'une résolution adaptée (utilisation de capteurs en

cascade), 4) d'explorer des zones dangereuses (panaches volcaniques, cœur convectif des nuages d'orage) ou non facilement accessibles, 5) d'optimiser la charge utile à la réalisation de missions de longue durée/longue distance, 6) d'adapter l'échantillonnage en fonction des conditions rencontrées. Conséquence de la multiplication des capacités de mesures et de l'allongement de la durée des missions, cet effort instrumental s'attachera également à résoudre la problématique du transfert ou du stockage de données ainsi que la consommation d'énergie.

[Souhaitez-vous organiser sur le site clermontois un atelier sur ce thème ?](#)

[Laboratoires, OSU, infrastructures de recherche concernées et collaborations nationales/internationales :](#)
OPGC, LaMP, LMV

[Projets en cours associés ou envisagés \(régionaux, nationaux, européens, internationaux\) :](#)
Miniaturisation d'un CPC (envisagé), développement d'un capteur multi-gaz (en cours)

[Autres instituts CNRS concernés ou Fédération de recherche ou autres organismes de recherche :](#)
ONERA

Presses Multi-Enclumes

Instrument National (IN)

Adresse URL du site web du service : <http://lmv.univ-bpclermont.fr/presses-multi-enclumes/>

Résumé du service (1/2 page maximum) :

La presse multi-enclumes du Laboratoire Magmas et Volcans permet de générer des pressions comprises entre 2 GPa plus de 26 GPa pour des températures pouvant atteindre 2000°C (la limitation vient essentiellement des sondes de mesure). Du fait du bon contrôle sur les conditions P-T des expériences, de la faiblesse des gradients thermiques, de la quasi-absence de gradient de pression à haute température, ainsi que de la taille importantes des échantillons (par rapport aux outils de caractérisation disponibles, microscopes optiques, microsondes électroniques ou ioniques, microscopes électroniques à balayage ou en transmission, systèmes à ablation laser, micro spectromètres à effet Raman ou à infrarouge), la presse multi-enclumes est un instrument privilégié pour les synthèses ou l'étude des équilibres de phases à hautes pressions et températures. Les systèmes étudiés peuvent être constitués de solides, de liquides ou de fluides, puisqu'on a la possibilité de travailler en capsules fermées. Le module DIA permettra de produire des pressions bien supérieures à 30 GPa à l'aide d'enclumes ultra-dures (en diamant fritté).

Notre Instrument National inclus 2 presses, l'une de 1000 tonnes installée en 1996, et l'autre de 1500 tonnes installée en 2010 (voir Figure 1). L'instrument National offre un accès à tous les utilisateurs de l'INSU. Notre première presse est équipée d'un module de Walker. Ce module permet des synthèses en routine dans toutes les conditions du manteau supérieur. Le troisième module (DIA-type) est en cours d'installation et il sera couplé à la presse 1000 T.

Notre parc de presses est appuyé par un atelier de mécanique moderne équipé d'un tour et d'une fraiseuse, tous deux à commandes numériques, ce qui fait de notre laboratoire le seul en France, et le second en Europe, à produire en série les assemblages nécessaires à ce type d'expériences. Nos outils de préparation (four, polissage, etc...) ainsi, si besoin, que nos instruments de caractérisation physico-chimique (MEB, Raman) sont également ouverts aux utilisateurs pour assurer le suivi des synthèses, sur place.

Nom du responsable : [Geeth Manthilake, Chargé de Recherche au CNRS. geeth.manthilake@uca.fr](mailto:geeth.manthilake@uca.fr)

Laboratoire : [Laboratoire Magmas et Volcans](#)

OSU ou établissement/organisme de rattachement : [OPGC](#)

Autres organismes associés : [aucun](#)

Labellisation dans la continuité d'une labellisation existante depuis 2010

Lien avec une IR ou TGIR (oui/non) : [IR REGEF](#)

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

La 1500 t presse est équipée d'un module de compression de géométrie "Cylindre-Coupé" qui nous a permis récemment un gain de pression d'au moins 20% pour chaque type d'assemblage expérimental. Il permet par exemple de générer des pressions de plus de 24 GPa, à haute température, ce qui permet de synthétiser les assemblages minéralogiques du manteau inférieur et de produire leur fusion. Nous avons ainsi étudié l'effet de la fugacité d'oxygène sur l'incorporation du Fe³⁺ lors de la cristallisation de la bridgmanite (Boujibar et al., 2015c). Notre première presse est équipée d'un module de Walker. Ce module permet des synthèses en routine dans toutes les conditions du manteau supérieur. Le troisième module (DIA-type) est en cours d'installation couplé à la presse 1000 t. Le DIA module permettra (i) de produire des pressions bien supérieures à 30 GPa à l'aide d'enclumes ultra-dures (en diamant fritté). Ce module, a déjà été testé sur la ligne PSYCHE à Soleil et ce jusqu'à 42 GPa et à des températures dépassant les 2000 K. Il Permet de réaliser des études *in situ* à haute pression et de température.

Nous avons par ailleurs développé les mesures de conductivité électrique (voir Manthilake et al., 2015). Les mesures des vitesses acoustiques à haute pression et haute température sont en cours de mise en place. Enfin, les mesures de conductivité thermique sont prévues pour l'année 2016. Ces dépenses ont été financées par le Labex ClerVolc sur des problématiques liées à la fusion du manteau.

Valorisation des projets accueillis en SN et rayonnement de l'instrument

Depuis 2015, nous avons réalisé 480 expériences dont 20% pour le compte des chercheurs externes (21 projets). Les expériences des externes ont conduit sur la même période à la publication de 27 articles dans des revues internationales avec comité de lecture. Par ailleurs, nous participons régulièrement aux actions de formation aux techniques de hautes pression organisées par le réseau des hautes pressions du CNRS (MITI, ex-MI). Sur la période de références, deux formations ont eu lieu.

Nous sommes présents aux 'user meetings' des synchrotrons (SOLEIL, ESRF). Nous avons participé à l'organisation d'un atelier sur les techniques d'émission acoustiques au synchrotron APS en 2016. L'équipe de l'instrument national a participé à l'organisation du symposium international de minéralogie, pétrologie et géochimie (EMPG-XVI) à Clermont-Ferrand en 2018.

Derniers développements

Nous avons par ailleurs développé ces quatre dernières années les mesures de conductivité électrique (voir Manthilake et al., 2015), les mesures des vitesses acoustiques et les mesures de conductivité thermique à haute pression et haute température. Ces dépenses ont été financées par le Labex ClerVolc sur des problématiques liées à la fusion du manteau. Le module DIA permet de réaliser des études *in situ* à haute pression et température sous un faisceau de rayons X sur l'anneau synchrotron SOLEIL. Le troisième module (DIA-type) est en cours d'installation couplé à la presse 1000 T. Le module DIA permettra (i) de produire des pressions bien supérieures à 30 GPa à l'aide d'enclumes ultra-dures (en diamant fritté, en effet la limite fragile des enclumes classiques en WC, carbure de tungstène, est atteinte entre 26 et 30 GPa). Ce module, a déjà été testé sur la ligne PSYCHE à Soleil et ce jusqu'à 42 GPa et des températures dépassant les 2000 K. Il permet de réaliser des études *in situ* à haute pression et température.

Mode de fonctionnement de l'instrument en tant que service national, partage du temps d'utilisation de l'instrument dévolu à l'activité de service (répartition entre les différentes tutelles le cas échéant), aux activités de développement analytique et aux activités propres de l'unité

Nous avons effectué un gros effort de maintenance et de développement afin de rendre notre parc d'appareils le plus efficace possible :

- Automatisation de la presse 1000 tonnes, ce qui la rend plus facile d'utilisation.
- Système de chauffage de la presse 1500 tonnes entièrement fait maison. Ce système a été récemment amélioré afin d'avoir le suivi de tous les paramètres de chauffage en fonction du temps (température, puissance et résistance du four).
- Ce système de chauffage a été transposé à la presse de la ligne de lumière Psiché sur le synchrotron SOLEIL, et a été développé en collaboration avec le service Technique de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont.
- Développement et fabrication d'un module (100) dédié aux expériences *in-situ*. Ce module a été testé à Soleil sur la ligne de lumière Psiché en novembre 2013. Nous prêtons actuellement ce module à Psiché le temps que le leur soit prêt.
- Achat (financement Labex ClerVolc) des appareils de mesures *in-situ* (oscilloscope et impédancemètre) et mise au point des mesures de conductivité électrique, thermique et vitesses des ondes P et S : ces travaux sont conduits par G. Manthilake, un doctorant (D. Freitas) et un post-doctorant Labex (J. Chantel).

Résultats marquants (depuis 2015)

1. Confirmation expérimentale de la présence d'une fine couche partiellement fondue entre 350 et 410 km de profondeur dans le manteau (*Nature Communications* le 19 Décembre 2017)

La structure et la dynamique interne de la Terre ont un fort impact sur les phénomènes géologiques se produisant à la surface du globe, comme le volcanisme et la tectonique des plaques. Depuis plusieurs années, certains modèles basés sur l'analyse des ondes sismiques proposaient la présence de magmas à plusieurs centaines de kilomètres de profondeur dans le manteau terrestre. Ces magmas pourraient jouer un rôle majeur dans le cycle de certains éléments chimiques à l'échelle planétaire, en particulier l'eau et les alcalins. Une équipe de chercheurs du Laboratoire Magmas et Volcans à Clermont-Ferrand a reproduit expérimentalement les conditions régnantes à la base du manteau supérieur entre 350 et 410 km de profondeur (soit 12-15 GPa et environ 1400°C). Ils ont observé la fusion partielle des roches mantelliques tout en mesurant *in situ* la vitesse de propagation des ondes sonores et la conductivité électrique. Les signaux mesurés expérimentalement sont tout à fait compatibles avec les mesures géophysiques, ce qui confirme la présence d'une fine couche partiellement fondue à ces profondeurs, dans le manteau. Ces travaux ont été publiés dans la revue *Nature Communications* le 19 Décembre 2017.

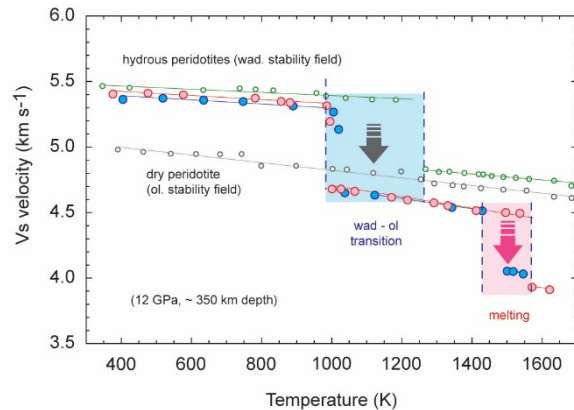
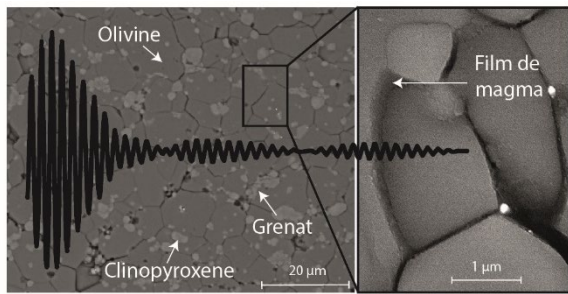


Figure 1 : Microphotographies des échantillons étudiés montrant les différentes espèces minérales composant les roches ainsi que les fins films de magmas à l'échelle micrométrique. Un exemple d'ondes sonore/sismiques mesurées pendant l'expérience a été inséré en noir. Vitesse des ondes sonores de roches partiellement en fusion à haute pression et haute température.

2. Pas d'océan caché dans le noyau terrestre (Clesi et al. (2018) Low hydrogen contents in the cores of terrestrial planets, Science Advances, doi:10.1126/sciadv.1701876)

Déterminer la composition chimique du noyau terrestre est un grand défi que les scientifiques essaient de relever depuis plusieurs décennies. En particulier, la teneur du noyau en hydrogène (élément considéré comme sidérophile⁽¹⁾) reste très incertaine. Des chercheurs issus de trois laboratoires français⁽²⁾ ont étudié le comportement de l'hydrogène, et notamment mesuré son partage entre l'alliage métallique riche en fer et le silicate, en recréant en laboratoire les conditions ayant régné lors de la formation du noyau terrestre (haute pression, haute température et quantités raisonnables d'eau) à l'aide de la presse multi-enclume du LMV/OPGC. Il s'avère que l'hydrogène se comporte comme un élément lithophile (il préfère rester dans la partie silicatée) et que seule une quantité infime d'hydrogène incorpore le noyau des planètes telluriques lors de la ségrégation noyau-manteau, un comportement qui favorise la formation précoce d'un manteau et d'une atmosphère riches en eau.

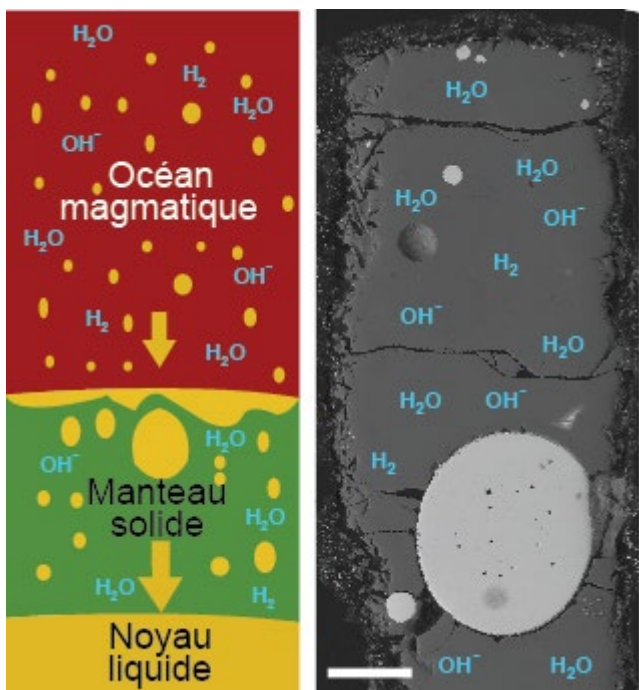


Figure 2. A droite, image de microscopie électronique à balayage montrant un échantillon préparé à 5 GPa et 2000 °C. L'hydrogène intègre préférentiellement le silicate (matrice grise) lors de la mise en équilibre avec le métal (billes claires). Par conséquent, une quantité très faible d'hydrogène, avec un maximum estimé à 70 ppm, devrait intégrer le noyau lors de la ségrégation noyau-manteau dans les planètes telluriques.

3. Le couple Nb/Ta : témoin des conditions redox des planètes primitives (Cartier et al., Amer. Mineral, 2015 ; Nature Geoscience 2014)

Les planètes se sont formées dans des conditions de pression d'oxygène (conditions redox) très variables, et ce sujet est encore mal compris bien que primordial. L'équipe thématique « Terre primitive » de Clermont-Ferrand s'est focalisée sur ce paramètre (la fugacité d'oxygène) afin de comprendre son rôle dans le « paradoxe du niobium ». Les chercheurs ont réalisé une série d'expériences sur la presse multi-enclume (instrument national de l'INSU) afin d'étudier le comportement du Nb et du Ta lors de la séparation noyau – silicate. Les expériences consistent à soumettre un matériel chondritique à des conditions similaires aux conditions des planètes primitives : haute pression, haute température, et pression d'oxygène (conditions redox) contrôlées et variables. En balayant une large gamme de conditions redox, les scientifiques ont découvert que la fugacité d'oxygène contrôle totalement le comportement du niobium et du tantale contrairement à ce qui était suggéré avant. Plusieurs études mettaient notamment en avant l'influence de la pression, qui s'est en fait révélée être négligeable. L'équipe montre que Nb et Ta préfèrent entrer dans la phase métal, donc le noyau, en conditions réductrices, mais le deviennent à des fugacités d'oxygène différentes. Ce phénomène induit une grande différence de comportement entre le Nb et le Ta aux conditions redox supposées des premières étapes de formation de la Terre. Des mesures par spectroscopie d'absorption des rayons x (XANES) réalisée au synchrotron sur des matériaux synthétisés au LMV/OPGC mettent en évidence la relations entre les conditions redox et l'état de valence de Nb et Ta, avec, en particulier, la présence de Ta³⁺ et Nb²⁺ en condition très réductrices.

En intégrant leurs données à un modèle, les chercheurs prouvent que le rapport Nb/Ta de la Terre, inférieur à celui des chondrites, ne peut être expliqué qu'en invoquant une accrétion hétérogène, commençant par de petits impacteurs extrêmement réduits (similaires aux chondrites à enstatites) et s'achevant avec de gros impacteurs plus oxydés (similaires aux chondrites ordinaires). Leurs données apportent aussi de nouvelles contraintes à la compréhension du système Terre-Lune, de la planète Mars et de l'astéroïde 4-Vesta

4. Fractionnement par érosion collisionnelle pendant l'accrétion terrestre (Boujibar et al. 2015, Nature Communications)

Un scénario pour réconcilier la Terre et ses origines - C'est une vieille énigme que des chercheurs du CNRS et de l'Université Blaise Pascal pensent avoir enfin résolue. Les scientifiques butaient sur des différences de composition chimique entre notre planète et une classe de météorites primitives, les chondrites à enstatite, considérées comme des reliques du matériel primordial ayant formé la Terre. En effet, alors que les chondrites à enstatite (MgSiO₃) montrent un rapport d'environ 0.63, la Terre, elle, contient beaucoup d'olivine Mg₂SiO₄, atteignant ainsi un rapport Mg/Si 1.1.

En s'appuyant sur des expériences en laboratoire et sur des modélisations, cette équipe propose pour la première fois un scénario complet qui rend compte de ces différences : les collisions qui ont construit la Terre l'ont aussi amputée à répétition d'une fraction de sa masse, riche en Si et Al, faisant ainsi évoluer sa composition chimique vers un rapport Mg/Si plus élevé.

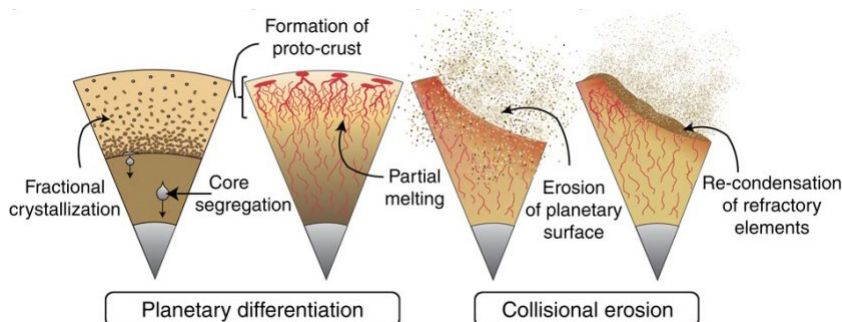


Figure 3. Schéma montrant comment l'érosion de matériel superficiel (riche en Si et Al) permet d'expliquer l'évolution de la Terre en composition d'éléments majeurs.

5. Stockage de l'eau dans l'olivine en fonction de la composition et de la pression (Ferot and Bolfan-Casanova, 2012, Earth and Planetary Science Letters)

Vingt mille lieux sous Terre : la mer - Les minéraux de l'intérieur de la Terre ne contiennent pas d'eau dans leur formule structurale, mais ils peuvent pourtant contenir des traces d'eau incorporée sous forme de défauts ponctuels hydroxylés (OH⁻ au lieu de O²⁻). A l'échelle de la Terre, ces traces d'eau peuvent avoisiner l'équivalent de tous les océans.

Nous avons montré que la solubilité en eau dans le minéral le plus abondant du manteau supérieur, augmente avec la pression, l'olivine devenant ainsi la phase portant majoritairement l'eau. Nous avons aussi montré que la zone à faible vitesse observée vers 350 km de profondeur peut s'expliquer par de la fusion par déshydratation d'un manteau ascendant contenant ~850 ppm poids de H₂O (soit 0.085 % poids). En effet lorsque le minéral atteint sa saturation en eau, l'excès d'eau se retrouve sous forme de fluide et abaisse la température de fusion de la roche.

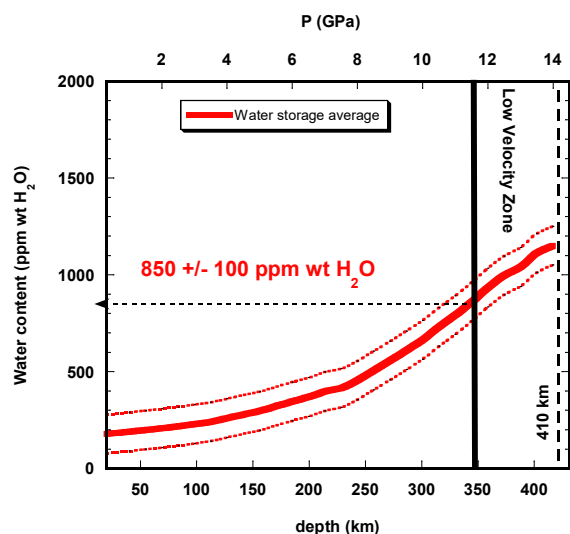


Figure 54 Courbe de la capacité de stockage de l'eau dans le manteau supérieur. A 350 km de profondeur, la chute des vitesses sismiques (Low Velocity Layer) permet de détecter la fusion, et nos données indiquent que cette fusion est causée par une teneur en eau de 850 ppm pds H₂O, soit 0.085 % en poids de H₂O. Ceci atteste que le manteau terrestre est loin d'être sec et montre qu'il participe au cycle profond de l'eau sur Terre.

Mission d'observation

La presse multi-enclumes est un dispositif unique en France, mis en œuvre par le LMV/OPGC, et principalement employé en pétrologie expérimentale (synthèse de phases et étude des équilibres de phases à hautes pressions et températures) permettant de générer des pressions comprises entre 3 et 26 GPa pour des températures pouvant atteindre 2000°C. Le dispositif est implémenté de mesures physiques in-situ comme les mesures de conductivité électrique et vitesses des ondes sismiques. Notre laboratoire est le seul au monde à permettre d'effectuer ces deux mesures physiques simultanément. L'instrument est entouré d'un atelier mécanique entièrement équipé, d'outils de préparation des échantillons ainsi que d'observations microscopiques et spectroscopiques si nécessaire. (voir plus haut).

• **Procédure de sélection des projets réalisés dans le cadre du service national de l'instrument : (composition de la commission de sélection, critères en vigueur, calendrier annuel, pourcentage d'acceptation)**

Le taux d'acceptation des projets est de 100% et les projets sont évalués au fil de l'eau. L'évaluation est réalisée par les scientifiques associés à l'instrument national.

• **Procédure et critères de tarification (pour le SN et comparatif avec la tarification appliquée pour les projets hors SN, détail du calcul du coût)**

Les expériences ne sont pas facturées. Mais elles ne sont bien évidemment pas gratuites, les 15 k€ alloués à l'instrument national servent à acheter une partie des consommables nécessaires aux expériences. Il faut compter 250 € / expérience, sans compter le coût des enclumes ni leur usinage.

• **Nombre de projets accueillis annuellement en service national :**

- Entre 2015 et 2019: 21 projets ont été accueillis dont 5 thèses.

• **Formation dispensée et compétences techniques des utilisateurs du SN :**

Les utilisateurs sont entièrement formés à la préparation des expériences et à la manipulation des appareils. La préparation d'une expérience prend une journée, pour une journée d'expérience incluant un cycle complet de compression-chauffe-décompression-récupération de l'échantillon. En général, nous constatons que les utilisateurs sont des étudiants en thèse qui n'ont pas reçu de formation aux techniques de la haute pression. Il faut donc les rendre autonomes afin qu'ils puissent réussir leurs expériences au mieux car nous n'avons pas de personnel technique dédié à cette tâche. Nous avons constaté que les formations organisées par réseau des hautes pressions étaient utiles pour préparer les futurs utilisateurs, mais qu'elles n'étaient pas suffisantes pour les rendre immédiatement autonomes.

• **Valorisation des projets accueillis en SN et rayonnement de l'instrument :**

- *Nombre de publications sur les cinq dernières années* : 9 publications

- *Nombre de publications annuelles totales (compris celles cosignées par l'équipe maître d'œuvre de l'Instrument, mettre la liste en annexe)*

29 publications / an

• **Coût du fonctionnement et de l'entretien annuel de l'instrument (hors salaires, des cinq dernières années, origine du financement et soutien récurrent y compris celui de l'INSU)**

Le fonctionnement annuel de l'instrument national est élevé. Ces dernières années, le PPF + Projet fraiseuse numérique ont permis de financer les enclumes et les céramiques. Nos expériences sont financées grâce à des financements ANR, le Labex et des contrats INSU. L'instrument national est donc financé par le staff du LMV/OPGC. Les 15 k€ annuel de l'INSU couvrent une partie des consommables (mais pas les enclumes : une enclume coûte 200€, il en faut 8 par expérience).

Nous avons effectué un gros effort de maintenance et de développement afin de rendre notre parc d'appareils le plus efficace possible :

- automatisation de la presse 1000 tonnes, ce qui la rend plus facile d'utilisation.
- Système de chauffage de la presse 1500 tonnes entièrement fait maison. Ce système a été récemment amélioré grâce à notre IE afin d'avoir le suivi de tous les paramètres de chauffage en fonction du temps (température, puissance et résistance du four).
- Ce système de chauffage sera transposé à la presse de la ligne de lumière Psiché sur le synchrotron SOLEIL, et a été développé par le service Technique de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont.
- Développement et fabrication d'un module (100) dédié aux expériences in-situ. Ce module a été testé à Soleil sur la ligne de lumière Psiché en novembre 2013. Nous prêtons actuellement ce module à Psiché le temps que le sien soit prêt.
- Achat (financement Labex ClerVolc) des appareils de mesures in-situ (oscilloscope et impédancemètre) et mise au point des mesures de conductivité électrique, thermique et vitesses des ondes P et S : ces travaux sont conduits par G. Manthilake, un doctorant et un post-doctorant Labex.

Ouverture et Insertion de l'IN, lien avec les IR/TGIR
Protocoles de mesure
Archivage des données et leur mise à disposition :
Réflexion en cours à l'OSU OPGC dans le cadre de la directive inspire
Diffusion et rayonnement scientifique

Projets ayant utilisé la presse multi-enclumes depuis 2015:

Externes

1. Hydrogen diffusion in Olivine (Sylvie Demouchy- Géosciences Montpellier)
Source de financement : ANR (HyDEEP)
2. PyroCarbons under extreme conditions (Alfonso San Miguel-ILM Université Claude Bernard Lyon 1)
Source de financement : Programme PNP
3. High pressure synthesis of a new family of innovative ultra-hard and functional nanocomposites based on dense boron phases (Yann Le Godec- IMPMC) Source de financement : Programme PNP, Labex MATISSE
4. Effect of CO₂ on melting phase relations (Eglantine Boulard- SOLEIL Paris) Source de financement : Synchrotron SOLEIL, Programme PNP
5. Cl et F diffusion in wadsleyite (Helene Bureau- IMPMC) Source de financement : Programme PNP
6. Synthèses of novel high pressure compounds (Andreas Zerr, Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux -LSPM)
7. High-pressure behavior of NaV₂O₄ and related compounds (Marie Guignard, Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux)
8. Composés nouveaux pour Conversion Thermo-Electrique (Christine Opagiste, Institut Néel, Grenoble)

Thèses projets

1. Effet de H₂O sur le partage métal-silicate des éléments sidérophiles-Vicent Clési (Dir. Ali Bouhifd) Source de financement : ANR (Oxydeep), Programme PNP et financement de ClerVolc.
2. *Transport et stockage de l'eau dans la Terre profonde- Juliette Maurice (Dir : Nathalie Bolfan-Casanova, Tahar Hammouda)* Source de financement : ANR (Hydeep)
3. Melting of the deep Earth's mantle- Giacomo Pesce (Dir: D. Andraut) ANR (Oxydeep), Programme PNP et financement de ClerVolc
4. Mesure in-situ des conductivités électrique et thermique des minéraux du manteau profond ; implications pour la structure, la composition et la dynamique du manteau et du noyau –Damien Freitas (Co-Dirs : Geeth manthilake, Denis Andraut)
5. L'eau dans la terre- Loïs MARTINEK (Dir : Nathalie Bolfan-Casanova) financement de ClerVolc
6. Volatilité des métaux : application à l'étude de l'accrétion planétaire et du dégazage volcanique Nathan Ingrao (Dir : Tahar Hammouda, Ivan Vlastelic)

Masters Projects

1. Stockage de l'eau dans les pyroxènes -Tommy Poissoneau -M2 :2015.
2. L'eau dans l'orthopyroxène -Loïs Martnek -M1 : 2015.
3. Electrical conductivity and sound wave velocity of partially molten systems- Damien Freitas- M1, 2015

Prospectives Instruments nationaux - Presse Multi-Enclumes (2021-2026)

La presse multi-enclumes est un dispositif mis en œuvre par le LMV/OPGC, principalement employé en pétrologie expérimentale (synthèse de phases et étude des équilibres de phases à hautes pressions et températures) permettant de générer des pressions comprises entre 3 et 26 GPa pour des températures pouvant atteindre 2000°C.

Les récents développements du système in-situ ainsi que l'installation de la technique de diamant fritté pour des expériences ultra-haute pression vont élargir considérablement la portée de la recherche. Les principaux projets de recherche à mettre en œuvre dans les années à venir sont :

1. Élaboration d'un modèle thermique s'appliquant aux manteaux supérieur et inférieur afin de comprendre l'origine des panaches mantelliques.
2. Développement du modèle de stockage et recyclage de l'eau dans le manteau en tenant compte de la fugacité de carbone et d'oxygène. Il faudra donc améliorer notre contrôle des conditions thermodynamiques lors des expériences multi-enclumes.
3. Contraintes sur la circulation des fluides dans le manteau. Pour cela il sera essentiel de quantifier les propriétés physiques des fluides aqueux à haute pression et haute température en utilisant la conductivité électrique et les techniques de propagation des ondes sonores. De même, les propriétés de fusion du manteau pourront être étudiées avec ces développements.
4. Détermination de la structure, la dynamique et la composition des planètes extraterrestres. Pour cela, nous construisons des modèles de laboratoire basés sur des expérimentations haute pression et haute température avec différentes minéralogies proposées, en les comparant aux données reçues de missions récentes, Bepicolombo pour Mercury et Insight pour Mars.
5. Découverte de nouveaux matériaux à haute pression. Dans ce projet, nous visons à synthétiser de nouveaux matériaux à haute pression et température pour des applications industrielles. Dans ce projet, nous collaborons avec le Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM), l'Institut Galilée à Paris, l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB) et l'Institut Néel de Grenoble.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Equipe de recherche en charge du fonctionnement et du développement de l'instrument :

| Nom | Statut | Fonction | Organisme |
|-----------------|-----------|---|-----------|
| MANTHILAKE | Chercheur | Responsable Développement in-situ + synchrotron | CNRS |
| BOLFAN-CASANOVA | Chercheur | Accueil + Développement synchrotron | CNRS |

| | | | |
|----------|----------------------|---------------------------|------|
| BOUHIFD | Chercheur | Accueil | CNRS |
| HAMMOUDA | Enseignant-chercheur | Accueil | UBP |
| ANDRAULT | Enseignant-chercheur | Développement synchrotron | UBP |

- **Personnel technique spécifiquement affecté au fonctionnement de l'Instrument :** *(indiquer le responsable technique)*

| Nom | Statut | Fonction | Organisme |
|--|------------------|--|-----------|
| POINTUD Franck | AI – 50% | Mécanique | CNRS |
| MATHIEU Antoine | IE – 50% | Electronique | CNRS |
| FRUQUIERE Jean Louis+ GUILLOT Cyril | Technicien – 50% | Fabrication assemblages de Piston cylindre et Multi-Enclumes | CNRS |

Composition du comité de gestion et/ou du comité scientifique de l'Instrument

- Geeth Manthilake
- Nathalie Bolfan
- Mohamed-Ali Bouhifd
- Denis Andrault
- Tahar Hammouda

Description synthétique de l'instrument, parcs d'instruments et services d'analyses relevant du label d'« Instrument National »: *(type d'appareil et de mesures, principales applications et communauté concernée)*

- Presse Multi-enclumes 1000 tonnes
- Presse Multi-enclumes 1500 tonnes
- Quatre Piston cylindres (ceux-ci ne font pas officiellement partie de l'outil national, cependant nous avons des demandes extérieures pour utiliser ces appareils).

Budget

| Ressources récurrentes sur 2015-2018 | | | Ressources occasionnelles sur 2015-2018 | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------|---|--------------|-------------|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | Commentaire |
| CNRS-INSU | 60 | | Bourse de recherche | 146 | |
| | | | | | |
| TOTAL | 60 | | TOTAL | 146 | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

| Dépenses récurrentes sur 2015-2018 | | | Dépenses occasionnelles sur 2015-2018 | | |
|------------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------------|--------------|-------------|
| Nature ² | Montant (k€) | Commentaire | Nature | Montant (k€) | Commentaire |
| consumables | 206 | | instrument | 15 | |
| | | | | | |
| TOTAL | | | TOTAL | 15 | |

²CDD-stagiaires, équipement, fonctionnement, ou missions

| Demande de soutien sur 2019-2023 | | |
|----------------------------------|--------------|-------------|
| Nature ² | Montant (k€) | Commentaire |
| consumables | 100 | |
| | | |
| TOTAL | 100 | |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

Procédure de tarification

Les expériences ne sont pas facturées, cependant lorsque les utilisateurs externes obtiennent des crédits, nous leur demandons de participer à l'achat des consommables. C'est la dotation qui paie en partie les expériences. Toutefois, la dotation n'est pas suffisante pour l'achat des enclumes de carbure (200 € la pièce) qui sont financées via des demandes propres de l'équipe en charge de l'équipement.

Procédure de sélection et d'accueil des projets et chercheurs en service

Vu que nous acceptons tous les projets demandés, nous n'avons pas inclus de membre externe dans notre comité local.

Difficultés rencontrées

Opérations de maintenance à venir, jouvence ou modification de la plateforme projetées

Dans le cadre de la mise en place de l'infrastructure REGEF, nous étendons la plateforme expérimentale hébergée au LMV/OPGC aux pistons cylindres. Cette évolution nous conduirait à demander une augmentation de la dotation de l'INSU en soutien à la plate-forme nationale d'expérimentation de haute pression de 5 k€ par an environ. Cette évolution pourrait être appuyée en moyen RH via un recrutement au niveau IE ou IR pour les développements en techniques de mesures physiques (en particulier pour les applications en rayonnement synchrotron), ainsi que pour le soutien des usagers extérieur à la plateforme.

Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA)

Instrument National (IN)

Type service (IN communautaire ou IN d'excellence) : IN d'Excellence

Adresse URL du site web du service :

Description du service : <http://www.obs.univbpclermont.fr/atmos/fr/recherches/PTA.php>

Données : ftppma@data.obs.opgc.cnrs.fr (login et mot de passe sur demande)

Résumé du service :

La Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA) est une **suite d'instruments scientifiques** permettant de caractériser les propriétés microphysiques et optiques des particules nuageuses observées in situ, accompagnée de **moyens d'étalonnage**, spécifiquement développés pour parfaire la maîtrise des mesures complexes réalisées par les sondes optoélectroniques, et de **programmes de traitement des données** performants à même de garantir le haut niveau de qualité des données.

Unique en France et à la pointe de ce qui se fait dans le monde, la configuration instrumentale modulable s'adapte aux objectifs scientifiques des projets respectifs et au potentiel d'emport des différents avions de recherche sur lesquels elle est installée. Impliquée dans de nombreux projets de recherche nationaux et internationaux, la PMA permet de documenter par des observations in situ les **processus nuageux** (ex. : microphysique, chimie, électricité...) ou les **interactions entre nuages et climat** pour application dans les **modèles atmosphériques**. Les données produites servent également à améliorer les algorithmes d'inversion en **téledétection** (sol, avion, spatiale) et à valider les produits nuages restitués.

Le service est également sollicité pour répondre à des problématiques de **certification** liées au **givrage en aéronautique**: les données collectées lors d'une récente collaboration internationale ont ainsi permis des avancées significatives (caractérisation des zones à fort contenu en glace et des propriétés physiques des cristaux de glace propices aux incidents moteurs et sondes Pitot) permettant aux industriels de mieux prendre en compte le risque givrage par cristaux de glace.

Dans la continuité des actions entreprises depuis la labélisation de l'instrument en 2008, l'équipe PMA souhaite 1) poursuivre le développement de moyens d'étalonnage et de codes de traitement afin de maintenir le très haut niveau de qualité d'optimiser le potentiel scientifique des données produites, et 2) d'anticiper les besoins scientifiques émergents en terme de nouvelles mesures (séparation phase liquide et glace ; nucléation de la glace, production de glace secondaire, processus en phase mixte, etc...). La labélisation permettra de garantir le support financier récurrent nécessaire au maintien du niveau d'excellence attendu par la communauté.

Nom du responsable :

Pierre Coutris, coordinateur, pierre.coutris@uca.fr

Alfons Schwarzenboeck, président du conseil scientifique, alfons.schwarzenboeck@uca.fr

Laboratoire : Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP, UMR 6016)

OSU ou établissement/organisme de rattachement :

Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC)

Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer le nom et l'adresse électronique du responsable, et donner en deux lignes maximum, la nature de l'implication dans le service, hors exploitation scientifique) :

Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement (SAFIRE)

Aurélien Bourdon, Aurelien.BOURDON@safire.fr

La PMA s'inscrit dans le cadre de l'instrumentation des avions de recherche atmosphérique français. SAFIRE prend en charge la certification et l'installation des instruments de la PMA qui sont très fréquemment et prioritairement utilisés sur les avions de la flotte SAFIRE (Falcon 20 et ATR42).

- **Labellisation dans la continuité d'une labellisation existante**

Le périmètre du technique service évolue (nouveaux instruments) pour prendre en compte l'amélioration et l'émergence de nouvelles technologies instrumentales.

Lien avec une IR ou TGIR (oui/non) : OUI

SAFIRE : Le fonctionnement de la PMA est intrinsèquement lié à celui de l'IR SAFIRE même si l'IN est administrativement rattaché à l'OPGC. En amont et lors des campagnes où les deux services sont impliqués, l'équipe PMA travaille en **étroite collaboration avec SAFIRE**. En dehors des campagnes, l'équipe PMA participe à la formation des personnels de l'unité SAFIRE et réalise l'étalonnage et l'exploitation des instruments dont dispose SAFIRE (voir section B4). De ce fait, l'équipe PMA continuera cette collaboration avec SAFIRE, en tant qu'équipe référente microphysique.

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial (oui/non) : OUI

Oui le service proposé comprend des activités stratégiques pour le spatial :

- Validation d'algorithmes et de produits de télédétection (Cloudsat, Calipso, Megha-Tropiques, TRMM, GPM, MSG Météosat 2^{ème} génération, GOES-14, MODIS),
- Aide à la préparation de missions futures Earthcare, MTG Meteosat 3^{ème} génération, ...)

A ce titre, il a bénéficié d'un soutien récurrent du CNES à hauteur de 22k€/an et 36 pm IE sur la période 2015-2019.

Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) : OUI

Pôle de donnée : AERIS. Les données sont aussi diffusées via d'autres centres de données : SEDOO (MISTRAL et BAOBAB), PANGAEA, OPGC (voir annexe F). Sur la période de labélisation à venir, l'un des objectifs prioritaires est de mettre toutes les données PMA du passé sur AERIS.

Contexte

La Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA) est opérée par une équipe du LaMP/OPGC et a depuis de nombreuses années un rôle important dans les opérations aéroportées de la communauté INSU via l'unité SAFIRE. Dédiée à l'observation in-situ des nuages, la PMA est constituée d'un système intégré de plusieurs instruments microphysiques, optiques et physicochimiques aéroportés. Elle est labellisée « instrument national » de l'INSU en 2008 et s'inscrit avant tout dans le cadre de l'instrumentation des avions de recherche atmosphérique français (ATR-42 et Falcon20).

Objectifs scientifiques

Dans la continuité de la précédente période, le projet PMA a pour objectif le développement et la mise en œuvre d'une plate-forme de mesures in situ pour l'étude des interactions aérosol / nuage multiphasiques / rayonnement dans le cadre de projets scientifiques récents, actuels et futurs dont les principaux objectifs sont :

- de caractériser la microphysique des nuages convectifs en zones tropicales et en latitudes moyennes à l'aide de paramètres tels que : contenu en eau (LWC) et en glace (IWC), lois masse-diamètre (m-D) et aire-diamètre (A-D) des particules de glace, vitesse de chute, spectres dimensionnels (PSD) ; et d'étudier les processus microphysiques nuageux de la formation des hydrométéores jusqu'aux précipitations : projets **HAIC** (FP7), **EASA-HighIWC I+II**, HYMEX(INSU)/**EXAEDRE** (ANR), **ICE-GENESIS** (H2020), **H160** (AIRBUS).
- de caractériser les interactions entre émissions, nuages, rayonnement, précipitations et circulations régionales dans des régions complexes en termes d'émissions et de dynamique atmosphérique : projets **HYMEX** (INSU)/EXAEDRE, **DACCIWA** (FP7), **EUREC4A** (ERC)
- de quantifier l'impact réel des nuages sur le bilan radiatif par la prise en compte de façon réaliste de la présence de cristaux de glace dans certains types de nuage (cirrus et nuages en phase mixte), en latitude moyenne et notamment en Arctique – région sensible à la pollution anthropique : projets **ECO2FLY** (DLR/CNES), **CLIMSLIP/PARCS** (ANR/IPEV), **RACEPAC** (AWI/IPEV), **ACLOUD**, **AFLUX** et **MOSAIC** (AWI/IPEV/EECLAT)
- d'étudier en particulier l'impact de l'aviation sur le bilan radiatif : projets **CONCERT** (DLR/CNES), **T2C** (DGAC), **ECO2FLY** (DLR/CNES)
- de mieux comprendre les processus de formation des particules de nuages (nucléation de la glace primaire et production de glace secondaire) à travers l'étude du potentiel des particules d'aérosol à devenir noyaux de glace (IN) et/ou de condensation (CCN), et par la discrimination entre petits cristaux et gouttelettes d'eau surfondues: projets **EXAEDRE** (ANR), **DACCIWA** (FP7), **ECO2FLY** (DLR/CNES)
- de valider des produits d'inversion issus de la télédétection (satellitaire, sur avion, au sol) et d'aider à la préparation des missions satellitaires futures en ce qui concerne la caractérisation des propriétés microphysiques et optiques des nuages. Les produits d'inversion à valider concernent en particulier la restitution des profils verticaux de rétrodiffusion, d'extinction, de contenu en eau/glace, de la phase thermodynamique, des taux de précipitation, des PSD, des relations m-D et A-D des

hydrométéores : projets **Megha-Tropiques** (CNES), **HAIC** (FP7), **EXAEDRE** (ANR), **ACLOUD/AFLUX/MOSAIC** (AWI/IPEV/EECLAT), **EUREC4A** (ERC), **ICE-GENESIS** (H2020).

Etudes et progrès ces 5 dernières années : Concernant le matériel et les outils, un **renouvellement conséquent du parc instrumental** (voir le tableau 2 section B2) a eu lieu sur la période écoulée. L'augmentation des capacités du **banc d'étalonnage pour sondes optoélectroniques** (Gourbeyre et al., 2014) et la réalisation d'études expérimentales et théoriques ont permis des avancées significatives permettant de mieux cerner la complexité des mesures réalisées à l'aide des sondes optoélectroniques (projet PMA-CNES, Vaillant de Guélis et al. 2019a, 2019b ; Kaufmann et al., 2014).

L'équipe PMA s'est également beaucoup investie dans le **développement de méthodes de traitement** des données extrêmement performantes au niveau mondial (Leroy et al. 2016). Illustration de cette excellence, **les méthodes de traitement développées par l'équipe PMA** ont été sélectionnées au sein du consortium international HAIC/HIWC (High Altitude Ice Crystals (FP7) et High Ice Water Content, son homologue nord-américain) pour produire les données microphysiques utilisées pour la nouvelle définition de l'atmosphère en matière de phase glace dans les nuages convectifs par les autorités de certification américaine FAA (Federal Aviation Agency) et européenne EASA (European Aviation Safety Agency) (Schwarzenboeck (2018) et Strapp (2018)).

Grâce aux données produites, nous avons pu démontrer que les hydrométéores issus de la convection profonde et présents dans des zones à fort contenu en glace ($IWC > 1 \text{ g/m}^3$) possèdent un diamètre caractéristique (diamètre médian massique MMD) qui augmente notamment en fonction de la température (de $320 \mu\text{m}$ à $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ à $690 \mu\text{m}$ à $-10 \text{ }^\circ\text{C}$; Leroy et al. 2017, Strapp et al. 2019, Coutris et al. 2019). Aussi, la **présence d'eau surfondue** ne s'observe que très proche des tours convectives, ce qui est cohérent avec l'observation de la glace principalement en dessous de 0° (Leroy et al. 2015, 2017 ; Strapp et al. 2019), alors que des modèles sophistiqués (e.g. DESCAM) ont tendance à simuler des concentrations importantes d'eau surfondue jusqu' à -25°C .

La mesure de **concentrations élevées en petits cristaux de glace** (quelques centaines de μm de diamètre), observées aussi bien aux latitudes moyennes qu'en zones tropicales (Fontaine et al. 2019), ont permis de d'identifier clairement la nécessité de coder des **processus de production de glace secondaire** dans des modèles comme DESCAM ou Méso-NH qui produisent par nucléation hétérogène primaire des concentrations en petits cristaux de glace inférieures d'un facteur 10 à 100 aux observations in situ.

Les nouvelles données, notamment les images détaillées des particules de glace, ont également permis l'étude des **processus de croissance des cristaux** (diffusion de vapeur d'eau / agrégation / givrage) et l'amélioration constante de la **paramétrisation des relations m-D** des hydrométéores (amélioration du calcul de la réflectivité radar par la méthode de T-Matrice (Fontaine et al. 2017), restitution de la densité effective des cristaux de glace formulée par problème inverse (Coutris et al. 2017 a, b)).

Les avancées en moyens d'observation de la PMA facilitent aussi une bien meilleure **interprétation des mesures par télédétection** depuis un satellite, un avion ou réalisées au sol (Protat et al 2016 ; Fontaine et al 2014, 2017 ; Protat et al 2019), et aident aussi à mieux **contraindre les résultats des modèles numériques** (Drigeard et al. 2015 ; Qu et al. 2018 ; Taufour et al. 2018 ; Stanford et al. 2017).

Quant aux nuages Arctiques les projets récents de RACEPAC et ACLOUD (Wendisch et al., BAMS 2018) ont permis de caractériser la distribution des phases liquide et glace au sein des **MPC (nuages en phase mixte) de couche limite en Arctique**. Des profils verticaux moyens des propriétés microphysiques et optiques ont été déterminés en fonction des conditions thermodynamiques et météorologiques dominantes en utilisant les observations CALIPSO et CloudSat et aussi depuis les données in-situ de la PMA (Mioche, 2015 ; Mioche, 2017 ; Mioche, 2018). Comme pour les nuages convectifs décrits ci-dessus, l'analyse de **situations où les mesures aéroportées étaient synchronisées avec le passage de l'A-Train** nous a permis d'évaluer les algorithmes d'inversion de la phase des nuages et de mettre en évidence l'impact de l'échelle d'observation sur la restitution de la phase mixte ainsi que les limites des observations spatiales de télédétection active des nuages à des altitudes inférieures à 1km (Mioche, 2018).

Nécessité d'observations les 5 années à venir : L'étude des processus fondamentaux de l'atmosphère nuageuse, depuis les processus de nucléation jusqu'aux précipitations nécessite de poursuivre la collecte de données in situ de qualité et de consacrer une attention particulière sur certains thèmes peu abordés dans le passé. Dans le cadre des projets en cours et à venir (MOSAIC, ECO2FLY, EUREC4A, ICE GENESIS, futur EARTH CARE & MTG-LI), les données de la PMA serviront aux études suivantes :

- la **formation de la glace primaire/secondaire** dans les nuages convectifs tropicaux et en Arctique ;
- **discrimination eau/glace** à l'échelle de la particule et à l'échelle de la mesure intégrée (bulk) pour l'étude des processus en phase mixte;

- quantification de la contribution des trois modes de croissance de la phase glace (travail conséquent sur la **reconnaissance de forme de cristaux**);
- poursuite des travaux liés à la **validation de produits de télédétection et à la préparation de missions futures**;
- amélioration des **paramétrisations utilisées dans les modèles microphysiques et climatiques** afin de quantifier l'impact réel des nuages sur le bilan radiatif ;
- prévisions des **phénomènes météorologiques dangereux** (éclairs, fortes précipitations, cyclones, ...)
- amélioration de la sécurité et de l'efficacité du transport aérien par la **caractérisation des conditions givrantes en aéronautique**

Mission d'observation

Grandeurs géophysiques : Les instruments de la PMA permettent la caractérisation des **propriétés microphysiques et optiques des particules de nuage**. Les instruments de la PMA produisent 1) des mesures d'ensemble comme des comptages (N, nombre ou concentration total), des distributions de tailles des hydrométéores (PSD gouttelettes et cristaux, nombre et concentration), la phase (liquide, mixte ou glace), le contenu en eau liquide (LWC) et en glace (IWC), l'indicatrice de diffusion, les propriétés physico-chimiques des CCN/IN, des catalogues d'images 2D des cristaux et 2) des mesures particule par particule (forme, taille apparente, morphologie). Ces mesures sont listées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1: paramètres géophysiques mesurés par la PMA

| Paramètre | Instruments | Gamme de taille et résolution |
|---|---|---|
| PSD, N | | de 3- 50µm, résolution de 1 à 2 µm |
| D_eff : Diamètre effectif DVM diamètre volumique médian Discrimination phase /particule | CDP-2, FCDP, CPSPD | de 0.5- 50µm, résolution de 0.5 à 2 µm gouttelettes nuageuses, très petits cristaux |
| | 2D-S | ~50 µm à ~1.3 mm, rés. 10 µm, > 10000 images/s |
| PSD, N | PIP HVPS | ~100 µm à ~1.3 cm, rés. 100 µm, > 1000 images/s |
| | | de ~150 µm à ~2 cm, rés. 150 µm |
| Phase thermodynamique, Indicatrice de diffusion, g : facteur d'asymétrie σ: coefficient d'extinction | Néphélomètre Polaire | Mesure d'ensemble d'hydrométéores, 1s, 100 ms, 10 ms |
| LWC | Robust WC3000, LWC-300 CDP-2 | Gamme : 0-10 g/m ³ , Gamme : 0-3 g/m ³ 0-1 g/m ³ (via N(D) intégré) |
| IWC | Robust WC3000 Veine CVI (+ hygromètre LICOR480) | Gamme : 0-10 g/m ³ Gamme : 0-1 g/m ³ |
| Propriétés physico-chimiques des CCN/IN | Veine CVI (+ analyseurs SMPS, AMS, dual impacteur...) | CCN et IN : N(T), composition chimique par mesure AMS ou analyse microscopique type MEB-EDS |
| Propriétés morphologiques | 2D-S, PIP, HVPS, CPI, HSI | Analyse image 2D (N&B ou niveaux de gris) |

Mesures préexistantes : La PMA en tant qu'instrument national existe et produit des données depuis 2008 et des instruments microphysiques antérieures à ceux labellisés actuellement ont été embarqués depuis maintenant environ 30 ans. Mobile, la PMA est déployée dans le cadre de campagnes d'observations intensives pour réaliser des mesures in situ dans **tous les contextes nuageux partout dans le monde**. La figure 1 de la section B3 suivante illustre la distribution géographique des sites de mesures pour la période 2015-2019. Les données préexistantes sont toutes archivées sur le serveur de l'OPGC. Un effort particulier sera engagé dès cette année pour mettre à disposition les données qui ne sont pas encore accessibles sur les bases de données ouvertes de type AERIS (voir section B5).

Description de l'équipement disponible : Pour demeurer compétitif au niveau mondial, nous avons **grandement renouvelé** le **parc instrumental** ces dernières années pour bénéficier des derniers progrès technologiques. Les principaux instruments de la PMA pour lesquels la labélisation est demandée sont présentés ci-dessous. Les instruments en bleu sont les **nouveaux instruments intégrés à la PMA sur la**

période 2015-2019. Ce renouvellement s'est fait dans le cadre de projets CNES (PMA), FP7 (HAIC, DACCIWA), DGAC (TC2) et EASA (HighIWC I+II).

Les **nouveaux instruments** sont des imageurs OAP (2D-S, PIP, HVPS) qui remplacent les instruments désormais obsolètes du LaMP et de l'INSU (2D-C et 2D-P), des imageurs haute résolution CPI (mise à niveau) et HSI (qui est amené à remplacer le CPI à court/moyen terme). Les anciens spectromètres optiques de type FSSP ont été remplacés par les versions modernes de CDP-2, FCDP et même CPSPD avec quantification du potentiel de dépolarisation des toutes petites particules rugueuses et non-sphériques.

Tableau 2: récapitulatif des différents instruments et moyens inclus dans le périmètre de la PMA

| Instrument | Fabricant | Caractéristiques Techniques |
|-------------------|-----------------|--|
| NP1/ NP2 | LaMP | Mesure selon 49 angles entre 5° et 169° |
| CDP-2 | DMT | 30 classes de tailles entre 2-50 µm résolution 1-2 µm, embouts anti-fragmentation |
| FCDP | SPEC | 40 classes de tailles entre 1,5-50 µm résolution 1 µm, embouts anti-fragmentation |
| CPSPD | DMT | 30 classes de tailles entre 0.5-50 µm ; résolution 0,5-2 µm Mesure de la dépolarisation arrière |
| 2D-S | SPEC | Images 2D N&B : 2x128 photodiodes (mesure en deux plans orthogonaux) ; ~50 µm à ~1.3 mm, résolution 10 µm, > 10000 images/s, embouts anti-fragmentation |
| PIP | DMT | Images 2D N&B, 64 photodiodes, de ~100 µm à ~1.3 cm, résolution 100 µm, > 1000 images/s, embouts anti-fragmentation |
| HVPS | SPEC | Images 2D N&B, 128 diodes, de ~150 µm à ~2 cm, résolution 150 µm ; embouts anti-fragmentation |
| CPI | SPEC Inc. | Images en niveaux de gris, CCD 1024x1024 pixels, de 5 µm à 2.3 mm, 2.3µm /pixel, max 40 images/sec |
| HSI* | ARTIUM Tech. | Images N&B CMOS 2048 x 896 pixels, N&B De 10 µm à ~ 1 cm, 5µm/pixel, max. 400 images/sec |
| Robust WC-3000 | SEA Inc. | Contenu en eau liquide + glace, jusqu'à 10 g/m ³ |
| LWC 300 | DMT Inc. | Contenu en eau liquide, 0-3 g/m ³ |
| CVI | | Veine de prélèvement nuage (seulement hydrométéores), extraction de particule résiduelles (=ancien CCN et IN); + analyses ! Disques tournants avec motif étalon (sphères, formes complexes 3 orientations) |
| Banc d'étalonnage | LaMP | Générateurs (<100 µm ; >100µm) de gouttelettes calibrées, analogues de glace CPI, HSI, Disques perforés : réglage optique de spectromètres optiques |

* la sonde High Speed Imager (HSI) est en cours d'acquisition. Intégration au sein de la PMA courant 2019

Une nouvelle version du Nephelomètre Polaire (NP2), **instrument unique au monde** conçu au LaMP, est opérationnelle et pourra être déployée sur le projet MOSAIC en Arctique en 2020. La technologie CVI également conçue au LaMP, devrait être adaptée pour permettre l'échantillonnage et l'analyse de la glace précipitante dans le cadre du projet ICE-GENESIS. Enfin, les capacités du **banc d'étalonnage pour instruments optoélectroniques** ont aussi été développées pour les sondes 2D-S (disque optique tournant avec motifs étalon sphériques et non-sphériques), CDP-2, FCDP et CPSPD (générateur de gouttelettes d'eau calibrées ; disque diffusant tournant) et CPI/HSI (plaquette d'analogue de glace).

L'intérêt de la PMA réside dans **l'utilisation synergique de différents instruments** qui permet de calculer des propriétés fondamentales telles que masse volumique apparentes des hydrométéores, relations m-D et MMD des cristaux ou facteur de réflectivité. La plateforme intègre des instruments (imageurs, Nephelomètre polaire) particulièrement **adaptés à l'étude des propriétés et processus des nuages mixtes et glacés** soit précipitants, soit non-précipitants.

Panorama des instruments comparables à l'échelle mondiale: A l'échelle mondiale, seuls quelques centres de recherche proposent une offre d'envergure et de synergie comparable: la **NASA** (Airborne Science Program/Facility Instruments, USA), le **NRC/ECCC/TC** (Canada), le **Central Aerological Observatory** (Yak-42D « Roshydromet », Russie), le **DLR** (Cloud Physics Department, Allemagne), **l'Institut de Technologie de Karlsruhe KIT** (Allemagne), **l'Institut de Physique Atmosphérique** de l'université de Mayence (Allemagne) et **l'université de Manchester**. Dans une moindre envergure, des centres de recherches européens occasionnels ou émergents opèrent quelques instruments développés par des entreprises américaines, comme par exemple l'institut pour la recherche en aérospatial roumain INCAS. En France le service SAFIRE possède quelques sondes (CIP, UHSAS, CDP, ROBUST, PCASP) dont l'étalonnage et l'exploitation sont réalisés parfois par le LaMP (sondes nuage) et le CNRM (sondes aérosol).

Justification du choix d'IN d'excellence (INE) :

L'excellence de la PMA s'exprime par le **très haut niveau technologique** des instruments mis en œuvre et par **la rigueur du protocole de mesure** nécessaire à garantir la grande qualité des données. La mise en œuvre d'un protocole de mesure à même de satisfaire aux exigences scientifiques (voir section B4) requiert une expertise pluridisciplinaire (maintenance & étalonnage, opérations en vol, post-traitement) que le LaMP cultive depuis de nombreuses années. Le déploiement de la PMA rend la présence de personnels qualifiés absolument nécessaire et est incompatible avec la notion d'instrument national communautaire.

L'excellence se justifie surtout par le **très haut niveau scientifique** de la recherche réalisée et par l'implication des instruments dans de très nombreux projets d'envergure nationale ou internationale (transatlantique, européen, franco-allemand), comme le montre le tableau 4 de la section B6. Dans ce tableau, on pourra apprécier au passage la diversité des vecteurs (avions, hélicoptères, souffleries) et des sites de campagne. A ce titre la sélection de la **PMA** en tant que **moyen primaire d'observation** (voir section B6 pour plus de détails) dans le cadre de la **collaboration internationale HAIC-HIWC** (Strapp et al. 2016, Dezitter et al. 2013), malgré la présence de partenaires de premier ordre tels que la NASA, le NCAR, le NRC (+ Transport Canada et Environnement Canada) et le DLR, et la reconduction du partenariat sur le projet européen ICE GENESIS (2019-2023) démontre bien l'excellence du service PMA et la **visibilité mondiale que cet instrument confère à la recherche française** et à l'INSU en particulier. Idem, la sollicitation fréquente du service PMA à collaborer avec un consortium de laboratoires allemands et particulièrement de l'AWI (grand centre de recherche polaire), opérateur d'avions de recherche polaire Polar-5 et Polar-6, dans le cadre de **multiples campagnes de mesure en Arctique** (RACEPAC, ALOUD, AFLUX, MOSAIC) est également un signe extrêmement fort de la renommée dont bénéficie l'instrument et l'équipe à l'international.

Considérant 1) la technicité des sondes optoélectroniques et la complexité du protocole de mesure mis en œuvre (intégration sur avion, étalonnage à l'aide de moyens spécifiques, détection et la correction d'artefacts en post-traitement à l'aide d'algorithmes complexes, voir section B4) qui nécessite des savoir-faire spécifiques, et 2) la rareté de l'outil et la visibilité qu'il apporte à la recherche française, la PMA entre certainement dans la catégorie des « **Instruments Nationaux d'Excellence** », label que nous espérons obtenir pour la période 2020-2024.

Ouverture et Insertion de l'IN, lien avec les IR/TGIR

Ressources humaines : Actuellement, le laboratoire peut compter sur du personnel permanent expérimenté (trois Ingénieurs et quatre Enseignants-Chercheurs, soit 35pm, voir section B7 pour plus de détails) pour opérer l'instrument. Impliqué sur toutes les phases de la mise en œuvre de la PMA, ce personnel :

- 1) conseille techniquement et scientifiquement l'utilisateur dans la définition de la campagne (instruments, stratégie d'échantillonnage),
- 2) assure la préparation technique (rédaction de documents éventuellement requis par les opérateurs de l'avion pour la certification, intégration des sondes et des systèmes d'acquisition, validation au sol/en vol du fonctionnement nominal des sondes) et logistique (conditionnement, support aux formalités douanières) en amont de la campagne,
- 3) participe à la campagne pour mettre en œuvre le protocole de mesure (voir B4) et pour apporter leur support aux utilisateurs, et
- 4) participe également à la valorisation des données, activité souvent par ailleurs assurée par du personnel non-permanent (doctorant, post-doctorant, CDD) de l'équipe PMA.

Mobile, la PMA a pour **vocation à être aéroportée** mais peut également être déployée pour des **observations au sol** (soufflerie, observatoire, véhicule dédié, chambre à nuage...). La carte présentée dans la figure 1 montre les sites où la PMA a été déployée. La liste des campagnes et plateformes d'emport est donnée dans le tableau 4 de la section B6.

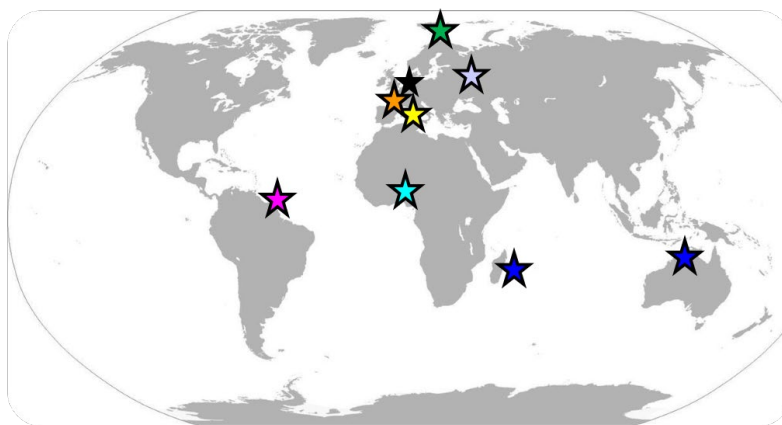


Figure 1: sites de déploiement de la PMA sur la période 2015-2019

Ressources instrumentales : Les ressources instrumentales sont listées dans le tableau 2 (section B2). En dehors des campagnes, l'équipe PMA assure le maintien en condition opérationnelle (maintenance, étalonnage) et la jouvence des sondes. Les phases d'entretien (gestion des stocks de pièces de rechange), d'étalonnage/calibrage (voir partie B4), de jouvence effectuées ou à effectuer sont répertoriées dans un classeur de suivi des instruments afin d'assurer la traçabilité complète des performances des dispositifs. Les codes de traitements sont mis à jour régulièrement pour inclure les dernières améliorations algorithmiques.

Les coûts associés à la mise en œuvre de la PMA sont estimés à l'aide d'un modèle de coût générique distinguant utilisation et immobilisation (non montré, disponible sur demande). Le **coût de fonctionnement par jour de campagne**, variant de 577 à 670 € en fonction de l'instrument sélectionné avec un coût moyen de 618€, inclus l'amortissement des matériels ainsi que le salaire chargé d'un personnel technique nécessaire à sa mise en œuvre (de la phase préparatoire au traitement des mesures de niveau 1). Le **coût d'immobilisation journalier** (variant de 5 à 90 €) est appliqué pour les jours de campagne où l'instrument ne vole pas. Il conviendra également de rajouter les éventuels frais suivants :

- Opérations avions (coûts de certification, heures de vol et immobilisation).
- Coûts liés au transport du matériel (application du barème ULISSE)
- Frais de transport et de mission des personnels (application du barème « Frais de missions des personnels civil de l'Etat »)

Ces coûts sont donnés à titre indicatif. En pratique, ils sont variables d'une campagne à l'autre en fonction du nombre d'instruments utilisés, de la durée d'immobilisation, de la localisation de la campagne, et de la technicité des travaux préparatoires. Pour chaque campagne ou expérimentation, un **devis personnalisé** sera établi pour s'adapter aux spécificités de la demande.

Insertion de l'IN dans le dispositif de recherche français (régional, national), insertion européenne et internationale, appartenance à un réseau européen ou international d'observation : Au niveau national, le service **PMA s'inscrit dans le cadre de l'instrumentation des avions de recherche atmosphérique français (ATR-42 et Falcon20) opérés par l'IR SAFIRE**. Instrument National de l'INSU, la PMA est à la disposition de la communauté depuis 2008 et s'insère dans des projets nationaux financés par l'ANR, le CNES, les chantiers de l'INSU, Météo France. Au **niveau européen**, la PMA est également impliquée dans de nombreux projets (ERC, FP7, H2020) comme en témoigne par exemple son engagement sur les projets EUREC4A, HAIC, DACCIWA et ICE GENESIS. Elle s'insère également dans des collaborations internationales d'envergure comme le démontre son implication dans les projets HAIC-HIWC (voir sections B6, B2, B1) et ICE-GENESIS. La PMA n'appartient à aucun réseau d'observation. Toutefois, l'équipe PMA s'investit activement dans le réseau international d'utilisateurs de sondes optoélectroniques, fédéré par les fabricants DMT et SPEC, et dont l'objectif n'est pas tant de partager des données que d'uniformiser les algorithmes de traitement des données et de correction des artéfacts de mesure (particules hors focus, fragmentation, calcul du volume d'échantillonnage pour passer des comptages aux concentrations, ...).

Rattachement à une IR/TGIR de référence

Le fonctionnement de la PMA est intrinsèquement lié à celui de **l'IR SAFIRE** même si l'IN est administrativement rattaché à l'OPGC (voir annexe E). En amont et lors des campagnes où les deux

services sont impliqués, l'équipe PMA travaille en **étroite collaboration avec SAFIRE**. En dehors des campagnes, l'équipe PMA participe à la formation des personnels de l'unité SAFIRE et réalise l'étalonnage et l'exploitation des instruments dont dispose SAFIRE (voir section B4). De ce fait, l'équipe PMA continuera cette collaboration avec SAFIRE, en tant qu'équipe référente microphysique pour SAFIRE.

PMA stratégique pour le spatial : Malgré de récents progrès, notamment grâce à l'exploitation de la synergie instrumentale multi-plateforme, la restitution des propriétés microphysiques nuageuses (phase thermodynamique, contenu en glace, concentration) à partir de mesures de télédétection spatiale reste encore sujet à de grandes incertitudes. Ces incertitudes peuvent être très fortes dans certains contextes nuageux (convection profonde, nuages en phase mixte due à la coexistence d'eau surfondue et de cristaux de glace qui complexifie les observations et la restitution des paramètres nuageux). Les nombreuses **mesures de référence réalisées par les instruments de la PMA** déployés lors de campagnes de mesures aéroportées présentent l'avantage d'assurer une **caractérisation in situ et directe** (sans hypothèses particulières) des propriétés microphysiques et optiques des nuages (à commencer par l'identification de la phase).

Ainsi, dans la plupart des campagnes, la PMA est associée à des instruments de télédétection aéroportée pour réaliser des **vols colocalisés avec les observations spatiales** (e.g. vol sous trace de CALISPO-CloudSat dans les projets HAIC, ALOUD, AFLUX). Cette configuration permet ainsi d'évaluer de façon directe les mesures et produits satellitaires.

Avec la mise en orbite récente ou imminente des plateformes satellitaires telles qu' ADM-AEOLUS, Earth-Care et MESCAL, MTG-LI, il est crucial **d'acquérir des jeux de données pertinents pour valider ou préparer les nouveaux produits satellitaires**. Par ailleurs il est encore nécessaire de poursuivre les activités autour de l'évaluation des produits et des algorithmes existants afin de préparer au mieux les futures missions mais aussi pour assurer une exploitation optimale des observations fortement utilisées par la communauté scientifique.

Nos objectifs scientifiques reposent avant tout sur une interprétation synergétique de mesures de télédétection active (par radar-lidar) et passive (par radiométrie) et de mesures in situ des propriétés microphysiques (PSD, IWC, relation masse-diamètre $m(D)$, relation surface-diamètre $A(D)$, vitesse de chute V_T) des hydrométéores en phase liquide (EUREC4A) et notamment en phase glace (HAIC, EXAEDRE, Megha-Tropiques, ICE GENESIS, ALOUD, AFLUX) en tenant compte des variabilités en fonction du type de nuage et de la zone de mesure (Arctique, latitude moyenne, zone tropicale, systèmes nuageux continentaux ou océaniques,..). Nous fournissons nos résultats actuels aux communautés Cloudsat, Calipso, Megha-Tropiques, TRMM, GPM, MSG Météosat 2^{ème} génération, GOES-14, MODIS,... et aident à la préparation de missions futures Earthcare, MTG Meteosat 3^{ème} génération, ...)

Protocoles de mesure

Contrôle de la mesure :

La qualité de la mesure est au cœur des préoccupations de l'équipe. En l'absence d'organisme d'accréditation à même de délivrer un certificat d'étalonnage des sondes utilisées, et estimant que les recommandations, procédures et moyens d'étalonnage fournis par les constructeurs de sondes ne suffisent pas lorsqu'ils existent, le LaMP a pris l'initiative de développer ses propres moyens d'étalonnage (table optique, dispositif de disque tournant à motifs étalons de 20 μm à plusieurs mm, générateurs de gouttelettes calibrées comprises entre 10 μm et 1 mm) (voir figure 2, Gourbeyre et al. 2014). A ces moyens spécifiques s'ajoute la soufflerie du Site Instrumenté CO-PDD. Située au sommet du puy de Dôme, elle offre la possibilité de réaliser des tests de validations/comparaisons d'instruments *in situ* à vocation aéroportée en conditions nuageuses naturelles proche de l'environnement avion (vitesse d'air jusqu'à 120 m/s dans la veine). Des études expérimentales et théoriques (Febvre et al. 2019 *in prep* ; Vaillant de Guélis et al. 2019a,b), menées afin de caractériser les performances de certaines sondes optoélectroniques (spectromètres et imageurs) et parfaire notre maîtrise des mesures réalisées, ont conduit à des avancées scientifiques notables quant à la compréhension des limitations techniques (relation non monotone entre section efficace de diffusion et diamètre basée sur la théorie de Mie, diffraction sur les particules hors

focus) qui impactent *in fine* la qualité des données produites (incertitude sur la taille et la concentration des particules hors focus).

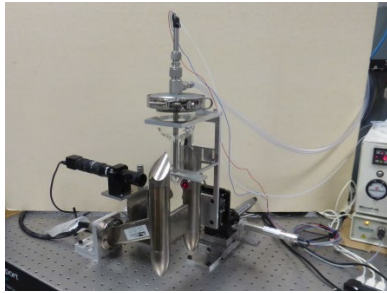


Figure 2: Banc motorisé d'étalonnage pour la sonde CDP-2 (injecteur de gouttelettes d'eau).

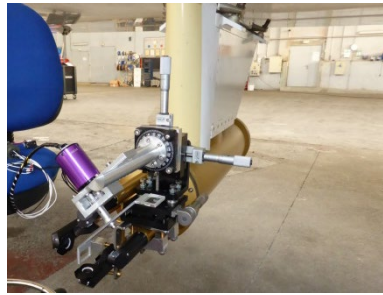


Figure 3: Etalonnage d'un imageur (2D-S) au retour d'un vol scientifique.

Ces moyens d'essais et l'expertise technique associée sont mis à disposition de la communauté. Ainsi le LaMP a été désigné pour calibrer les sondes du DLR et du CIRA dans le cadre du nouveau projet européen ICE GENESIS.

Protocole de mesure :

Compte-tenu de la technicité des sondes et des difficultés intrinsèques à la mesure des propriétés nuageuses *in situ*, l'équipe a défini et applique un protocole de mesure rigoureux, fruit de la longue expérience accumulée en campagne, du savoir-faire acquis dans le développement d'instruments et dans l'étude de leurs performances, et conforme aux préconisations et usages établis par la (petite) communauté d'opérateurs de sondes optoélectroniques (spectromètres optiques et sondes à barrette de diodes).

Pendant la campagne, les agents du LaMP participent aux vols scientifiques comme ingénieurs navigants. Ils s'assurent en temps réel du **fonctionnement nominal des sondes** et rédigent un **rapport de vol** dans lequel sont consignés tout au long du vol des éléments techniques (défaillances et correctifs appliqués) et des éléments scientifiques (conditions atmosphériques rencontrées, événements marquants). Au retour de chaque vol scientifique, l'équipe 1) procède aux éventuels maintenances et dépannages (nettoyage des optiques, purge à l'azote, remplacement de cartes/composants endommagés) mais aussi à l'étalonnage des sondes à l'aide de dispositifs (constructeur ou développé maison) adaptés à une utilisation sur le terrain (voir figure 3), et 2) récupère les données et réalise un traitement de donnée (niveau 1, voir section B5) pour **produire des quicklooks** (disponibles quelques heures seulement après le vol scientifique). Ces quicklooks sont utiles pour identifier d'éventuels problèmes sur la qualité des données et pour fournir rapidement à l'équipe scientifique en charge de la campagne des informations préliminaires sur les conditions nuageuses rencontrées. Après la campagne d'observation, de retour au laboratoire, les données brutes sont retraitées à l'aide de programmes développés au laboratoire pour produire des données de niveau 2 & 3. Cette dernière étape est primordiale pour garantir des données de qualité puisque **bon nombre d'artefacts sont corrigés en post-traitement** (fragmentation/éclaboussure de particules, problème électroniques (temps morts, défaillance de diode(s), corrections des particules hors focus, tronquées ou coïncidentes). Les codes de traitements développés au LaMP incluent tous les algorithmes publiés dans la littérature constituant l'état de l'art (voir Leroy et al. 2016) et sont régulièrement comparés aux codes développés par d'autres équipes de recherche lors d'exercices d'intercomparaison internationaux (McFarquhar et al. 2018, conférence AMS). Ils sont maintenus à la pointe de ce qui se fait au niveau mondial grâce à la participation active de membres de l'équipe PMA dans les workshops annuels organisés par les fabricants d'instrument pour favoriser le partage de bonnes pratiques sur le traitement des données au sein de la communauté internationale.

Si le besoin apparaît en campagne, l'équipe peut former les personnels d'autres unités (SAFIRE, DLR, AWI, ...) à réaliser des opérations de base (acquisition, maintenance, techniques d'étalonnage, traitement L1) mais **la capacité à mettre en œuvre le protocole de bout en bout est une spécificité du service**. Fort de cette expertise unique en France, le LaMP assure par exemple l'étalonnage et le post-traitement des instruments optoélectroniques de l'équipe SAFIRE, cette dernière ne possédant ni les moyens d'étalonnage ni les codes de traitement avancés nécessaires à garantir actuellement la qualité de leurs mesures.

Archivage des données et leur mise à disposition

Les données produites par la PMA peuvent être classées en plusieurs niveaux de traitement :

- le niveau zéro (L0) : données brutes provenant des différents systèmes d'acquisition des sondes sous différents formats, principalement texte ou binaire. Elles sont stockées sur les serveurs sauvegardés de l'OPGC et sur disque dur dédié (un par campagne). Sauf dans le cadre d'un exercice d'intercomparaison, ces données ne sont pas distribuées.
- le niveau un (L1) : premier traitement effectué généralement durant la campagne de mesure. Ces données permettent de générer des « quicklooks » pour évaluer rapidement leur qualité, identifier d'éventuels problèmes (instrument, acquisition,...) et apporter des informations préliminaires sur les conditions échantillonnées durant un vol. Elles n'ont pas vocation à être stockées et sont généralement uniquement présentes sur les ordinateurs ayant servis aux traitements et à la validation des données.
- Le niveau deux (L2) : données validées issues directement de la mesure propre à chaque instrument (ex. : le spectre dimensionnel pour un granulomètre).
- Le niveau trois (L3) : produits dérivés des mesures (e.g. diamètre massique médian, estimation de la masse), ou incluant des corrections sur les mesures non standardisées.

Les données L2 ont vocation à être déposées sur des bases de données sous un format reconnu par la communauté (NASA-Ames ou NetCDF). Parfois, des données L3 sont incluses dans le dépôt lorsqu'elles sont requises par le protocole de données signé par les laboratoires participants aux campagnes de mesures ou lorsque le produit est facilement identifiable et calculable comme le produit d'une intégrale par exemple. Notons que l'équipe s'implique activement au sein d'un réseau d'utilisateurs visant à uniformiser la production de données de certains instruments en homogénéisant les traitements effectués. La PMA produisant des données sur de courtes périodes de temps et sur des zones géographiques diverses, son archivage n'est pas comparable aux données récurrentes issues d'observatoire ou de satellite. Les métadonnées doivent être définies pour chaque mission et l'archivage dépend souvent du protocole d'accord entre les partenaires des campagnes de mesures. Les données PMA sont stockées sur les serveurs suivant (voir annexe F):

Tableau 3: Dépôt des données produites par la PMA

| Centre de données | Campagnes | Régions | Contexte nuage | Niveaux présents |
|-------------------|-------------------------|---|--|------------------|
| OPGC | Toutes les campagnes | Arctique, latitudes moyennes, Tropiques | Multiple : trainées de condensation, cirrus, systèmes convectifs à méso-échelle tropicaux, nuages en phases mixtes arctiques | L0, L2 et L3 |
| BAOBAB | AMMA, DACCIWA | Tropiques | Système Convectif, Strato-Cumulus | L2 et L3 |
| MISTRAL | HYMEX, CHARMEX, EXAEDRE | Méditerranée | Système Convectif | L2 et L3 |
| PANGAEA* | ACLOUD | Arctique | Strato-Cumulus | L2 et L3 |

* : lien avec SEDOO and AERIS

La politique d'accessibilité des données suit les règles des différents projets scientifiques dans lesquels elles ont été produites. La mise à disposition de la communauté de données issues des campagnes aéroportées étant l'un des objectifs de la PMA, la gestion des données (archivage, partage, support) est coordonnée au sein du lot n°3 (voir figure 4) et se conforme dans la mesure du possible aux principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) prôné en Europe depuis 2012.

A l'avenir, un effort particulier sera consacré pour améliorer la visibilité et l'accessibilité des données de la PMA. Ainsi, nous avons fait une demande de projet au Pôle AERIS (voir annexe F) pour enrichir le catalogue de données « nuages convectifs » avec les jeux de données Mégha-Tropique 2010/2011 (accès publique) et HAIC 2014/2015 (sous clause d'exclusivité jusqu'en 2023) ayant un très fort intérêt

scientifique pour la communauté. Par ailleurs, le projet ANR (MPC)2 (déposé) comporte un livrable (D1.2) visant la création d'une base de données pour les propriétés microphysiques et optiques des nuages arctiques en phase mixte.

Diffusion et rayonnement scientifique

Opportunités PMA dans le passé récent, campagnes internationales: De nombreuses publications issues des travaux récents autour des projets de la PMA ont été citées en section B1 lors de la description des progrès apportés par l'activité de l'IN. Ces publications ne seront pas rappelées ici, mais seront fournies en annexe.

Dans cette section, nous soulignerons **l'implication de la PMA dans la collaboration internationale HAIC-HIWC (Strapp et al., 2016, Dezitter et al., 2013)** qui a fédéré plus de cinquante partenaires dont des grands donneurs d'ordre industriels (BOEING, AIRBUS, SAFRAN, Rolls Royce, ...), des **centres de recherche de renommée internationale** (NASA, NRC, DLR, BOM, CNRS...) et les **autorités de certification** européenne et américaine (EASA, FAA) durant quatre ans. En amont de la définition de nouvelles réglementations décrivant les zones à fort contenu en glace susceptibles de créer des conditions givrantes d'un genre nouveau à la source **d'incidents réacteurs**, l'un des objectifs de cette collaboration était la caractérisation microphysique de cet environnement nuageux. Trois campagnes aéroportées ont été organisées, durant lesquelles l'équipe a mis en œuvre la PMA installée sur le F20 de SAFIRE et a produit pour le consortium les données statistiques (nature des cristaux, PSD, IWC, LWC, MMD, ...) qui fondent aujourd'hui la définition de la nouvelle enveloppe altitude-température établies pour **caractériser conditions givrantes «mixtes et glacées»** dans les annexes D/P des règlements FAA/EASA (voir les livrables publics D3.19 (Schwarzenboeck et al. 2018) et D3.21 (Huet et al. 2019) du projet EASA High-IWC II, ainsi que le rapport technique Contract DTFAC-15-C-00011; Strapp et al. 2018).

Le tableau 4 synthétise les projets qui ont sollicités la PMA sur la période 2015-2019 ainsi ceux (financés) sur lesquels elle sera engagée après 2019. Les heures d'utilisation (HU, heure de vol ou de fonctionnement en soufflerie) sont indiquées dans la dernière colonne. On notera la diversité des plateformes françaises et étrangères sur lesquelles la PMA est déployée (avions, hélicoptères, souffleries) ainsi que la diversité sources finançant les projets (industriels/scientifiques, nationaux, européens ou internationaux) qui la sollicitent. La production scientifique liée à l'utilisation de la PMA est donnée dans les annexes A et B. Sur la période 2015-2019, on dénombre 27(35) articles de rang A, 35(45) conférences et 5(11) thèses réalisées par les acteurs du service (utilisateurs du service). N'est pas incluse la production technique réalisée dans le cadre du projet HAIC.

Utilisation des données dans les modèles : Les données issues de la PMA sont mises à disposition des modélisateurs et servent le plus souvent à améliorer la représentation de la phase glace dans les nuages (paramétrisation dans les schémas microphysiques bulk, prise en compte des processus dans les schémas à microphysique détaillée) et à valider les sorties de modèle. Ainsi les données de la PMA ont été utilisées pour contraindre les résultats des modèles dans le cadre de projets HAIC, HYMEX, et Megha-Tropiques (Drigeard et al. 2015 ; Qu et al. 2018 ; Taufour et al. 2018 ; Stanford et al. 2017). En accès restreint aux membres du consortium jusqu'en 2020, les données issues de la collaboration internationale HAIC-HIWC (MCS tropicaux) commencent à être utilisées dans différents modèles de recherche (MesoNH/LIMA, DESCAM) ou opérationnel (AROME-OM/LIMA ou ICE3) par les modélisateurs de CNRM, du LA et du LaMP pour améliorer la modélisation. Les données collectées lors de la récente campagne EXAEDRE (octobre 2018) serviront aux modélisateurs du LA à développer les modules d'aérosol LIMA et d'activité électrique.

Utilisation des données et politique de remerciement : Conformément à la charte « Instrument Nationaux » de l'INSU, il incombe aux utilisateurs des données de la PMA de veiller à mentionner explicitement l'utilisation d'un Instrument National de l'INSU. Pour les mandats à venir, nous exercerons une vigilance quant à l'application de cette règle et nous préconisons pour cela d'inclure dans les remerciements: « *the data were collected using instruments from the French Airborne Measurement Platform, a facility partially funded by CNRS/INSU and CNES* ». Il n'y a pas d'exigence particulière en ce qui concerne le statut de co-auteur des personnels impliqués et nous laissons à l'auteur l'initiative de choisir les co-auteurs, l'usage étant d'inclure la/les personne(s) ayant réalisé l'exploitation scientifique des données PMA comme co-auteur lorsque celle-ci est publiée. Pour les publications basées principalement sur l'analyse des données collectées, nous souhaitons que soient mentionnés dans les remerciements les membres du service ayant activement participé à la collecte des données.

Tableau 4: Liste des campagnes durant lesquelles la PMA a fonctionné

| Projet | Lieu | Date | Vecteur | Instruments | Financier (HU) |
|-------------------------------------|---|--------------------|-------------------|---|---------------------------------|
| 2015 | | | | | |
| <i>Dassault</i> | <i>Puy de Dôme</i> | <i>hiver</i> | <i>Soufflerie</i> | <i>CDP-2, LWC-200</i> | <i>(6h)</i> |
| <i>Development Test. dropsondes</i> | <i>Puy de Dôme</i> | <i>Mars</i> | <i>Soufflerie</i> | <i>CDP, LWC-200</i> | <i>Univ. Hertfordshire (2h)</i> |
| HAIC (SOP1b) | Cayenne (Guyane) | Mai | F20 (SAFIRE) | 2D-S, PIP, CDP, Robust, CPI, CPSPD | FP7 (60h) |
| Calibrage ATR-42 | Toulouse | Automne | ATR42 (SAFIRE) | Plusieurs CDP-2 sur ATR-42 | SAFIRE |
| Airbus Helicopter | Istres | Novembre | Essais en vol | Tests CDP, SPP-100, LWC | Eurocopter |
| 2016 | | | | | |
| HAIC (SOP2) | Darwin (Australie) La réunion (France) | Janvier | A340 (Airbus) | 2D-S, PIP, FCDP | FP7 (31h) |
| <i>CSTB</i> | <i>Nantes (France)</i> | <i>Avril</i> | <i>Soufflerie</i> | <i>CPI</i> | <i>(2h)</i> |
| Airbus Helicopter | Kristiansund | Avril | H175 | SPP-1002 | (30h) |
| DACCIWA | Lomé / Togo | Juin | ATR42 (SAFIRE) | Rack aérosol (avec AMS) en aval CAI CDP-2, 2D-S, FCDP, SPP-100ER | FP7, CNES |
| <i>Dassault</i> | <i>Puy de Dôme</i> | <i>hiver</i> | <i>Soufflerie</i> | <i>CDP, SPP-100</i> | <i>Dassault (5h)</i> |
| <i>HAIC</i> | <i>Braunshweig</i> | <i>septembre</i> | <i>Soufflerie</i> | <i>2D-S</i> | <i>(20h)</i> |
| <i>ACTRIS</i> | <i>Puy de Dôme</i> | <i>Oct. – Nov.</i> | <i>Soufflerie</i> | <i>CDP-2, SPP-100</i> | <i>(16h)</i> |
| 2017 | | | | | |
| ACLOUD | Longyearbyen (Norvège) | Mai-Juin | BF-67 P6 (AWI) | CDP-2, CIP, PIP | IPEV, AC3 (60h) |
| Airbus Helicopter | Marignane | Hiver | H160 | PIP | (10h) |
| <i>SAFRAN</i> | <i>Puy de Dôme</i> | <i>Hiver</i> | <i>Soufflerie</i> | <i>CDP-2, LWC-300</i> | <i>(6h)</i> |
| 2018 | | | | | |
| Airbus Helicopter | Marignane | Hiver | H160 | PIP | AIRBUS Hel (10h) |
| EXAEDRE | Corse (France) | Octobre | F20 (SAFIRE) | CDP-2, CPI, 2D-S, PIP | ANR (20h) |
| 2019 | | | | | |
| AFLUX | Longyearbyen (Norvège) | Mars-Avril | BF-67 P6 (AWI) | CDP-2, NP, 2D-S | IPEV, AC3 (80h) |
| ICE GENESIS | Moscou (Russie) | Hiver 2019-20 | Yak-42 (CAO) | Robust, 2D-S, HVPS | H2020 (50h) |
| 2020 | | | | | |
| EUREC4A | Barbades | Jan-Fev | ATR-42 | <i>To be confirmed</i> | ERC (80h) |
| MOSAIC | Longyearbyen (Norvège) | Mars -avril | BT-67 (AWI) | | AWI (40h) |
| ECO2FLY | Oberpfaffenhofen (Allemagne) | Avril-Mai | F20 (DLR) | | DLR (40h) |
| MOSAIC | Longyearbyen (Norvège) | Aout – sept. | BT-67 (AWI) | | AWI(40h) |
| 2021 | | | | | |
| ICE GENESIS | Toulouse (France) | Hiver 2020-21 | ATR42 (SAFIRE) | CVI, PIP, HVPS, 2D-S, robust, CDP-2 | H2020 (20h++) |

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Le fonctionnement de la PMA est assuré par des ingénieurs spécifiquement affectés au service et des enseignants-chercheurs qui s'impliquent sur des tâches techniques en plus de l'exploitation scientifique. Dans la réalisation de certaines tâches ponctuelles (renfort en campagne, apport de compétences spécifiques), le service s'appuie également sur les personnels techniques du pôle Instrumentation, Analyses et Développement (IAD) et du Service de Développement Technologique (SDT) des unités hôtes (flèche orange dans la figure 4) ainsi que sur les moyens de la DT INSU (Développement instrumental).

Tableau 5 : Personnels techniques et scientifiques permanents impliqués dans le fonctionnement du service (hors CDD, thèse...)

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans l'IN | pm (/an) |
|--|--------------------------------|---|----------|
| COUTRIS Pierre | CNRS, LaMP, IR | coordinateur du service, resp. lot n°1,5 | 9 |
| DUPUY Régis | CNRS, LaMP, IR | Responsable du lot n°3 | 6 |
| GOURBEYRE Christophe | CNRS, LaMP, IE | Responsable des lots n° 2,4 | 9.6 |
| <i>Enseignants-Chercheurs impliqués</i> | | | |
| FEBVRE Guy | UCA, LaMP, MC | Membre CS, lot 2, 3, 4 & 5 | 3 |
| JOURDAN Olivier | UCA, LaMP, MC | Lot 2 & 3 | 2 |
| MIOCHE Guillaume | UCA, LaMP, MC | Lot 2 & 3 | 2 |
| SCHWARZENBOECK Alfons | UCA, LaMP, PR | Président du CS, lot 1, 2,4 & 5 | 3 |
| SHCHERBAKOV Valery | UCA, LaMP, PR | Lot 3 & 4 | 2 |
| <i>Contributeurs ponctuels (pôle IAD, SDT)</i> | | | |
| BERNARD Christophe | UCA, OPGC, T | Usinage mécanique (lot 2,4 & 5) | 0.5 |
| CACAULT Philippe | CNRS, OPGC, IE | Gestion base de données | 1 |
| LATCHIMY Thierry | UCA, OPGC, IE | Développement électronique lot 5 | 1 |
| PEYRIN Frédéric | UCA, OPGC, IE | Développement optique lot 5 | 1 |
| PICARD David | CNRS, LaMP, IR | Référent développement électronique | 1 |
| REGIS Edouard | UCA, OPGC, IE | Référent prototypage et miniaturisation | 1 |
| RIBEIRO Mickael | UCA, CNRS, TCE | Intégration mécanique (lots 2, 4 & 5) | 0.5 |
| ROSSIN Christelle | CNRS, OPGC, IR | Référent intégration mécanique, thermique | 1 |

Les moyens techniques (hors instruments et équipements listés dans la section B2) incluent une salle PMA (laboratoire équipé avec table et accessoires optiques où sont entreposées, calibrées, réparées et développées les sondes), des logiciels métiers (Inventor, Zemax OpticStudio, Labview, Matlab, Python, OpenFoam, IDL), ainsi que de l'outillage spécifique. Les moyens techniques des unités hôtes, tels que la soufflerie du site instrumenté CO-PDD, sont également utilisés.

A partir de 2019, un fonctionnement orienté « projet » est mis en place : les différentes tâches techniques nécessaires à la réalisation des missions sont regroupées en 5 lots, détaillés sur la figure 4, dont le pilotage est confié à trois ingénieurs formant l'**Equipe de Gestion** (EG). Sur son lot, le **responsable de lot** définit les méthodes et pratiques métiers applicables, assure la coordination technique des actions et garantit la qualité et la ponctualité des livrables. La taille de l'équipe de gestion et la proximité géographique (les membres de l'équipe sont regroupés au même étage d'un bâtiment à proximité de la salle PMA) favorisent la fluidité des échanges au quotidien.

Pour les utilisateurs externes, le point focal est le **coordinateur** qui gère les interactions usager/service PMA (flèches grises sur la figure 4) sur la durée de l'utilisation du service. Les demandes d'utilisation sont instruites par l'EG qui conseille l'utilisateur dans la définition des besoins et met en œuvre la PMA dans le cadre des projets sélectionnés (à ce jour, toutes les demandes ont été acceptées). L'EG se réunit pour faire un point d'avancement mensuel auquel sont conviés les personnels impliqués sur les tâches en cours.

Gouvernance

La gouvernance de la PMA repose sur deux instances internes: l'EG pour la partie gestion opérationnelle et le **Conseil Scientifique** (CS) qui a pour rôle 1) d'**orienter la politique scientifique** du projet PMA (validation de l'engagement de la PMA sur projets scientifiques, validation du plan de développement établi par l'EG), 2) de **promouvoir l'INE** au sein des réseaux scientifiques (CSTA, TOSCA, INSU, ...) et industriels (Airbus, SAFRAN,...), et 3) d'assurer le **suivi de la valorisation scientifique** de l'instrument. Composé d'usagers, personnalités scientifiques et techniques pour partie extérieures au laboratoire (voir tableau 6), le CS est présidé par **A. Schwarzenboeck**, spécialiste en microphysique nuageuse et mesures aéroportées, responsable de la PMA de 2010 à 2019. Le CS se réunit une fois par semestre (point d'avancement, téléconférence) et peut être convoqué à la demande (ex : arbitrage entre plusieurs demandes).

Tableau 6: Composition du Conseil Scientifique

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Contexte |
|-------------------|--------------------------------|--|
| A. Schwarzenboeck | UCA, LaMP, PR | Président du CS, spécialiste microphysique |
| G. Febvre | UCA, LaMP, MC | Spécialiste microphysique, relation avec industrie |
| Olivier Jourdan | UCA, LaMP, MC | Microphysique/rayonnement, satellite, interface CNES |
| A. Bourdon | CNRS, SAFIRE, IR | Directeur de l'IR SAFIRE |
| E. Freney | CNRS, LaMP, CR | Physico-chimie des aérosols, mesures aéroportées, interface CSOA |
| E. Defer | CNRS, LA, CR | Electricité nuageuse, interface usager externe |
| J. Delanoe | USQV, LATMOS, MC | Téledétection, microphysique |
| F. Dezitter | Airbus Helicopter, Ingénieur | R&D système dégivrage/antigivrage aéronautiques |
| P. Coutris | CNRS, LaMP, IR | Coordinateur |

L'organigramme donné à la figure 4 présente les instances internes du service et les interactions entre le service et instances externes. La communication EG-CS (flèche bleue) se fait naturellement par l'intermédiaire du coordinateur et des E-C présents dans les deux instances. Les relations avec les tutelles (rapport annuel, demande de soutien, ...) sont gérées au niveau du lot n°1 et l'interface avec les IR SAFIRE et AERIS est assurée par les responsables de lots n°2 et 3 (flèches vertes sur la figure 4). Les échanges entre le service PMA et les services des unités hôtes (demandes de ressources humaines et matérielles et comptes rendus d'avancement) sont centralisés par le coordinateur et transmis lors de réunions mensuelles.

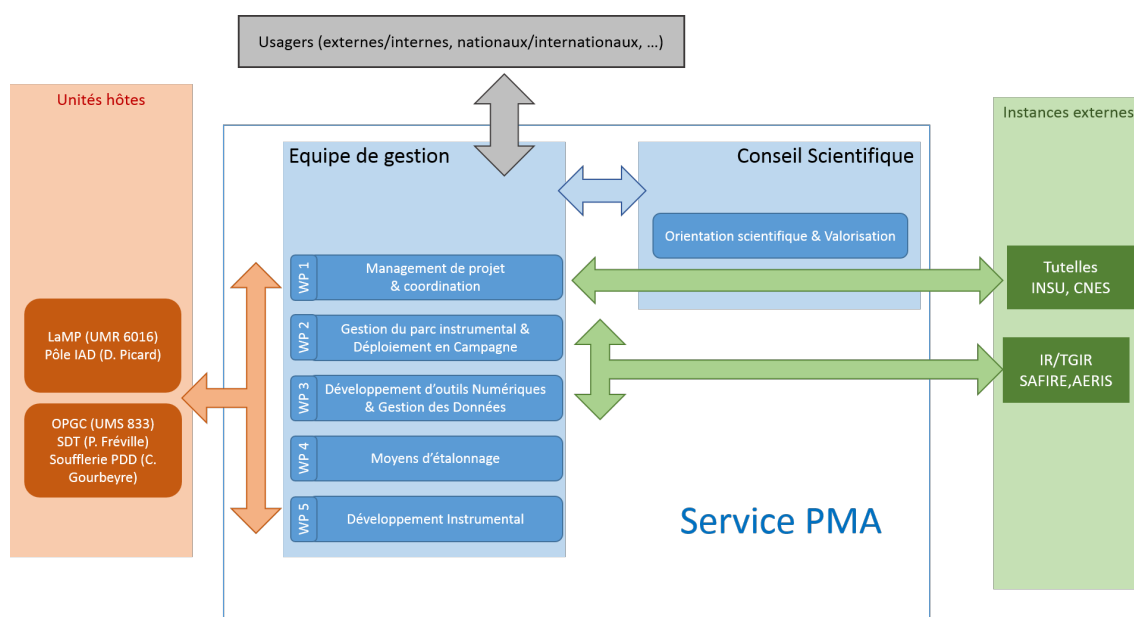


Figure 4: Organisation du service PMA et fonctionnement avec les instances externes

Budget

Le bilan des ressources et dépenses pour la période 2015-2019 est réalisé dans les tableaux 7 et 8.

Tableau 7 : Dépenses sur la période 2015-2019

| Dépenses récurrentes sur 2015-2019 | | | Dépenses occasionnelles sur 2015-2019 | | |
|------------------------------------|---|---|---------------------------------------|------------------------------|--|
| Nature | Montant (k€) | Commentaire | Nature | Montant (k€) | Commentaire |
| CDD-Stagiaires | 144 | 48 pm IE (CNES) | CDD | 100.8 | 18 pm IR/CR (HAIC + EASA-HighIWC) + 12 pm IE (EASA HighIWC) |
| Fonctionnement | 14 10 12 9+12 4+4 23 14 60 | Analogue de glace, bille de verre ZEMAX Tête Robust Banc étalonnage Publications Générateur gouttes Location PDI Réparation/Maintenance/Spare/Frais de transport | Equipements | 30 110 46 50 100 | Achat Aurora 3000 Achat HSI Achat CDP-2 Achat FCDP + fix tube Achat HVPS |
| Missions | 15 | | Missions | 10 k€ | |
| TOTAL | 177+144=321 | | TOTAL | 346+100.8=446.8 | |

Tableau 8: Ressources financières 2015-2019

| Ressources récurrentes sur 2015-2019 | | | Ressources occasionnelles sur 2015-2019 | | |
|--------------------------------------|----------------|-------------|---|------------------------|---|
| Origine | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | Commentaire |
| CNRS-INSU | 14/an | IN PMA | Projets Européens | 74/12/110 100/20/10 | Reliquats de projets de recherche investie dans l'achat de matériel pour la communauté INSU |
| CNES | 12/10/30/16/39 | TOSCA PMA | Autre | 20 | Prestations pour industriels (Airbus, Dassault, Safran) |
| TOTAL | 177 | | TOTAL | 346 | |

La **demande de soutien** sur la période 2020-2024 est formulée dans le tableau 9. Cette demande couvre les **frais de fonctionnement et de maintenance** des instruments et du banc d'étalonnage (104,5 k€, hors casse matériel), la **jouissance de la sonde PIP** (25k€) pour la doter d'une capacité d'imagerie en niveau de gris (N&B actuellement), **l'adaptation de la veine** CVI pour la mesure en conditions neigeuses dans le cadre d'ICE GENESIS en 2021 (20k€) et **l'acquisition d'une platine** (16 k€) pour le nouvel injecteur de gouttes calibrées (40 µm < D < 1 mm) du banc d'étalonnage, ainsi que l'achat de petits matériels. En ce qui concerne les frais de mission (10.8 k€/an), il convient de signaler que les fournisseurs de sondes sont tous basés aux USA (voir section B11) et que les ateliers thématiques et exercices d'intercomparaison, auxquels certains membres de l'équipe PMA participent chaque année activement afin de garantir que la PMA bénéficie des dernières avancées techniques, ont jusqu'à présent tous été organisés à l'étranger.

Soulignons que la demande de soutien ne couvre pas l'accroissement du parc instrumental (acquisition ou développement d'un nouvel instrument). Jusqu'à présent, ce poste était principalement financé sur reliquats de projets scientifiques. A l'avenir, l'accent sera mis sur le montage de projets dédiés (e.g: actions incitatives OPGC, Défi Instrumentation aux limites du CNRS-MI, projets de collaboration,...) et la valorisation de l'outil auprès des industriels (prestations techniques). Enfin, le besoin en ressources humaines que nous évaluons à 15 pm CDD IE (travaux techniques liés au développement des moyens d'étalonnage et de nouveaux instruments) et 15 pm CDD IR (développement d'algorithmes performants du lot 3) est exclu de la demande de soutien récurrent. Estimé à 101.25 k€, ce poste sera financé par des projets scientifiques.

Tableau 9: Demande de soutien sur la période 2020-2024

| Demande de soutien sur 2020-2024 (y compris soutien CNES) | | |
|---|--|--|
| Nature | Montant (k€) | Commentaire |
| Equipement | 3 | Station de travail de campagne (WP2) |
| | 2 | Carte graphique (WP 3 : dév outils numériques) |
| | 16 | Platine 2-axes à grands déplacements, forte charge (WP4) |
| | 25 | Jouvence PIP (images niveau de gris) |
| | 3 | Licence logiciel simulation multiphysique (Comsol + module AC-DC) |
| Fonctionnement | 21 | Renvoi d'un instrument chez le fournisseur (x3) |
| | 10 | Publications (1/an) |
| | 5 | Consommables (azote, kits billes de verre calibrées, acétone/éthanol, bombes aérosol air sec/givre, silica gel, cotons...) |
| | 32 | Pièces de rechange 2D-S (5 cartes, 1 laser, joints toriques) |
| | 15.2 | Pièces de rechange PIP (3 cartes, 1 laser) |
| | 1.5 | Pièces de rechanges CDP, FCDP (laser, kit billes de verre) |
| | 4 | Maintenance Robust (réparation surface captation) |
| | 3.2 | Maintenance LWC 300 (capteur) |
| | 6 | Maintenance banc d'étalonnage (buse d'injecteur, disque à motif étalon) |
| 20 | Adaptation veine CVI pour la mesure neige ICE GENESIS (modification entrée d'air, conception et réalisation du module pneumatique) | |
| Missions | 8 | Réunion du Conseil Scientifique (1/an en présentiel) |
| | 18.3 | Missions à l'étranger (ateliers thématiques, formation chez fournisseurs) |
| | 9.6 | Missions en France (colloque technique (ex : AEI)) |
| | 5.6 | Déplacement chez SAFIRE (réunions de coordination, support technique) |
| | 12.4 | Participation campagne intercomparaison |
| TOTAL | 220.8 | 72 (INSU) + 148.8 (CNES) |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

Communication et diffusion de la connaissance: La stratégie de communication repose sur la description du service sur le site internet de nos unités de rattachement (LaMP - en cours de refonte, mis à jour en 2019, OPGC) et passe surtout par les moyens de communication propres aux projets scientifiques des utilisateurs (sites internet dédiés, articles de presse, reportages vidéo, communications grand public). Dans les projets impliquant de nombreux partenaires industriels (HAIC, ICE GENESIS), le LaMP diffuse volontiers ses connaissances en microphysique aux équipes partenaires sous forme de mini conférences.

Activités d'enseignement/formation : Portée par des enseignants-chercheurs de l'Université Clermont Auvergne, la PMA sert de support didactique dans le module « Mesures Aéroportées » du Master 2 - parcours Sciences de l'Atmosphère et du Climat. Elle sert également dans un programme de formation continue Eurosea destinée à un public d'ingénieurs à dispenser une formation sur le thème du givrage en aéronautique (ref AED-023, 1 à 2 sessions par an) que le LaMP anime depuis 20 ans. Plus spécifiquement, le LaMP dispense des formations sur l'utilisation des sondes et le traitement de données, comme décrit dans la section B4.

Relation avec la « société civile » : Si la PMA vise avant tout à répondre à des objectifs propres à la recherche scientifique fondamentale (section B1), il faut souligner que l'outil trouve également emploi dans le cadre d'applications industrielles, en aéronautique principalement. Reconnu comme un acteur national de premier plan dans le domaine de la mesure in situ depuis les années 1970/1980, le LaMP répond aux sollicitations ponctuelles d'industriels (Airbus, Dassault, Safran, ..) et offre son expertise sous forme de prestations techniques permettant de bénéficier de rentrées financières. Ainsi la PMA est mise en œuvre au bénéfice de Bureaux d'Etude industriels travaillant sur les problèmes de givrage et sur la certification du vol en conditions givrantes des appareils. A ce titre, le LaMP a participé à la certification des appareils ATR42, A340, NH90, Super Puma, Dauphin, A318, Falcon 7x, A380, Tigre, H175, H160 en instrumentant les appareils (caractérisation des conditions nuageuses) et en assurant l'exploitation des données collectées.

Difficultés rencontrées

Les difficultés rencontrées par l'équipe dans la mise en œuvre de l'instrument national sont :

- **Ressource humaine** : Face à la charge de travail considérable liée à l'utilisation intensive de la PMA depuis l'obtention du label (maintien en conditions opérationnelles et à la pointe de la technologie, engagement sur de nombreux projets d'envergure et exploitation et valorisation scientifique), l'équipe PMA portée jusqu'à présent par un enseignant-chercheur (Alfons SCHWARZENBOECK, Professeur à l'UCA), n'a bénéficié d'aucun support RH CNAP (malgré la présentation d'un très bon candidat, les IN ne faisant pas partie des services bénéficiant un Phys.Adj/Phys d'après la commission) ou CNRS. Dans ces conditions, la conduite d'une recherche de très haut niveau est particulièrement méritante mais a exigé beaucoup de sacrifices. Le récent recrutement d'un IR2 (Pierre COUTRIS) compense le départ à la retraite d'un IR1 (Jean-François FOURNOL) à la fin de l'année.
- **Ressource financière** : Le support récurrent INSU/CNES est absolument nécessaire au fonctionnement de la plateforme. Ceci étant, le développement du parc instrumental (jouvence, acquisition d'instrument) est en grande partie financé sur fond propre, à savoir grâce à des reliquats de projets que les scientifiques ont consenti à réinvestir pour la communauté. A l'avenir, la recherche de financement et montage de projets dédiés (AO défi Instrumentation aux limites, AO DT INSU) peut engendrer une charge de travail importante pour un montant modeste et un succès qui n'est pas toujours au rendez-vous.
- **Technique** : Pour maintenir un outil extrêmement compétitif dans un contexte de ressources limitées, le développement du parc instrumental s'est fait principalement par l'acquisition d'instruments commerciaux auprès des deux seuls fournisseurs présents sur ce marché de niche (les entreprises américaines DMT et SPEC), engendrant une certaine dépendance technique :
 - arrêt du support technique de certaines sondes pour des raisons commerciales impliquant difficultés à s'approvisionner en pièces détachées spécifiques, difficultés de mettre à niveau certaines sondes obligeant à l'acquisition de nouvelles sondes,
 - nécessité de renvoyer les sondes chez le constructeur pour certaines opérations de maintenance engendrant une immobilisation et des coûts importants,
 - Offre technique (moyens d'étalonnage, codes de traitement) insuffisante au regard des exigences scientifiques.

L'équipe s'efforce de s'affranchir de cette dépendance en développant ses propres moyens d'étalonnage et ses codes de traitement performants (nécessité de s'adapter à des formats de données ultra spécifiques propres à chaque fabricant) et en se formant auprès des constructeurs pour pouvoir réaliser un maximum d'actions de maintenance au laboratoire.

ACCES AUX DONNEES

AMMA : http://baobab.sedoo.fr/Data-Search/?datsId=1426&project_name=AMMA

DACCIWA : <http://baobab.sedoo.fr/DACCIWA/Plateform-search/>

→ ATR42

Aussi accessible via AERIS : <https://www.aeris-data.fr/catalogue/>

→ campagnes → DACCIWA

HYMEX : <http://mistrals.sedoo.fr/HyMeX/Plateform-search/>

→ ATR42 ET Falcon 20

→ recherche : +HYMEX +LAMP +F20 ou +HYMEX +LAMP +ATR42

CHARMEX : <http://mistrals.sedoo.fr/ChArMEx/Plateform-search/>

→ ATR42

ACLOUD sur PARCS (sedoo) : <https://parcs-data.sedoo.fr/portal/Plateform-search/>

→ Aircraft

Aussi accessible via AERIS : <https://www.aeris-data.fr/catalogue/>

→ campagnes → PARCS

Données DÉPOSÉES sur PANGAEA :

Dupuy, Regis; Jourdan, Olivier; Mioche, Guillaume; Gourbeyre, Christophe; Leroy, Delphine; Schwarzenböck, Alfons (2019): CDP, CIP and PIP In-situ arctic cloud microphysical properties observed during ACLOUD-AC3 campaign in June 2017. LAMP / CNRS / UCA / OPGC, PANGAEA, <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.899074> (DOI registration in progress)

Données HAIC sur OPGC :

Accès sur requête uniquement

| | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Données de la campagne Darwin 2014 | Données de la campagne Cayenne 2015 |
|------------------------------------|-------------------------------------|

Site National Instrumenté CO-PDD (Cézeaux-Opme-Puy de Dôme)

Adresse URL du site web du service : <http://www.obs.univ-bpclermont.fr/SO/mesures/index.php>

Un nouveau site internet avec observatoire virtuel et liens avec les bases de données est en cours de finalisation.

Résumé du service :

CO-PDD est un site instrumenté de recherche atmosphérique labellisé à l'échelle nationale et impliqué dans des infrastructures, programmes et réseaux internationaux d'observation tel que GAW (Global Atmospheric Watch), ACTRIS (Aerosol Cloud and Trace gases Research Infrastructure), et ICOS (Integrated Carbon Observation System). Il porte également le service national d'observation CLAP (CLimate relevant Aerosol Properties from near surface observations) et des services internes à l'OPGC (PUY-CLOUD, PUY-GAZ, Soufflerie). Composé de trois sites de mesures situés dans un rayon d'une dizaine de kilomètres autour de l'agglomération de Clermont Ferrand hébergeant des systèmes de mesure in-situ et par télédétection, il produit des mesures de la composition atmosphérique gazeuse et particulaire, mais aussi des mesures des propriétés bio-physico-chimiques des nuages et des précipitations. Ces données ont permis, ces dernières années, des avancées scientifiques significatives en termes de caractérisation de processus multi-échelles atmosphériques (microphysiques, chimiques, dynamiques,...). Elles entrent dans des exercices de modélisation à différentes échelles spatiales. De plus, la surveillance en continu sur le long terme d'un grand nombre de composés atmosphériques d'importance climatique est fondamentale pour l'estimation de leurs climatologies et de tendances à long terme et la validation satellitale dans un contexte de climat en évolution.

Nom du responsable :

Jean-Luc Baray, Physicien adjoint, J.L.Baray@opgc.fr

Co-responsable :

Laurent Deguillaume, Physicien, l.deguillaume@opgc.univ-bpclermont.fr

Laboratoire :

LaMP, Laboratoire de Météorologie Physique, UMR 6016

OSU ou établissement/organisme de rattachement :

OPGC, Observatoire de physique du globe de Clermont Ferrand, UMS 833

Autres organismes associés : Université Clermont Auvergne

Signature du directeur OSU gestionnaire (ou établissement/organisme de rattachement) :

Nathalie Huret

Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer le nom et l'adresse électronique du responsable, et donner en deux lignes maximum, la nature de l'implication dans le service, hors exploitation scientifique) :

Plusieurs laboratoires extérieurs interviennent :

- dans le fonctionnement du site instrumenté (déploiement d'instrumentations sur le SI).
- Dans la gestion des données, contrôle qualité et calibration des mesures.

Nous avons séparé les contributions des laboratoires locaux, nationaux et internationaux (gris clair, moyen et foncé respectivement) dans les tables 1 et 2 :

Table 1. Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service.

| | | |
|-----------------------------|---|--|
| ICCF, Clermont Ferrand | Caractérisation des propriétés chimiques et microbiologiques des nuages prélevés au puy de Dôme et de la pluie à Opme | Mailhot G. gilles.mailhot@uca.fr Delort A.-M. a-marie.delort@uca.fr |
| LSCE, Paris | Mesures des gaz à effet de serre par flacons hebdomadaires et CRDS-PICARRO ; suivi du radon | Ramonet M. michel.ramonet@lsce.ipsl.fr |
| IRSN, Cadarache | Mesure des radionucléides (nuage, pluie, aérosols) | Masson O. olivier.masson@irsn.fr |
| AASQA Atmo AURA | Mesure O ₃ au puy de Dôme | Besseyre C. contact@atmo-aura.fr |
| LOA, Lille | Mesure photométrique des aérosols | Goloub P. philippe.goloub@univ-lille.fr |
| LA, Toulouse | Détection et analyse des SPRITES (décharges électriques de haute altitude) | Soula S. serge.soula@aero.obs-mip.fr |
| LMU, Munich, Allemagne | Station du réseau de détection des décharges orageuses (LINET network) | H.-D. Betz hans-dieter.betz@physik.uni-muenchen.de |
| Université de Berne, Suisse | Echantillonnage en flacons puis analyses par GC/MS | Schibig M. schibig@climate.unibe.ch |

Table 2. Autres laboratoires et OSU intervenant dans la gestion des données, contrôle qualité des mesures et calibration des instruments.

| | | |
|---|---|---|
| Ecole des Mines de Douai | Étalonnage mesures gaz réactifs in-situ (COV, NOx, SO ₂ , O ₃) | Sauvage S. stephane.sauvage@mines-douai.fr |
| LA, Toulouse | Échanges d'expertise sur les profileurs de vent | Lothon M. marie.lothon@aero.obs-mip.fr |
| ENSTA Bretagne, Brest | Traitement des données GPS | Bosser P. pierre.bosser@ensg.eu |
| TROPOS, Leipzig, Allemagne et ISPRA, Italie | Propriétés physiques et chimiques des aérosols in-situ et lidar au niveau européen (ACTRIS, ECAC) | Wiedensohler A. alfred.wiedensohler@tropos.de Wandinger U. ulla.wandinger@tropos.de Putaud J.P. jean.putaud@jrc.ec.europa.eu |
| NILU, Norvège | Amélioration des systèmes de communication entre mesures et bases de données | Fiebig M. mf@nilu.no |
| LMU, Munich, Allemagne | Assurance qualité lidar EARLINET | Freudenthaler V. volker.freudenthaler@physik.uni-muenchen.de |
| DWD, Hohenpeissenberg, Allemagne | Mesures de gaz réactifs | Plass-duelmer C. christian.plass-duelmer@dwd.de |
| EMPA, Zurich | Mesures de gaz réactifs | Reimann S. stefan.reimann@empa.ch |

Le service proposé consiste-t-il en une demande

de labellisation dans la continuité d'une labellisation existante : oui

de labellisation d'un nouveau service (oui/non) : non

C'est une demande de labellisation dans la continuité d'une labellisation existante.

Lien avec une IR ou TGIR (oui/non) :

Oui, le site instrumenté CO-PDD est en lien avec les IR ACTRIS et ICOS tant dans leur dimension nationale qu'europpéenne.

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial : oui

Se reporter à l'annexe 'lien avec le domaine spatial et les activités du CNES'

Oui le service proposé comprend des activités stratégiques pour le spatial. Par exemple, les mesures d'aérosols lidar, photomètre et in situ servent dans le cadre du projet CNES EECLAT à la validation des produits aérosols du lidar CALIOP à bord du satellite CALIPSO. Les activités d'observation menées dans le cadre d'EARLINET/ACTRIS seront utilisées dans la cal/val EarthCare.

A ce titre, le site a bénéficié d'un soutien récurrent du CNES à hauteur de 25 k€ sur la période 2017-2019. D'autre part, des radiosondages spécifiques pour les gaz à effet de serre (AIRCORE) seront effectués dans le cadre de la campagne MAGIC en lien avec les missions spatiales MERLIN/IASI-NG.

Le service proposé relève-t-il

d'autres domaines de l'INSU? et le(s)quel(s) : oui, TS

Les mesures de colonnes de vapeur d'eau sont menées dans le cadre de RENAG qui est un SNO de l'INSU dans le domaine TS.

d'autres instituts du CNRS ? et le(s)quel(s) ? : oui, INEE

Certaines activités de recherches basées sur les mesures du site (biophysico-chimie des nuages) s'insèrent dans la fédération des recherches en environnement (FRE - FR 3467) labellisée par l'INEE.

Lien avec un pôle ou un centre de données: oui

Si oui, préciser le(s)quel(s) (*inclure une preuve d'appartenance ou d'adhésion en annexe au dossier*) :

Si non, préciser les raisons :

Oui, nous nous inscrivons dans la politique de données nationale en fournissant les données du site instrumenté à AERIS. Certains flux sont déjà fonctionnels et une copie d'écran d'extraction de données CO-PDD à partir du portail AERIS est fournie en annexe F comme preuve d'appartenance.

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

L'histoire de l'observation atmosphérique au puy de Dôme a débuté à la fin du XIX^e siècle, avec l'installation au **sommet du puy de Dôme à 1465 m** d'altitude, d'une station météorologique, l'un des premiers observatoires de montagne de ce genre. Suite à une restructuration profonde en 1995, la station du puy de Dôme fut rénovée et les mesures de météorologie ont été complétées par des **mesures en continu d'aérosols, de gaz réactifs, de gaz à effet de serre et de nombreuses autres mesures atmosphériques** (radioactivité, microphysique et bio-physico-chimie du nuage,...) depuis les années 2000. Elle fait partie du dispositif de mesure atmosphérique CO-PDD (Cézeaux-Opme-Puy De Dôme), comprenant également les sites **d'Opme** (680 m), situé en zone rurale et des **Cézeaux** (410 m), situé en zone péri-urbaine au sud de la ville de Clermont-Ferrand et plus récemment **Aulnat** (Figure 1).

CO-PDD : + de 70 paramètres

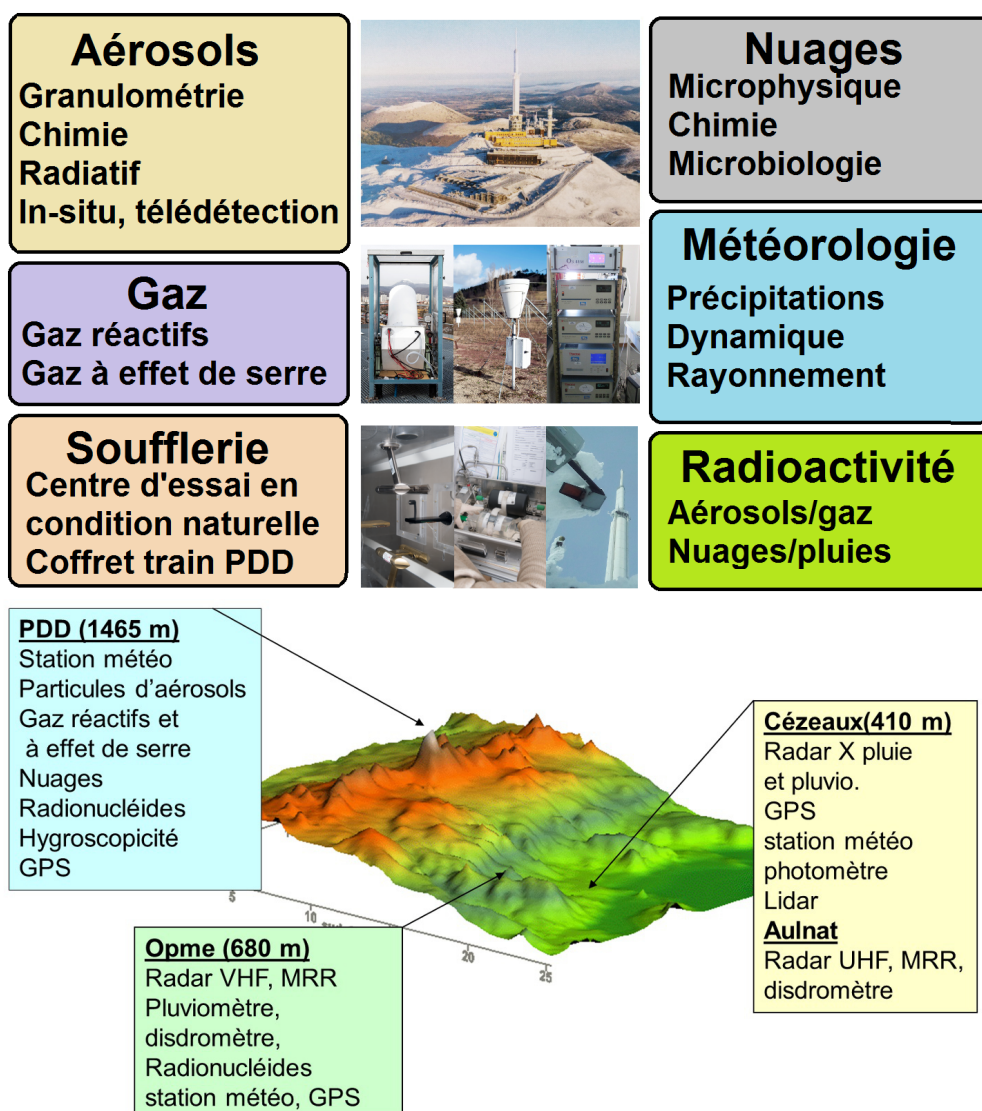


Figure 1. Illustration des sites de mesures et paramètres mesurés sur le SI CO-PDD.

CO-PDD est donc devenu depuis vingt ans un site instrumenté de recherche atmosphérique labellisé à l'échelle nationale et impliqué dans des programmes et réseaux internationaux d'observation comme **GAW**¹, **ACTRIS**² ou **ICOS**³. Le site instrumenté accueille actuellement le **SNO CLAP**⁴ sur les aérosols

¹ http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html

² <http://www.actris.net/>

³ <https://www.icos-ri.eu/>

⁴ <https://www.actris.fr/clap/>

atmosphériques; il porte également des services d'observation interne à l'OPGC (**Soufflerie, PUY-CLOUD, PUY-GAZ**).

En s'appuyant sur la **complémentarité des mesures in-situ et par télédétection**, le site instrumenté a pour objectif scientifique de documenter l'évolution de la composition de la troposphère. Pour cela il propose à la communauté scientifique une structure d'accueil d'expériences et un ensemble de mesures pérennes visant à l'amélioration des connaissances sur :

- l'évolution long terme des mesures bio-physico-chimiques des différents compartiments atmosphériques,
- les **processus liant les gaz, les aérosols, les nuages et les précipitations**,
- **l'impact de modifications anthropiques** en termes **climatique** (nuage, rayonnement), de **qualité de l'air** (composition atmosphérique) et **météorologique** (précipitations).

La surveillance en continu sur le long terme d'un grand nombre de composés atmosphériques d'importance climatique a permis l'estimation de distributions climatologiques et de tendances à long terme de plusieurs variables (gaz, aérosol, nuage). D'autres études basées également sur les mesures du SI ont permis, ces dernières années, des avancées scientifiques significatives majeures en termes de caractérisation de **processus microphysiques, chimiques, biochimiques et dynamiques**. On peut souligner quelques grands thèmes d'étude spécifiques au SI CO-PDD et dont les principaux résultats scientifiques sont détaillés ci-dessous :

(1) Suivi de la composition et des processus de transformation des **gaz et particules** atmosphériques :

Le site instrumenté permet l'analyse long terme des propriétés physico-chimiques des gaz et particules (in-situ et par télédétection) et de leur **processus de formation et de transformations**. Depuis 2015, le site est notamment équipé d'un analyseur en ligne de la chimie des aérosols et depuis 2018 d'un chromatographe permettant le **suivi de la concentration des composés organiques volatils**.

Les séries de mesures de nanoparticules (clusters chargés et neutres) acquises au puy de Dôme en Février 2012 ont permis des avancées importantes sur les **processus de nucléation** montrant que lorsque le site est en condition de troposphère libre, le processus de formation de clusters neutres domine la formation de particules ionisées (Rose et al., 2015). La **détermination des conditions dynamiques** des mesures d'aérosols (Couche limite / Troposphère libre) a donc fait l'objet d'une étude méthodologique multi-critères montrant que le sommet du puy de Dôme est sous l'influence de la couche limite 50% du temps en hiver et jusqu'à 97% du temps en été (Farah et al., 2018). L'étude de Freney et al. (2016) a par ailleurs montré que les émissions anthropiques pouvaient être transportées **depuis la couche limite vers la troposphère libre** pendant la période hivernale.

Les mesures de la **fraction organique des aérosols** ont été confrontées aux valeurs simulées par le modèle régional WRF-CHEM montrant une forte sous-estimation du modèle (Barbet et al., 2016). Cela s'explique par la mauvaise représentation dans le modèle des processus de formation des aérosols par voies secondaires à partir des COV.

(2) Etudes des **processus de formation des nuages** et des **transformations** dans ce milieu :

Le site du puy de Dôme est un endroit privilégié pour le prélèvement et la caractérisation *in-situ* des **différentes phases du milieu nuageux** (gouttelettes, air interstitiel) pour différentes conditions environnementales. Ce site est caractérisé par la **formation fréquente de nuages** présents, en moyenne annuelle, plus de 40% du temps. La variété des situations nuageuses rencontrées à son altitude intermédiaire (nuages orographiques, frontaux, convectifs, nuages chauds et/ou froids, masses d'air polluées ou non,...), et l'ensemble des dispositifs disponibles permettant **une caractérisation complète des nuages** observés en font donc un site unique d'études des nuages dans la troposphère.

Dans ce cadre, le site a permis la mise en œuvre de campagnes de mesures permettant d'intercomparer les différents instruments mesurant les **propriétés microphysiques des nuages liquides** (campagne

ROSEA, Guyot et al., 2015) et les dispositifs permettant de caractériser les **liens entre aérosols et cristaux de glace** (campagne PICNIC, octobre 2018).

Récemment, un nouveau **système de prélèvement multiphasique** (AEROVOCC) a été développé pour collecter simultanément les gouttelettes de nuages et les gaz. La collecte des nuages permet de documenter la composition chimique et microbiologique de ce milieu et de quantifier les **processus de transformations par voies chimiques et biologiques** des composés chimiques dans l'eau nuageuse. Par exemple, la **capacité oxydante de l'eau nuageuse** a été investiguée par des campagnes de mesure spécifiques, qui ont montré que la production aqueuse du radical hydroxyle (Bianco et al., 2015) qui oxyde la matière organique présente une extrême complexité (Bianco et al., 2018). Les données chimiques de la phase aqueuse des nuages ont été confrontées au modèle de chimie du nuage CLEPS (Rose et al., 2018).

(3) Etude des mécanismes de précipitation et de dynamique atmosphérique :

La configuration géographique du SI CO-PDD est propice à **l'étude des précipitations** et du **lien entre les distributions de vapeur d'eau** et les **précipitations**. En effet, la distribution spatiale de la vapeur d'eau est essentielle pour la compréhension et la prévision de la **convection**, la **formation des nuages** et les **précipitations**. Le LaMP dispose de moyens d'observation de la vapeur d'eau en profils par lidar (Fréville et al., 2015), en colonnes verticales par GPS (Labbouz, 2015) et au sol par stations météorologiques (Hadad et al., 2018). Il dispose également de radars en bande X et K, pluviomètres et disdromètres pour l'étude de l'hétérogénéité des précipitations et pour la restitution des taux de précipitation avec une forte résolution spatiale et temporelle.

L'analyse de l'ensemble des **séries temporelles de vapeur d'eau** du site CO-PDD (Hadad et al., 2018) a permis de quantifier le cycle annuel et les variations journalières de la vapeur d'eau, l'assèchement de Clermont Ferrand par effet de foehn des flux d'ouest au passage de la chaîne des puys. Au contraire d'autres paramètres atmosphériques tels que le CO₂ par exemple, des tendances décennales significatives sont difficiles à établir du fait de la longueur des séries temporelles (10-15 ans maximum) et de l'inhomogénéité de certaines séries. Labbouz et al. (2015) a montré que dans 76% des cas, la colonne de vapeur d'eau atteint un maximum avant le **pic de précipitation** (analyse sur 5 ans), qui se produit en moyenne 20 min après le **maximum de vapeur d'eau**.

Les mesures par télédétection lidar et radar profileurs de vent menées sur le site CO-PDD sont pertinentes pour documenter les **processus dynamiques d'échanges stratosphère-troposphère**, qui influent sur les distributions d'espèces trace telles que l'ozone, le monoxyde de carbone ou la vapeur d'eau. Un cas d'étude de courant-jet accompagné de l'intrusion d'une masse d'air stratosphérique descendue jusqu'à une altitude de 3 km a été observée en 2013, démontrant la capacité du profileur VHF et du lidar Raman de détailler la dynamique de ce type de processus (Baray et al., 2017).

L'ensemble des significations des **sigles et acronymes** utilisés dans le dossier est répertorié en **annexe E**.

Mission d'observation

L'instrumentation déployée sur le site d'observation comprend des mesures in-situ, en particulier sur site de montagne **fréquemment en troposphère libre** et donc représentatif du climat et de la composition atmosphérique à l'échelle régionale, et des mesures par télédétection (lidar, radar et par télédétection passive) qui assurent le lien entre les sites en documentant le contexte météorologique et dynamique.

Un grand nombre de mesures pérennes sont effectuées **sur l'ensemble du site instrumenté** : elles documentent les **espèces chimiques gazeuses** (ozone, monoxyde de carbone, oxydes d'azote et de soufre, dioxyde de carbone, méthane, composés organiques volatils), les **particules d'aérosols** (propriétés microphysiques de concentration en nombre, en masse et granulométrie ; propriétés chimiques comme le carbone-suie, les espèces organiques et inorganiques ; propriétés optiques), **l'eau du nuage** (contenu en eau liquide du nuage, chimie et biologie de l'eau nuageuse) dans leur contexte **météorologique**

(rayonnement, vent, température, pression, humidité, profils de vent) et **hydrologique** (mesures des taux de précipitation, chimie des précipitations, etc.).

Le site est un cadre de **développements instrumentaux** originaux comme par exemple :

- l'équipement du **train à crémaillère** qui relie le pied du puy de Dôme à son sommet depuis 2012 par un analyseur d'ozone et des capteurs de température, pression et humidité,
- la **soufflerie de recherche** du puy de Dôme permettant de tester des sondes microphysiques en milieu nuageux givrant ou non,
- l'automatisation et l'amélioration des **mesures lidar** (projet COPLid),
- le système de prélèvement **AEROVOCC** permettant de caractériser les COV en phases gaz et nuageuse,
- la mise en œuvre de **prises d'air spécifiques** (inlets) sur le toit du chalet de l'observatoire permettant de séparer l'air total de l'air interstitiel pour les mesures des aérosols.

Des illustrations de ces développements sont présentées dans la figure 2.

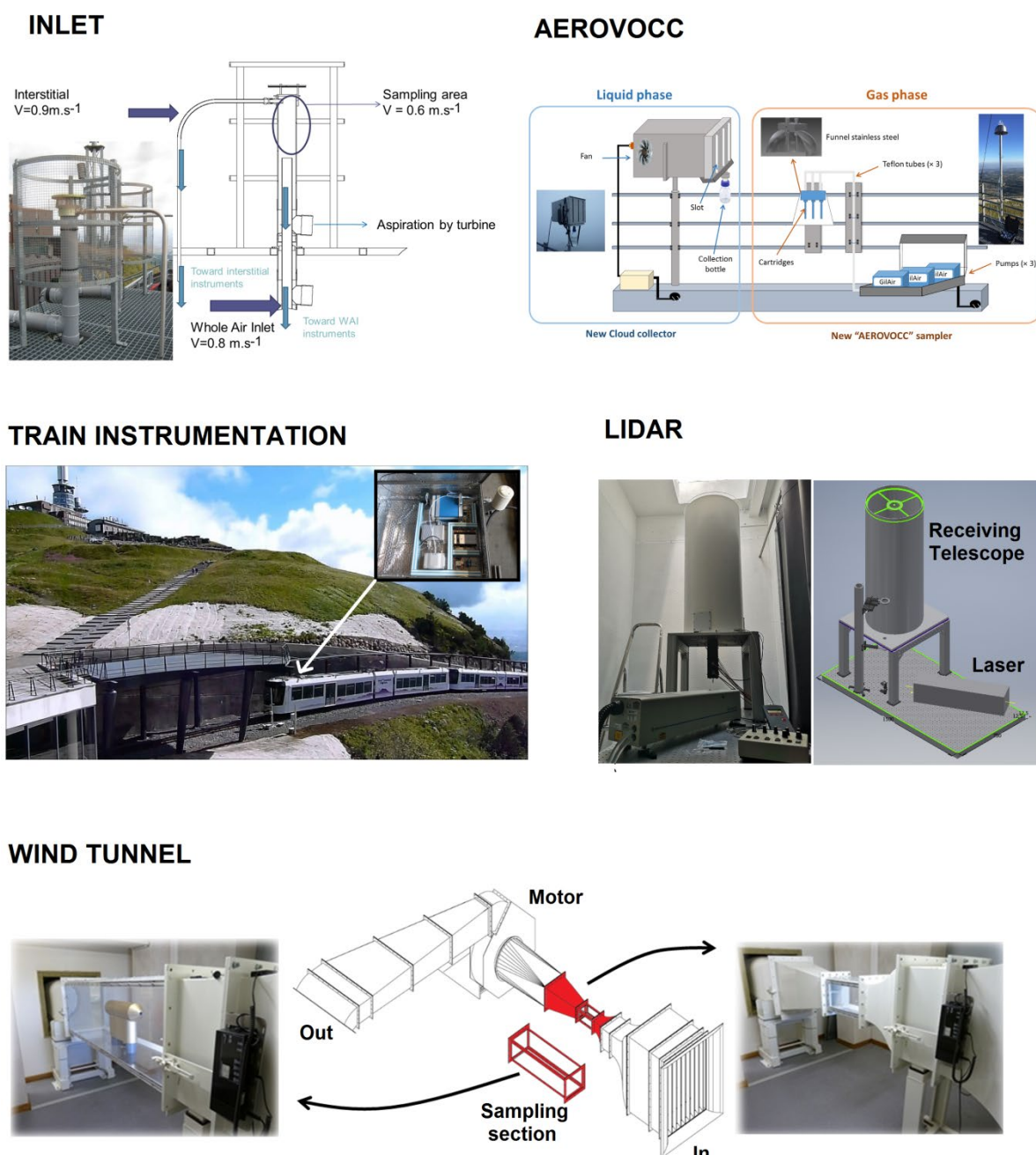


Figure 2. Développements instrumentaux menés dans le cadre du SI CO-PDD.

Le SI a également vocation à conduire des **activités d'enseignement**. En effet, en 2018, l'observatoire OPGC a ouvert une école de l'Université Clermont Auvergne avec des formations en Licence et Master. Le site instrumenté CO-PDD est très impliqué dans plusieurs modules d'enseignement (TP radiosondage en L3, utilisation de séries de mesures dans le module analyse de données en L3, TP de techniques analytiques en M1, stage de 3 jours pour l'échantillonnage de l'atmosphère au sommet du puy de Dôme en M1, analyse de données lidar dans le module télédétection et mesures aéroportées en M2, etc.). Les dispositifs déployés et les résolutions temporelles sont synthétisés dans la table 3.

Table 3. Dispositifs déployés, sites (C=Cézeaux, A=Aulnat, O=Opme et PDD=Puy de Dome) et résolutions temporelles.

| | Paramètre | Instrument | Site | Résol. temporelle |
|--|--|--|---------|-------------------|
| Mesures météo. | Vitesse/direction du vent | Girouette Vaisala | C,O,PDD | 5 min |
| | Vitesse/direction du vent | Anémomètre sonique | PDD | 5 min |
| | Humidité Relative, température, pression | Vaisala | C,O,PDD | 5 min |
| | Profil de vent 3-12 km | Radar Profileur, VHF | O | 15 min |
| | Profil de vent 0-4 km | Radar Profileur UHF | A | 15 min |
| | Colonne vapeur d'eau | GPS | C,O,PDD | horaire |
| | Profil vapeur d'eau | Lidar Raman | C | horaire |
| | Photo du site | Webcam AXIS P1343 | C,PDD | 10 min |
| | Photo du ciel | Caméra EKO | C | 1 min |
| Gaz (PDD) | SO ₂ | Analyseur UV TEI 43iTL | PDD | 5 min |
| | NO _x = NO + NO ₂ | Analyseur TEI 42iTL | PDD | 5 min |
| | NO _y | Analyseur TEI 42 | PDD | 5 min |
| | O ₃ | Analyseur absorption UV TEI 49iTL | PDD | 5 min |
| | HCHO | Analyseur Aérolaser | PDD | Campagnes |
| | COV (C4-C10), BVOC, HCNMs | Cartouches + GC-MS Perkin Elmer | PDD | Campagnes |
| | COV (C4-C10) | On line GC FID (Agilent) | PDD | 120 min |
| | COV/COVO (C1-C10) | Mesures en ligne PTR-TOF-MS IONICON ¹ | PDD | 1 min |
| | Flacons: isotopes | Prélèvement flacons en verre | PDD | 1 par semaine |
| | CO ₂ , CH ₄ , CO, H ₂ O | PICARRO CRDS | PDD | 5 min |
| | Flacons: CO ₂ , CO, O ₂ , H ₂ O | Prélèvement flacons en verre | PDD | 1 par semaine |
| | Profils O ₃ , H ₂ O, param. météo | Coffret train puy de Dôme | PDD | journalière |
| Aérosols (in-situ : PDD, télédétection : Cézeaux) | Epaisseur optique | Photomètre CIMEL | C | |
| | Coefficient diffusion | Néphélomètre | PDD | 5 min |
| | Carbone suie | MAAP | PDD | 5 min |
| | Ions majeurs | Filtres + IC | PDD | 1 par semaine |
| | EC, OC | Filtres + Sunset | PDD | 1 par semaine |
| | Distr. IN | Impacteur DEKATI 4 étages | PDD | Campagnes |
| | Chimie haut débit | Filtre "haut volume", HV sampler | PDD | 1 par semaine |
| | Radionucléides | Filtres IRSN | PDD | 1 par semaine |
| | Radon | Préleveur sur filtre déroulant | PDD | 2 heures |
| | Nombre total d'aérosols | CPC 3010 | PDD | 5 min |
| | Distribution en taille sous-micronique | GRIMM | PDD | 5 min |
| | Distribution en taille super-micronique | GRIMM | PDD | 1 min |
| | Masse PM10 | TEOM -FDMS | PDD | 2 min |
| | Distribution en taille clusters | AIS | PDD | |
| | Hygroscopicité/mélange | HTDMA | PDD | |
| Concentration en CCN | Scanotron (CCNC) | PDD | 10 min | |

| | | | | |
|--------------------------|---|---|--------|---------------|
| | Chimie Aérosol (Sous micronique et non-refractaire) | Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) | PDD | 10 mins |
| | Aérosol organique | Mesures en ligne PTR-TOF-MS ¹ couplé avec CHARON | PDD | Campagnes |
| | Compteur bio-aérosol | WIBS-NEO | PDD | 5 min |
| | Profil rétrodiffusion | Lidar Rayleigh-Raman | C | 30 min |
| | Profil d'extinction | Lidar Rayleigh-Raman | C | 30 min |
| | Profil de dépolarisation | Lidar Rayleigh-Raman | C | 30 min |
| Nuages et précipitations | Diamètre effectif gouttelettes | PVM-100 | PDD | 5 min |
| | Contenu en eau LWC | PVM-100 | PDD | 5 min |
| | Composition chimique | Prélèvement nuages + Analyse par chromatographie ionique | PDD | Campagnes |
| | Matière organique dans les gouttes de nuage | Mesures en ligne PTR-TOF-MS ¹ couplé avec une tête de prélèvement de l'eau | PDD | Campagnes |
| | pH/conductivité | Prélèvement nuages + Mesures pHmètre/conductimètre | PDD | Campagnes |
| | Microorganismes nuage | Prélèvement nuages + Mesures microbiologiques (nombre, viabilité, biodiversité, etc.) | PDD | Campagnes |
| | Radionucléides | Prélèvement nuage | PDD | 1 par semaine |
| | Profils réflectivité | MRR | A,O | 5 min |
| | Spectres gouttes précipitantes | MRR et disdromètre | A,O | 5 min |
| | Taux précipitation | MRR et pluviomètres et disdromètre | A,O | 5 min |
| | Spectres gouttes nuageuses | Radar MIRA 35C ² | C ou O | 10 sec |
| | Distribution précipitations | Radar bande X | C | 15 min |

¹ Le PTR-TOF-MS a été financé sur un projet spécifique (Projet ISEA CPER). Il est en cours d'acquisition en 2019 et intégrera le parc instrumental CO-PDD.

² Le radar MIRA a été également financé sur le projet CPER ISEA et en cours d'acquisition en 2019. Ce radar sera déployé sur le lac d'Aydat, un des bassins versants du puy de Dôme. A l'issue du projet cet instrument intégrera le parc instrumental CO-PDD s'il n'est pas impliqué dans d'autres projets.

Le cadre des mesures effectuées sur le site CO-PDD et le lien avec la structuration nationale sont synthétisés dans la table 4.

Table 4. Cadres et réseaux dans lesquels s'inscrivent les mesures du SI CO-PDD.

| Cadre | Réseau | Paramètres |
|------------------------|----------------------|--|
| IR | ICOS | Gaz à effet de serre |
| | ACTRIS | Gaz réactifs, aérosols et profils thermodynamiques |
| SNO | CLAP | Aérosol in-situ |
| | RENAG | Colonnes vapeur d'eau/GPS |
| | PHOTONS/AERONET | Téledétection passive aérosols |
| Services internes OPGC | Soufflerie | Givrage, microphysique du nuage |
| | PUY-CLOUD | Chimie et biologie de l'eau nuageuse |
| | PUY-GAZ | Gaz réactifs |
| Autres cadres | E-PROFILE (EUMETNET) | Profileurs de vent |
| | EMEP | Gaz réactifs in-situ |
| | IRSN OPERA-AIR | Radionucléides |
| | GAW | Gaz et aérosols in-situ |
| | EARLINET | Lidar aérosol |

La station de recherche du puy de Dôme a été labellisée Site « GAW régional » en 2012, puis site « **GAW global** » en 2014 pour trois des 6 focus thématiques: gaz à effet de serre, gaz réactifs et aérosols. Le programme GAW est un programme de l'organisation mondiale de la météorologie. La station est la 33ème mondiale à recevoir cette reconnaissance internationale et la 1^{ère} française en métropole.

Les profils de vent mesurés sur le site par les profileurs UHF et VHF sont assimilés dans le modèle météorologique européen **ECMWF** via e-profile et contribuent donc à une amélioration importante de la qualité des analyses en Europe de l'Ouest.

Le site propose **un accès aux équipes extérieures pour des campagnes de mesures** dans le cadre de la procédure TNA des structures Européennes comme par exemple ACTRIS. Certaines campagnes seront plus spécifiquement décrites dans la section B3.

Ouverture et Insertion du SI, lien avec les IR/TGIR

Au niveau local, les activités du SI s'insèrent dans les projets de recherches portés par la fédération des recherches en environnement du site Clermontois labellisée par le CNRS/INEE (FR 3467); cela a permis l'acquisition de nombreux instruments pour le développement des activités d'observation et de recherche du SI détaillés dans la table 8 section B9.

Le site instrumenté dispose, au chalet de l'observatoire, d'une soufflerie à circuit ouvert, constituant un moyen d'essai national unique qui fonctionne en conditions atmosphériques naturelles (nuageuses ou non). Elle permet plusieurs applications à caractère **scientifique** mais aussi **technologique** (réalisation de tests et de validation d'instruments à vocation aéroportée) et **industriel** (utilisation en vue de certification en conditions givrantes).

Au niveau national, le SI accueille **plusieurs services labellisés** (CLAP, PHOTON, RENAG, OPERA), mais également des services d'observation interne à l'OPGC (Soufflerie, PUY-CLOUD, PUY-GAZ) qui pourraient, à terme, avoir vocation à évoluer vers des services labellisés, ou intégrer des services labellisés existants.

Le site est pleinement impliqué dans les infrastructures de recherche **ACTRIS/ACTRIS-FR et ICOS/ICOS-FR**.

Au niveau national, la structuration dans le cadre d'ACTRIS-FR a permis de développer des **liens avec les autres sites instrumentés français**. On peut noter par exemple un échange d'expertise avec plusieurs missions de l'ingénieur radariste du site de Lannemezan (Y. Bezombes) pour la remise en route et l'amélioration des profileurs de vent, ou bien la participation de nos systèmes de mesures des précipitations (radar en bande X, MRR et disdromètre) à la campagne de mesure PRECIP-SIRTA sur le site du SIRTA en octobre 2016. Des intercomparaisons sont régulièrement effectuées : mesures de gaz (2018), et chimie en ligne des aérosols (ACMCC, 2016, 2018), granulométrie des aérosols.

Au niveau européen, la station du puy de Dôme a vocation à devenir une station importante (« **national facility** ») de l'IR européenne ACTRIS, parmi d'autres sites français : Maïdo, SIRTA, OHP, et P2OA. Le site a démontré sa capacité d'accueil d'instruments supplémentaires au niveau international au cours de campagnes d'intercomparaison d'instruments dans le cadre du TNA ACTRIS2, lors de la campagne d'intercomparaison de sondes de microphysique du nuage qui s'est déroulée au puy de Dôme en mai 2013, en 2016 (ACTRIS2 WP3-Task 2.2) ou plus récemment au cours de la campagne PICNIC (Puy de dôme Ice Nucleation Intercomparison Campaign) en octobre 2018. L'importance du SI dans l'IR européenne ICOS est décrite dans la lettre de soutien du coordinateur ICOS-FR reproduite en annexe.

Des liens scientifiques et technologiques entre les différents sites ACTRIS se sont matérialisés en de multiples occasions ces dernières années (Maïdo, ANDRA, CRA-Lannemezan). Par exemple CO-PDD a bénéficié de l'expertise du Laboratoire d'Aérodynamique pour le fonctionnement des profileurs de vent, et dans l'autre sens, un transfert technologique vers le Maïdo a permis à cet observatoire de développer les mesures in-situ gaz/aérosols/nuages, comme par exemple le système de veines de prélèvement. Au niveau européen, l'OPGC s'est vu confié la révision du code d'acquisition du lidar de l'Université

polytechnique de Catalogne, partenaire ACTRIS et membre du réseau EARLINET, afin d'en améliorer le degré d'automatisation.

Les objectifs de la **campagne ROSEA** étaient de fournir un bilan d'une éventuelle variabilité des réponses des différents instruments mesurant les propriétés microphysiques des nuages liquides, d'évaluer les effets de l'orientation des instruments de différentes équipes de recherche dont le LaMP, le CNRM et le SIRTa, et de compagnies telles que DMT, et de la vitesse du vent sur les mesures des distributions en taille des gouttelettes (Guyot et al., 2015). Des mesures en soufflerie et sur la plateforme de plusieurs instruments (FSSP-100, FM-100, PVM-100, PWD) ont été produites dans le cadre de cette campagne. Les instruments ont montré un bon accord sur leurs capacités d'estimer la taille des gouttes, tant en termes d'amplitude que de variabilité. Cependant, certains d'entre eux, en particulier les FM-100 et FSSP affichaient d'importants écarts dans leur capacité à évaluer la concentration en nombre de gouttelettes de nuage : le contenu en eau liquide peut varier d'un facteur 5 entre les sondes.

La **campagne PICNIC** qui s'est déroulée en octobre 2018 avait pour objectif de comparer les dispositifs permettant de caractériser les liens entre aérosols et cristaux de glace. Différents instruments ont été déployés lors de cette campagne permettant de compter et caractériser les noyaux glaçogènes atmosphériques (Ice nuclei, IN) par des mesures off-line (prélèvement puis analyse) ou en ligne à l'aide de chambres IN. Financée conjointement par les fonds de projets d'accès transnationaux ACTRIS2 et par le projet ANR CHAIN (ANR-14-CE01-0003 -01), cette campagne a permis d'accueillir pendant un mois douze équipes avec leurs instrumentations, leaders dans le domaine des interactions aérosols-nuage. Les premiers résultats de la campagne ont été présentés au final General Meeting ACTRIS-2 à Darmstadt (Germany) en avril 2019.

Le suivi long terme des propriétés bio-physicochimiques des nuages est mené dans le cadre de **PUYCLOUD**, qui est actuellement un service interne de l'OPGC. Ces activités se sont exportées récemment à d'autres sites comme par exemple le site du Maïdo dans le cadre de projets de recherche (LEFE, ANR). Des développements instrumentaux sont en cours afin d'automatiser les prélèvements. Ces travaux serviront de base à une future demande de labellisation de ces activités en tant que SNO.

Les activités autour des mesures des gaz traces réactifs **PUYGAZ** sont également portées en interne par l'OPGC. Aux niveaux national et international, les mesures s'effectuent sur plusieurs sites dans les cadres d'ACTRIS-FR (GT6) et d'ACTRIS2 (WP3) en suivant les procédures standard d'opération (SOP) qui sont en cours de finalisation. Ces activités ont pour objectif de se structurer autour d'un SNO au niveau national.

Le site instrumenté propose des séries d'observations de paramètres atmosphériques in-situ et par télédétection lidar et radar pouvant être utile et utilisée pour la **validation satellitaire**. Par exemple, la synergie lidar/photomètre/in-situ permet une caractérisation optique fine des aérosols sur le site (Chauvigné et al., 2016) dont il est prévu une extension vers le spatial pour faire du site un point de validation de **EARTHCARE**, grâce au projet **COPLid** (lidar multi-longueur d'onde) et dans le cadre d'un CDD IR financé par le CNES (projet **EECLAT**) qui va débuter en mai 2019.

Les mesures par radiosondage **AIRCORE** dont un premier vol test a été effectué en collaboration avec le LMD (C. Crevoisier, F. Danis) à Clermont Ferrand en novembre 2018 fournissent un autre exemple du caractère stratégique pour le spatial du site, avec sa participation à la campagne MAGIC de juin 2019 pour la validation de missions spatiales mesurant les gaz à effet de serre telles que **Microcarb**, **Merlin** et **IASI NG**. Ces actions seront détaillées dans l'annexe D.

Le label GAW global a permis de mettre en lumière les activités du site instrumenté, par la visite de la ministre de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie Ségolène Royale le 10 octobre 2015 et de la Députée de Paris, Co-présidente du Groupe écologiste à l'Assemblée nationale Cécile Duflot le 3 décembre 2015.

Protocoles de mesure

Le contrôle régulier de l'instrumentation des stations du puy de Dôme et d'Opme est effectué chaque semaine par deux personnes.

Mesures de gaz:

- Les **analyseurs de gaz** (NO_x (NO et NO₂, SO₂, CO et O₃) sont étalonnés chaque mois suivant les **recommandations de EMEP et ACTRIS**. Un blanc est effectué chaque semaine lors de la routine hebdomadaire. Les COV sont calibrés par une bouteille étalon certifié (NPL) contenant 34 COV à 2 ppbv.
- Un **exercice d'inter-comparaison** entre les instrumentations pour les mesures de gaz des différents observatoires a été réalisé en 2018 à Hohenpeissenberg, et un **audit GAW** a été établi en avril 2016 pour l'ozone et les gaz à effet de serre.
- Les gaz à effet de serre sont calibrés tous les jours suivant les **recommandations d'ICOS**.
- Le futur PTR-TOF-MS permettra le suivi en temps réel de la concentration de COV/COVO ; cet instrument devra être régulièrement calibré et ses mesures confrontées à des mesures effectuées par d'autres outils analytiques (GC-FID), notamment off-line (GC-MS). Il est prévu de participer aux **inter-comparaisons dans le cadre d'ACTRIS**.

Mesures d'aérosols:

- La **calibration du CPC et du SMPS** suivent les **recommandations ACTRIS**. Les CPCs participent régulièrement à des exercices d'inter-comparaisons qui ont lieu à Leipzig (WCCAP, ECAC). La précision sur la distribution en taille des SMPS est évaluée grâce à des billes de latex/polystyrène allant de 80 à 400 nm. La concentration totale du SMPS est comparée à la concentration du CPC total chaque semaine. Les « blancs » pour les CPC sont vérifiés chaque semaine (pendant la période du scan où il n'y a pas de sélection).
- Les **échantillonnages sur filtre** ont participé à plusieurs campagnes d'inter-comparaison dans le cadre d'ACTRIS, à la fois pour la procédure d'échantillonnage et celle d'analyse. Les analyses EC/OC sont réalisées à l'IGE sous la responsabilité scientifique de Jean-Luc Jaffrezo, et suivant les recommandations ACTRIS.
- Le **néphélomètre** est calibré chaque mois en utilisant une bouteille de CO₂, suivant les recommandations ACTRIS.
- Le **MAAP** est vérifié par une surveillance de son débit, il n'existe pas encore de recommandation européenne.
- Le **TEOM** est vérifié et entretenu périodiquement, en utilisant les procédures élaborées par le fabricant et l'INERIS / LSCQA qui opère un réseau national de stations de surveillance de la qualité de l'air. De plus la qualité de l'instrument a été validée par la dernière vérification de la station de puy de Dôme par les experts ACTRIS.
- Les **mesures du CCNC** sont calibrées en utilisant du sulfate d'ammonium en suivant les procédures ACTRIS.
- La calibration du **photomètre** est effectuée annuellement par le centre de calibration de Lille, dans le cadre de **PHOTONS/AERONET**.
- Pour le **LIDAR**, les mesures sont lancées a minima suivant un planning hebdomadaire prédéfini par le réseau **EARLINET**, ainsi que durant les passages des satellites **CALIPSO** et **AEOLUS**, ou bien lors d'évènements aérosols particuliers (poussière saharienne, cendres volcaniques, feux de forêts, pics de pollution, etc.). Des mesures de contrôle-qualité recommandées par EARLINET, telles les mesures de courant d'obscurité, de calibration de la dépolarisation et de contrôle de l'alignement, sont réalisées régulièrement et soumises annuellement dans le cadre du TNA LiCal (Lidar calibration center) ACTRIS. Le projet COPLid (lidar multi longueur d'onde) a été proposé pour satisfaire les prérequis des futures « national facilities » ACTRIS. A l'issue du projet, les mesures pourront être effectuées en continu.
- L'**ACSM** est en fonctionnement sur le site depuis 2015 (hors campagnes de mesures extérieures). Il est calibré tous les 6 mois avec des solutions d'ammonium nitrate et sulphate en suivant les protocoles ACTRIS⁵. L'instrument a déjà participé à deux exercices d'intercomparaison ACTRIS 2 dans le centre de calibration du SIRTA. Les rapports d'évaluation sont disponibles sur le site ECAC.

⁵ <https://www.psi.ch/acsm-stations/acsm-best-practice>

- Le futur PTR-TOF-MS couplé avec la tête de prélèvement aérosol CHARON permettra de caractériser la fraction des aérosols non réfractaire et volatile (des composés inorganiques et organiques) dans le cadre de campagnes de mesures. Ces données sont complémentaires aux mesures d'aérosol secondaire par l'ACSM et peuvent nous aider à leur interprétation.

Profileurs de vent:

- Un contrôle qualité des mesures de vent fournies à E-profile est effectué sur une base mensuelle par comparaisons et calculs de biais avec les sorties de modèles avant assimilation.

Microphysique et composition chimique du nuage:

Pour l'instant il n'existe pas de recommandation d'ACTRIS pour la microphysique et la composition chimique du nuage, mais la communauté nuage est en train de se structurer dans le cadre d'ACTRIS EU (groupe de travail « cloud in-situ »). Cela passera par des protocoles de mesures standardisés de la microphysique nuageuse et de sa composition chimique (ions majeurs, pH, etc.) identifiés au sein d'ACTRIS.

Toutefois, une démarche qualité est suivie dans le cadre du SI :

- **Mesures microphysique du nuage** : La sonde est calibrée à une fréquence de 6 mois avec un disque optique de référence, des nettoyages des optiques sont effectués régulièrement, les mesures sont soumises à une surveillance journalière.
- **Composition chimique et biologique** : les prélèvements de nuage se déroulent en condition stérile (collecteurs autoclavés, etc.), des « blancs » collecteur sont effectués régulièrement, les mesures sont faites en triplicats. Les concentrations en ions majeurs organiques et inorganiques sont également mesurées à l'IGE dans le cadre d'exercice d'inter-comparaison.
- Le futur PTR-TOF-MS permettra, dans le cadre de campagnes de mesures, de caractériser la composition chimique organique volatile de la phase aqueuse du nuage. Ces données sont complémentaires aux mesures effectuées en parallèle par différentes méthodes analytiques ciblées sur notamment les acides carboxyliques, les composés carbonylés, etc.

Archivage des données et leur mise à disposition

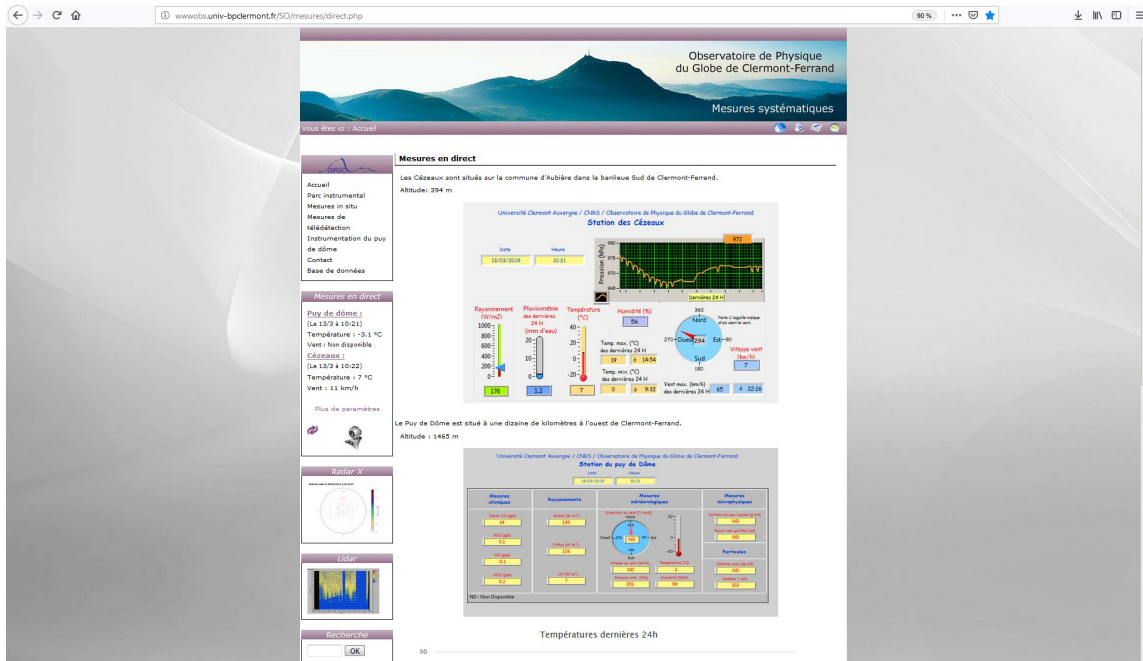
Les séries de données du SI couvrent maintenant, pour certaines d'entre elles, plus de vingt ans (Table 5).

Table 5. Séries de données disponibles sur les différents points de mesure du SI CO-PDD.

| | Mesure | PDD | OPM | CEZ/AULN | Collaboration/SNO |
|---------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Télé détec./Météo/Precip. | Lidar aérosol-H ₂ O | | | 2009-2019 | EARLINET |
| | Profileur vent VHF | | 1999-2015 | | LA |
| | Profileur Vent UHF | | | 2014-2019 | LA |
| | Precip. Mesures sol | | 1999-2019 | 2002-2019 | |
| | Radar précip. | | 2006-2019 | 2006-2019 | |
| | Radionucléides pluie | | 2004-2019 | | IRSN |
| | Paramètres météo | 1995-2019 | 2005-2019 | 2003-2019 | |
| | GPS H ₂ O | 2013-2019 | 2008-2019 | 2007-2019 | |
| | Photomètre aérosol | | | 2011-2019 | LOA/PHOTONS |
| | Rayonnement | 2000-2019 | | 2001-2019 | |
| Gaz | SO ₂ | 1995-2019 | | | |
| | Gaz trace réactifs (NO, NO ₂ , NO _y , CO, O ₃) | 2002-2019 | | | |
| | Gaz à effet de serre (Picarro) | 2000-2019 | | | LSCE/ICOS |
| | CO/CO ₂ /O ₂ /H ₂ O (bouteilles) | 2002-2019 | | | LSCE/Berne/ICOS |
| | Radon | 2002-2019 | | | |
| | Profils O ₃ /H ₂ O (train PDD) | 2014-2019 | | | |
| A | Propriétés optiques | 2000-2019 | | | CLAP |

| | | | | | |
|-------|---------------------|-----------|-----------|--|------|
| | Distribution taille | 2000-2019 | | | CLAP |
| | Carbone suie | 2001-2019 | | | CLAP |
| | Hygroscopicité | 2006-2019 | | | CLAP |
| | Chimie off-line | 2002-2019 | | | CLAP |
| | Chimie on-line | 2015-2019 | | | CLAP |
| | Radionucléides | 2005-2019 | 2004-2019 | | IRSN |
| Nuage | Chimie | 2001-2019 | | | ICCF |
| | Microphysique | 2003-2019 | | | |
| | Radionucléides | 2008-2019 | | | IRSN |

Dans un **souci de visibilité et d'utilisation locale**, les données produites sur le site instrumenté sont stockées sur le **serveur de l'OPGC**, sauvegardées sur un **serveur « back up »**, et accessible par la **base de données locale**. Le **portail internet** actuel de l'OPGC propose des quicklooks, des descriptions des systèmes de mesure et l'accès aux données du site instrumenté. Un **nouveau site web avec observatoire virtuel** permettant un accès aux données facilité est en cours d'élaboration en collaboration avec le service informatique de l'OPGC (Figure 3). L'OPGC est habilité à attribuer des **DOI** via l'INIST du CNRS. Par exemple, le DOI de PUYCLOUD a été créé⁶.



⁶ <http://dx.doi.org/10.25519/PUYCLOUD-Database-2017>

ERDDAP > tabledap

Tabledap lets you use the OPeNDAP constraint/selection protocol to request data subsets, graphs, and maps from tabular datasets (for example, buoy data). For a quick introduction, see this [video introduction to using tabledap](#). For details, see [ERDDAP's tabledap Documentation](#).

24 matching datasets, listed in alphabetical order. (Or, refine this search with [Advanced Search](#))

| Grid DAP Data | Sub-set | Table DAP Data | Make A Graph | W M S | Source Data Files | Title | Summary | FGDC, ISO, Metadata | Background Info | RSS | E mail | Institution | Dataset ID |
|---------------|---------|----------------|--------------|-------|-------------------|--|---------|---------------------|-----------------|-----|--------|-------------|------------------------------------|
| | set | data | graph | | | * The List of All Active Datasets in this ERDDAP * | | M | background | | | OPGC | allDatasets |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 1887-01-01 TO 1945-12-31, Precipitation, Monthly | | F I M | background | | | OPGC | pdd_historic_pluvio_f3fd_9923_e600 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 1925-01-01 TO 1927-12-31, Air temperature, time step 1 day | | F I M | background | | | OPGC | pdd_historic_temp_4f7a_882e_7f38 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 1995-06-03 TO 1997-12-31, 15-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset1_bf95_084c_1d36 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 1998-01-01 TO 1998-12-31, 15-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset2_6017_51d5_d187 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 1999-01-01 TO 2000-05-25, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset3_0dc8_13c7_614d |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2000-05-26 TO 2000-09-30, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset4_4e0e_2de6_30fe |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2000-10-01 TO 2000-11-06, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset5_af62_93b3_b3ec |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2000-11-07 TO 2001-11-18, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset6_bd3a_8215_6cdd |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2001-11-19 TO 2002-03-28, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset7_4b70_5896_6937 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2002-03-29 TO 2003-01-22, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset8_a1fa_aece_dce2 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2003-01-23 TO 2003-04-16, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset9_8b0f_98ec_6550 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2003-04-17 TO 2003-06-25, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset10_601d_d8e4_9f13 |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2003-06-26 TO 2003-09-17, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset11_91ac_020c_9eea |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2003-09-18 TO 2006-06-22, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset12_9f4b_a59c_dc8f |
| | set | data | graph | | | PUY DE DOME, FROM 2006-06-23 TO NOW, 5-minutes | | F I M | background | | | OPGC | pdd_dataset13_af7e_93bc_7e0a |
| | set | data | graph | | | ROYAT, FROM 1995-01-01 TO 1997-01-01, 1-hour | | F I M | background | | | OPGC | royat_dataset1_87cc_bef5_80c0 |
| | set | data | graph | | | STATION CEZEAX, FROM 2002-01-21 TO 2003-03-25 | | F I M | background | | | OPGC | cez_dataset0_150d_3bfe_e927 |
| | set | data | graph | | | STATION CEZEAX, FROM 2003-03-26 TO 2011-06-27 | | F I M | background | | | OPGC | cez_dataset1_b9dd_b05f_bad9 |
| | set | data | graph | | | STATION CEZEAX, FROM 2011-06-28 TO NOW | | F I M | background | | | OPGC | cez_dataset2_449e_6b4d_51b0 |
| | set | data | graph | | | STATION CEZEAX, LIDAR BIS | | M | background | | | OPGC | cez_lidar_dataset1_3301_10c4_8fb4 |
| | set | data | graph | | | STATION OPME, FROM 1999-01-01 TO 2004-12-31, 15-minutes | | F I M | background | | | OPGC | opme_dataset1_059e_6901_926a |
| | set | data | graph | | | STATION OPME, FROM 2005-01-01 TO 2013-12-31, 15-minutes | | F I M | background | | | OPGC | opme_dataset2_089a_9f68_d4f5 |
| | set | data | graph | | | TRAIN PDD | | F I M | background | | | OPGC | train_c87c_3a4d_21a4 |

The information in the table above is also available in other file formats (.csv, .htmlTable, .itx, .json, jsonlCSV, jsonKV, .mat, .nc, .ncsv, .tsv, .xhtml) via a [RESTful web service](#).

Figure 3. Copie d'écran de la page d'accueil du site de l'OPGC (en haut), et page d'accès aux données CO-PDD et production de quicklooks du futur serveur de données de l'OPGC (en bas).

Les données du SI seront également accessibles dans le cadre de **l'I SITE** clermontois au sein du Challenge 1 (Agro-écosystèmes durables dans un contexte de changement global). Un des livrables est la mise en œuvre d'un "Cloud Environnemental" qui incarne l'ambition de créer un « grand » observatoire de l'environnement en Auvergne. Les mesures seront visibles via un portail d'accès de regroupant l'ensemble des données environnementales (eau, air, sol) sur la région Auvergne.

Il a **toujours été dans notre démarche** d'inscrire et labelliser les mesures du SI dans **les réseaux nationaux et internationaux** des mesures faites sur le site. Les données sont donc également archivées sur d'autres bases de données dans le cadre de ces réseaux nationaux et internationaux qui proposent également des accès aux mesures des différents instruments du SI, avec login/mot de passe ou en accès libre. On peut mentionner :

- La base de données **EBAS** contient plusieurs versions de données horaires de mesures in-situ gaz et aérosols du puy de Dôme⁷.
- Le service **PAES** n'a pas été labellisé en 2015, mais le portail et la base de données existent toujours, et proposent un accès aux mesures de gaz réactifs mesurés au puy de Dôme⁸
- La base de données **AERONET** contient les mesures optiques des aérosols au Cézeaux⁹
- Des données de profils de rétrodiffusion par lidar sont envoyées vers la base de données **EARLINET**¹⁰
- La base de données **ICOS** contient les mesures de gaz à effet de serre au puy de Dôme¹¹
- La base de données E-Profile contient les mesures des profileurs de vent¹² ()
- Les bases de données **RESIF-RENAG** contiennent les mesures de colonne de vapeur d'eau sur les différents sites CO-PDD¹³

Des copies d'écran des données ou pages d'accès aux données CO-PDD pour ces différents portails sont fournies en annexe G.

⁷ <http://ebas.nilu.no/Default.aspx>

⁸ <http://paes.aero.obs-mip.fr>

⁹ http://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type_one_station_opera_v2_new?site=Aubiere_LAMP&nachal=2&level=1&place_code=10

¹⁰ <https://earlinet.org>, en accès limité par login et mot de passe

¹¹ <https://data.icos-cp.eu/>

¹² <http://eumetnet.eu/activities/observations-programme/current-activities/e-profile/radar-wind-profilers/>

¹³ <http://renag.resif.fr/?page=map> et <http://rgp.ign.fr>

Une volonté de structurer et rationaliser ces différentes bases de données est actuellement menée au niveau national avec la mise en place du pôle de données national **AERIS**¹⁴. Nous nous inscrivons dans cette démarche qui, à terme, devrait faciliter l'accès aux données et leur visibilité. Le portail d'AERIS renvoie actuellement vers ICARE¹⁵ qui contient un certain nombre de paramètres mesurés sur les différents sites CO-PDD (mesures in-situ des aérosols, données lidar, paramètres météo, imageur de ciel, profileurs de vent, mesures de gaz, mesures GPS). Un projet actuellement porté par AERIS vise à soumettre automatiquement vers la SCC (Single Calculus Chain) d'EARLINET toutes les données lidar que CO-PDD soumet à AERIS/ICARE.

La figure 4 présente un exemple de nombre de téléchargements et de génération de quicklooks (base de données EBAS, mesures SMPS) sur la période de janvier 2013 à mars 2019. Le nombre de téléchargements mensuel est en moyenne de 200 et atteint un pic de plus de 600 en septembre 2016. Les principaux pays utilisateurs sont la France (19%), les Etats-Unis (13%), le Danemark (8%), puis l'Angleterre, la Corée et la Suède (5%).

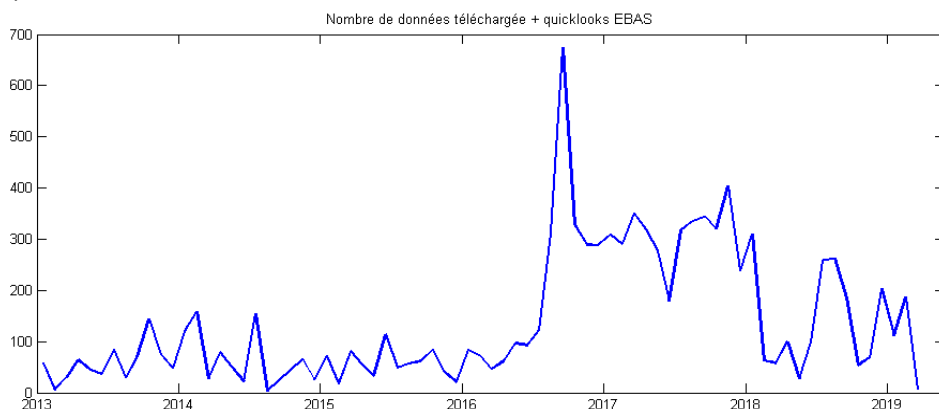


Figure 4. Nombre de téléchargements et productions de quicklooks mensuels des données SMPS du puy de Dôme (Communication Richard Rud, NILU).

Diffusion et rayonnement scientifique

Les données du site instrumenté ont été utilisées dans **70 articles** sur la période 2015-2019, dont **16 par les acteurs** et **54 par les utilisateurs**, ainsi que **17 thèses** (**10 par les acteurs** et **7 par les utilisateurs**). Nous avons identifié **13 articles en lien avec le spatial**. La liste détaillée est fournie en annexe A. L'évolution du nombre annuel d'articles utilisant les données du site CO-PDD montre une augmentation très significative et régulière sur les dernières années (Figure 5).

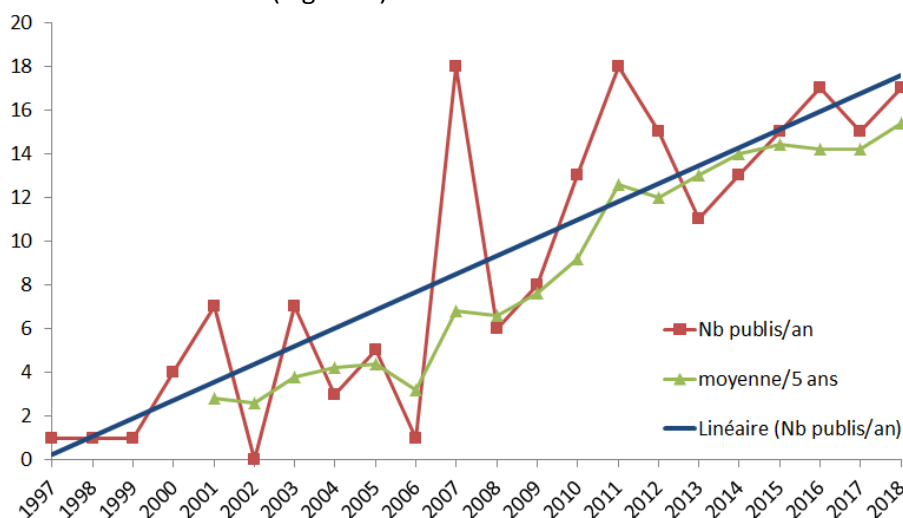


Figure 5. Evolution du nombre d'articles de rang A publiés par an utilisant des données CO-PDD (en rouge), en moyenne glissante sur les 5 années précédentes (en vert) et régression linéaire (en bleu). L'année 2019

¹⁴ <https://www.aeris-data.fr/>

¹⁵ <http://www.icare.univ-lille1.fr/>

n'apparaît pas sur la figure car elle est incomplète (arrêtée début avril) et contient des articles en phase de discussion ou d'évaluation.

La liste des **équipes extérieures impliquées dans le fonctionnement des instruments en routine sur le site** est donnée dans les tables des sections A11 et B5 : l'IRSN, le LSCE, l'ICCF, l'Université de Berne, Atmo-AURA, etc.

De nombreuses équipes ont déployé des instruments sur le site lors de la campagne PICNIC d'octobre 2018 (Table 6). Des **campagnes d'intercomparaisons EMEP** de mesure carbone suie ont eu lieu entre décembre 2017 et février 2018. Olivier FAVEZ (INERIS) a installé un analyseur AE33 qui mesure l'absorption des aérosols, notamment le carbone suie. L'inter-comparaison comprenait également des mesures sur filtre OC/EC et des mesures de chimie online par l'ACSM. Malheureusement, du fait de la forte présence de nuages et de givre pendant cette période, les mesures n'ont pas pu être exploitées lors de cette inter-comparaison. Un **audit des mesures de gaz** a été établi en avril 2016 par le WCC-Empa¹⁶, le centre de calibration des mesures de gaz in-situ hébergé par le laboratoire pour la pollution de l'air (Suisse, Christophe Zellweger) pour s'assurer que le site remplit les procédures et critères de qualités GAW et ICOS. Le comité d'audit a conclu à un bon fonctionnement du site avec un certain nombre de recommandations que le site devra satisfaire. Des instruments du SI CO-PDD ont également été déployés pour **des campagnes sur d'autres sites**. Par exemple les mesureurs de COV du puy de Dôme ont été en opération à la Réunion pour la campagne OCTAVE en avril 2018, et dans le cadre de l'ANR Biomaido en mars 2019 avec un ensemble de mesures gaz-aérosol-nuage.

Table 6. Synthèse des campagnes de mesure effectuées sur le site instrumenté ou par déploiement de systèmes de mesures du site sur sites de campagne extérieurs.

| Campagne | Date | Cadre scientifique | Personnes impliquées |
|--|-------------------------------|--|---|
| PICNIC | Hiver 2018 | ANR CHAIN et ACTRIS | 12 équipes, 7 pays différents ¹ 5 ETP du SI |
| EMEP/ACTRIS/COLOSSAL Winter Campaign (2017-2018) | Hiver 2017/2018 | EMEP/ACTRIS/COLOSSAL | 2 ETP 1 équipe |
| BIOCAP | Hiver 2014 - 2015 | ANR BIOCAP | 3 ETP du SI 4 ETP ICCF |
| OCTAVE | Printemps 2018 | Projet BRAIN-IASB, campagne à la Réunion | 2 ETP |
| SFPDD-Safire | Été 2015 | Intercomparaison instrumentale | 2 ETP |
| Dassault | Hivers 2014/2015 2015/2016 | Intercomparaison instrumentale | 2 ETP |
| University of Hertfordshire | Hivers 2014/2015 | Intercomparaison instrumentale | 2 ETP |
| SAFRAN | Hivers 2016/2017 | Givrage | 2 ETP |

¹ Université du Colorado, P. DeMott, CSU, USA, Institut de Technologie du Massachusetts, D. Cziczo, MIT, USA, Université de Mexico, L. Ladino, Mexique, Leipzig Institut, S. Mertes, TROPOS, Allemagne, Karlsruhe Institut für Technologie, O. Möhler, KIT, Allemagne, Institut de Chimie de Clermont-Fd, P. Amato, Institut de Chimie de Clermont Ferrand, France, Institut des sciences de l'atmosphère et du climat (Z. Kanji, ETH Zurich, Suisse

Concernant **les rapports et publications**, les responsables du SI ne sont pas associés de façon systématique ni mentionnés dans les remerciements dans les publications qui utilisent les données du site. Les

¹⁶ <https://www.empa.ch/web/s503/wcc-empa>

utilisateurs des données du SI doivent se rapprocher du chercheur responsable des mesures, lui indiquer si les données qu'ils utilisent sont destinées à être publiées et suivre ses conseils. La politique de remerciements ou association en tant que co-auteur des responsables scientifiques pour l'utilisation des données est mentionnée au niveau ACTRIS et GAW.

Les données du SI sont utilisées par des **modèles**, par exemple comme point de comparaison avec le modèle de chimie transport WRF-Chem (Barbet et al., 2016, Visser Auke J., 2016), avec Meso-NH (Lac et al., 2018) et avec le modèle de chimie des nuages CLEPS (Rose et al. 2018). Les données des profileurs de vent sont assimilées dans le modèle du centre européen ECMWF, ainsi que les données gaz aérosols sont assimilées dans de nombreux modèles de chimie transport.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

L'implication des personnels sur les différents sites et systèmes de mesure est indiquée sur l'organigramme présenté en figure 6 et la table 7 liste leur employeur, statut, rôle et implication au 30 avril 2019.

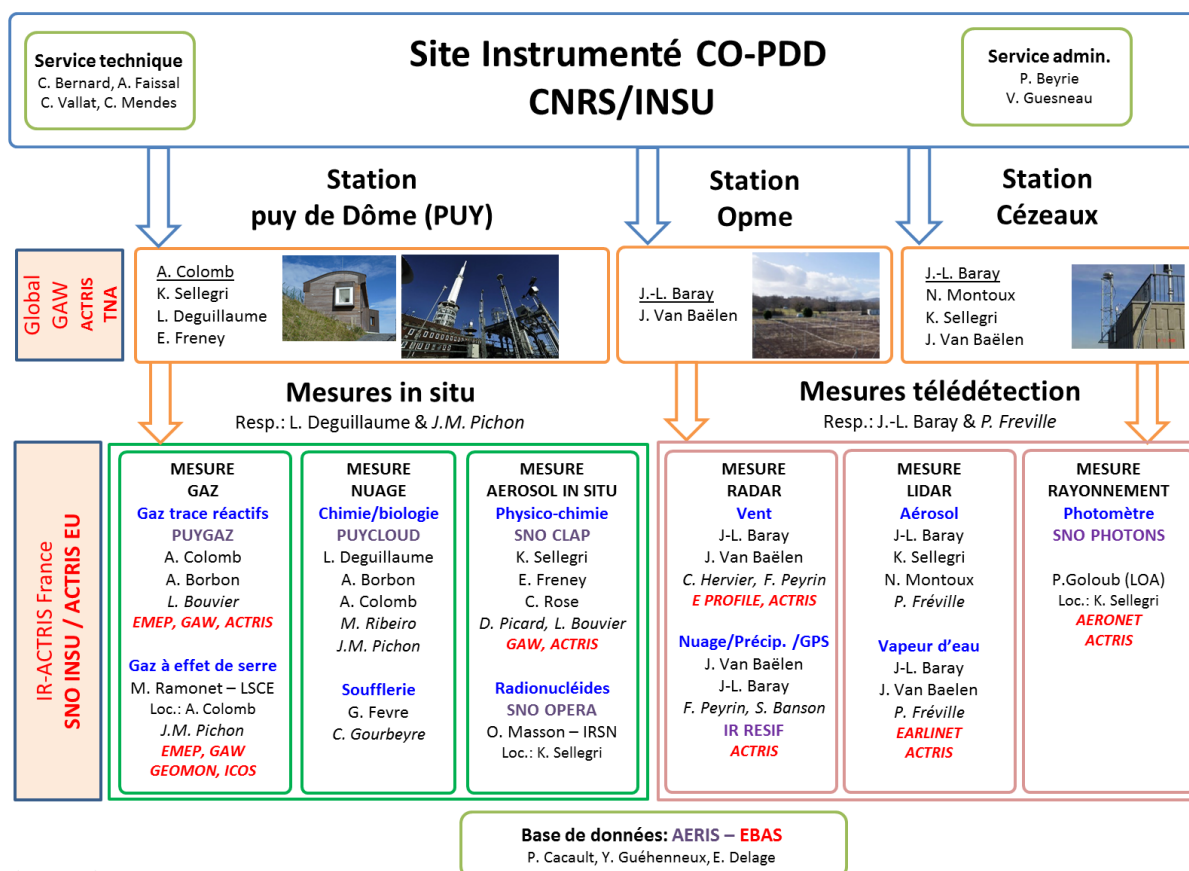


Figure 6. Organigramme fonctionnel du site instrumenté CO-PDD au 1^{er} avril 2019. Les personnels techniques et administratifs sont en italique, les services d'observations internes à l'OPGC et nationaux sont en violet et les réseaux et infrastructures internationaux sont en rouge.

Table 7. Liste des personnels impliqués dans le fonctionnement du SI CO-PDD.

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SI | Personne.mois |
|------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| BANSON Sandra | CNRS, LaMP, IE | Données et radar précip. | 1.2pm |
| BARAY Jean-Luc | UCA, OPGC/LaMP, Phys. Adj. | PI SI CO-PDD, télédétection | 4pm (dont 1.2 pm PHOTONS/CARS) |
| BERNARD Christophe | UCA, OPGC, Tech | Mécanique | 1.2pm |
| BEYRIE Pascal | CNRS, OPGC, IE | Responsable administratif | 1.2pm |
| BONTEMPS Martial | UCA, OPGC, Tech | Electronique | 0.6pm |
| BORBON Agnès | CNRS, LaMP, CR | Gaz in-situ | 1.2pm |
| BOUVIER Laëtitia | UCA, OPGC, Tech | Analyses chimiques | 9.6pm (dont 1.8pm CLAP et 0.6pm ICOS) |
| CACAUT Philippe | CNRS, OPGC, IE | Réseaux, données | 3.6pm |
| COLOMB Aurélie | UCA, LaMP, MCF | Gaz in-situ, GAW PUY référence | 3pm |
| DEGUILLAUME Laurent | UCA, OPGC/LaMP, Phys. | Co-PI SI CO-PDD, nuage in-situ | 4pm |
| DELAGE Emmanuel | UCA, OPGC, IE | Réseaux, données | 0.6pm |
| FAISSAL Alexandre | UCA, OPGC, AdT | Entretien, logistique | 7.2pm |
| FEBVRE Guy | UCA, LaMP, MCF | Soufflerie | 1.0pm |
| FRENEY Evelyn | CNRS, LaMP, CR | Aérosol in-situ | 3.6pm (dont 1.8pm CLAP) |
| FREVILLE Patrick | UCA, OPGC, IR | Lidar | 6pm (dont 6 pm PHOTONS/CARS) |
| GOURBEYRE Christophe | UCA, LaMP, IE | Soufflerie | 0.6pm |
| GUEHENNEUX Yannick | UCA, OPGC, IE | Réseaux, données | 1.8pm |
| GUESNEAU Valérie | CNRS, OPGC, AI | Gestion | 1.2pm |
| HERVIER Claude | UCA, OPGC, IE | Profileur vent, pluviomètres, radar précip. | 3.6pm |
| MENDES Christelle | UCA, OPGC, AdT | Entretien sites | 0.6pm |
| MONTOUX Nadège | UCA, LaMP, MCF | Lidar, radiosondage, Caméra EKO | 1.2pm (dont 1.2 pm PHOTONS/CARS) |
| PEYRIN Frédéric | CNRS, OPGC, AI | Radar profileur de vent | 3.6pm |
| PICARD David | CNRS, LaMP, IR | Instrumentation aérosol in-situ | 4.2 pm dont 1.2 pm CLAP |
| PICHON Jean-Marc | UCA, OPGC, IE | Mesures in-situ, maintenance, traitement de données, | 9.6pm dont 1.8pm CLAP et 0.6pm ICOS |
| REGIS Edouard | UCA, OPGC, IE | Sondages AIRCORE | 0.6 pm |
| ROSE Clémence | CNRS, LaMP, CR | Aérosol in-situ | 3.4pm dont 1pm CLAP |
| RIBEIRO Mickael | CNRS, LaMP, Tech | Maintenance/qualité mesures | 10.2pm dont 2.4 pm CLAP et 0.6pm ICOS |
| SELLEGRI Karine | CNRS, LaMP, DR | Aérosol/nuage in-situ, GAW PUY référence | 1.5pm dont 0.9pm CLAP |
| VALLAT Christophe | UCA, OPGC, Tech | Electricité | 2.4 pm |
| VAN BAELEN Joël ¹ | CNRS, LaMP, DR | Radar, GPS | 0.6 pm |

¹ Départ en mutation prévue en septembre 2019

Pour la période 2020-2024 nous proposons une gouvernance avec **deux co-responsables** : **Jean-Luc Baray** et **Laurent Deguillaume** avec une gouvernance se déclinant aux niveaux local, national et international décrit dans l'organigramme présenté dans la figure 7.

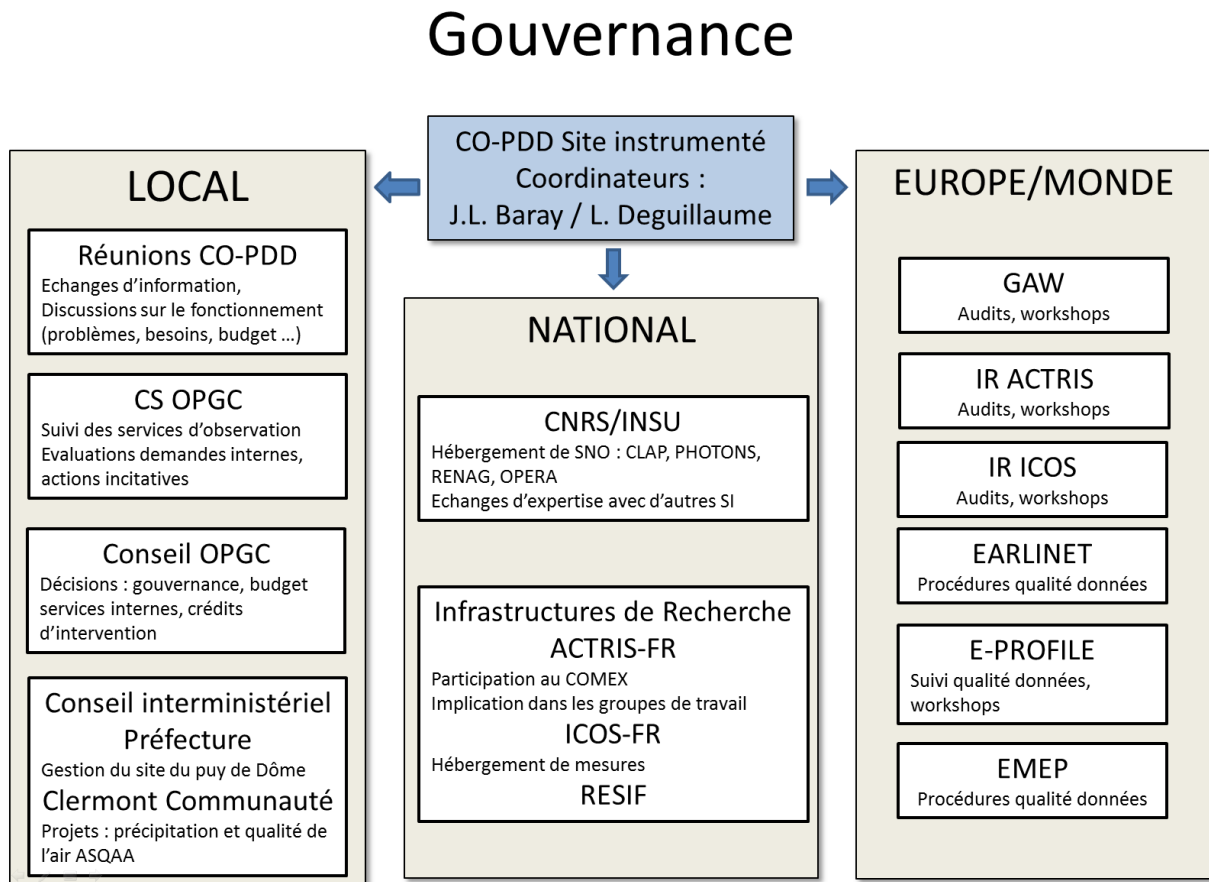


Figure 7. Organigramme de gouvernance du site instrumenté CO-PDD au 1^{er} avril 2019.

Les activités d'observations de routines et de campagne menées dans le cadre du site instrumenté ainsi que les besoins et priorités budgétaires sont discutés dans le cadre de réunions CO-PDD organisées 4 fois dans l'année. Les activités sont ensuite présentées dans les conseils et conseils scientifiques de l'OPGC auxquels participent les responsables CO-PDD. Les conditions et contraintes matérielles du site du puy de Dôme (accès, électricité, etc.) sont discutées et gérées lors de réunions du conseil interministériel auxquelles participent des représentants du SI. Certains projets de déploiement et échanges de mesures sont également effectués en contact avec Clermont Communauté (données pluviométriques, mesures d'ozone ...etc). Le SI figure dans l'organigramme de l'OPGC présenté dans la figure 8. Le site instrumenté CO-PDD est un élément de base d'ACTRIS. Le responsable du SI participe au COMEX d'ACTRIS-FR (figure 9). CO-PDD héberge des mesures dans le cadre des SNO CLAP et PHOTON, qui sont également dans le périmètre d'ACTRIS, et de l'IR ICOS.

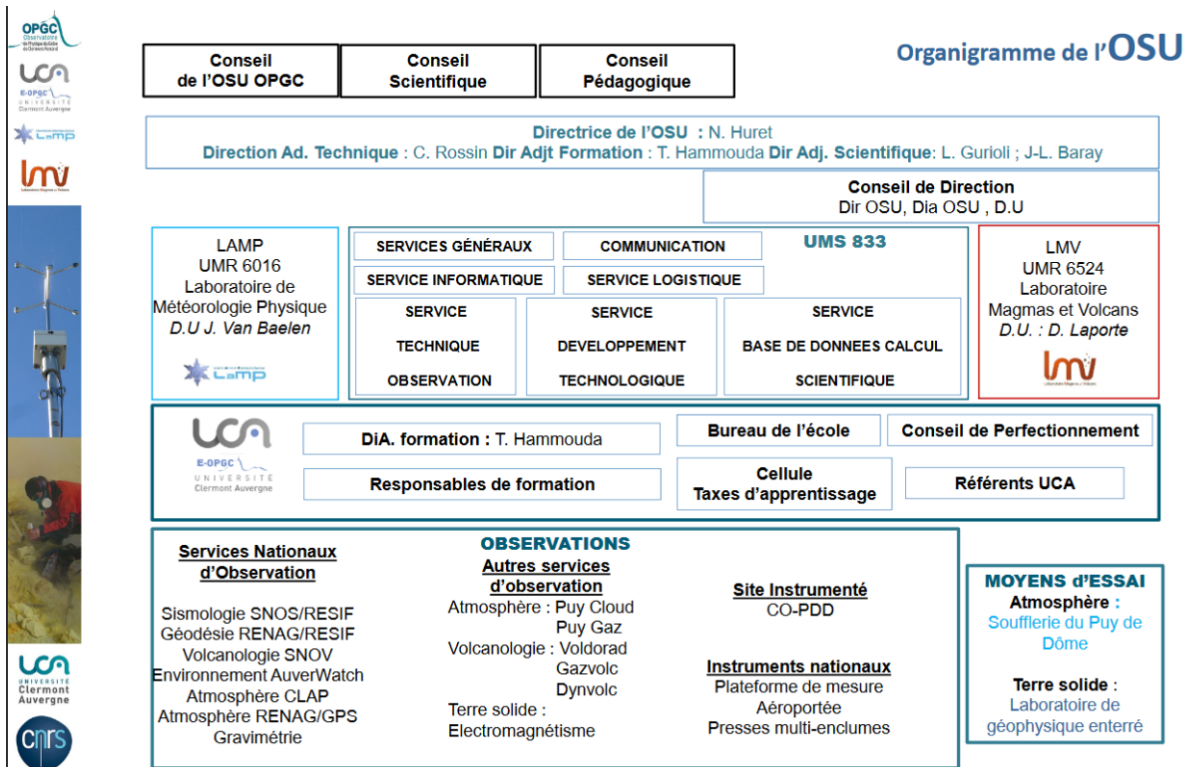


Figure 8. Organigramme de l'OPGC.

Déclinaison nationale des éléments ACTRIS

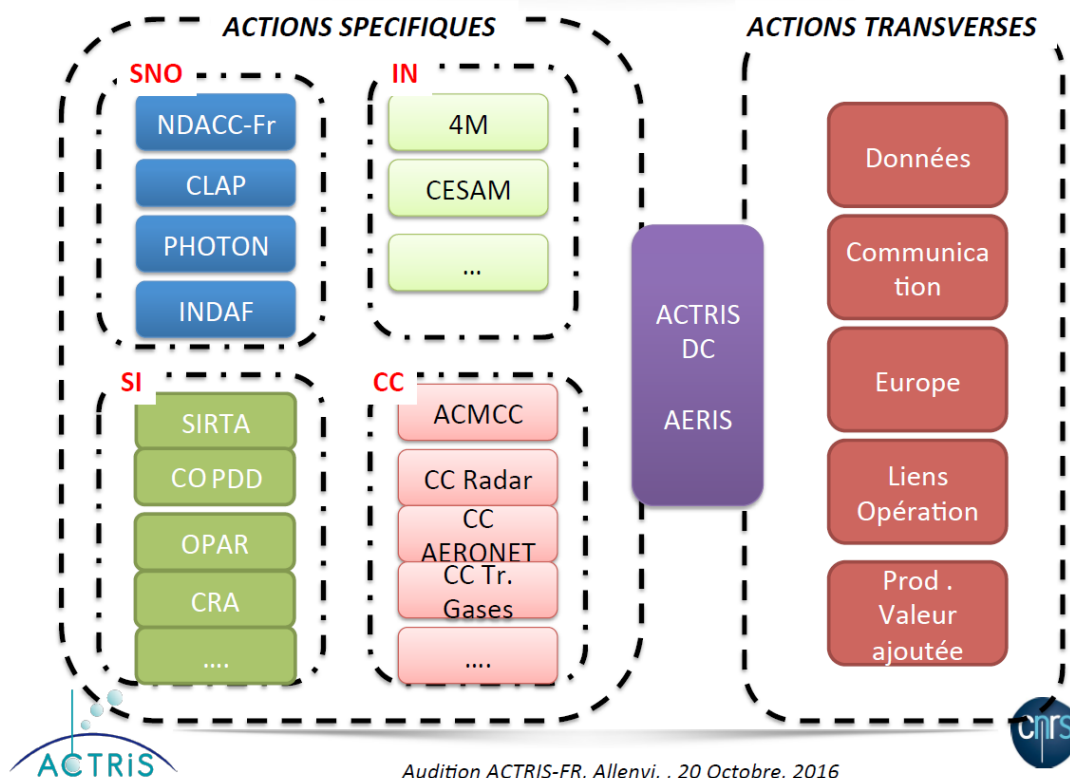


Figure 9. Eléments de base d'ACTRIS présentés par les responsables d'ACTRIS-FR à ALLENI le 20 octobre 2016.

Budget

Les ressources, dépenses et demandes sont présentées respectivement dans les tables 8, 9 et 10.

Table 8. Ressources récurrentes et occasionnelles du SI CO-PDD 2015-2019

| Ressources récurrentes 2015-2019 | | | Ressources occasionnelles 2015-2019 | | |
|----------------------------------|----------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------|---|
| Origine | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | Commentaire |
| INSU SI | 25/an 30/an | 2015-2017 2018-2019 | Projets Région | 6.7/1.2 | 2015/2016 |
| CNES SI | 25/an | 2017-2019 | CNES EECLAT | 4.5/6.4 | 2016/2017 |
| RENAG | 3.6/an | | Mi lourd INSU | 61 | 2017, projet COPLid |
| IRSN | 3.6/an | | OPGC actions incitatives | 13/10/4. 5/7.7 | 2013/2014/ 2015/2018 |
| Service interne OPGC PUYCLOUD | 1.5/an | | ACTRIS-FR | 20 | 2017, projet COPLid |
| Service interne OPGC Soufflerie | 1/an | 2015-2019 | CPER | 530 | 2018-2019 |
| | | | INSU/GAW/mesures COV | 11 | 2017 |
| | | | SPMS | 25 | ACTRIS-FR 2019 |
| | | | NOX | 15 | ACTRIS-FR 2019 |
| | | | ACSM | 200 | CPER/SOERE/Clermont-Co/jeune chercheur 2015 |
| | | | Jouvence véhicule 4x4 | 18/6 | INSU/OPGC |
| | | | Projet Soufflerie | 13.4 | Dassault 2015 |
| | | | Projet Soufflerie | 3.5 | University of Hertfordshire 2015 |
| | | | Projet Soufflerie | 19.1 | SAFRAN 2016-17 |
| TOTAL | 62/an | | TOTAL | 976 | |

Table 9. Dépenses récurrentes et occasionnelles du SI CO-PDD 2015-2019

| Dépenses récurrentes 2015-2019 | | | Dépenses occasionnelles 2015-2019 | | |
|--------------------------------|--------------|-------------|-----------------------------------|--------------|-------------|
| Nature | Montant (k€) | Commentaire | Nature | Montant (k€) | Commentaire |
| Fonct. gaz | 15/an | | COPLid | 113 | 2017 |
| Fonct. aérosol | 10/an | | Sondage AIRCORE | 1 | 2018 |
| Fonct. nuage | 2/an | | Analyseur O3 | 10 | 2017 |
| Fonct. télédétection | 10/an | | Changement PM GC/MS | 2 | 2018 |
| Fonct. général | 17/an | | Inlets /atomiseur aérosols | 8 | 2018 |
| Fonct. Soufflerie | 7,5/an | | ACSM | 200 | 2015 |
| Missions | 2/an | | Impacteurs nuages | 2 | 2018 |
| Publications | 2/an | | PTR-TOF-MS | 430 | 2019 |
| Autres divers | 3/an | | Compteur bioaérosols - WBS | 100 | 2018 |

| | | | | | |
|--------------|--------------|--|------------------------------|-----|------|
| | | | <i>Jouvence véhicule 4x4</i> | 24 | 2018 |
| | | | <i>Autres divers</i> | 48 | |
| | | | <i>Réparation soufflerie</i> | 3 | 2018 |
| <i>TOTAL</i> | <i>68/an</i> | | <i>TOTAL</i> | 941 | |

Table 10. Demande de soutien 2020-2024

| Demande de soutien sur 2020-2024 (y compris soutien CNES) | | |
|--|---|---|
| <i>Fonctionnement</i> | <i>55 k€/an (30 k€ CNRS et 25 k€ CNES)</i> | <i>Les soutiens récurrents de la période 2015-2019 ont permis au cours de cette période le bon fonctionnement du site. Nous demandons donc une reconduction des soutiens CNES et CNRS pour la période 2020-2024 au niveau de ceux accordés pour la période 2015-2019.</i> |
| <i>Equipement Néphélomètre</i> | <i>35 k€</i> | <i>Le néphélomètre fournit les mesures optiques des aérosols. Il s'agit d'une variable primaire ACTRIS. En fonctionnement depuis 1999, la jouvence de cet instrument est à envisager à court terme.</i> |
| <i>Equipement jouvence VHF</i> | <i>50 k€</i> | <i>Le profileur de vent VHF fait l'objet d'un effort particulier pour sa remise en fonctionnement suite à l'interruption des mesures en 2015. Il est en effet assimilé dans les analyses météorologiques via e-profile. La remise en fonctionnement est espérée en 2019 mais des frais de jouvence sur l'antenne et sur la remise en état du container hébergeant le système sont à considérer.</i> |
| <i>Générateur d'ozone (TEI 49i-PS)</i> | <i>25 k€</i> | <i>Un générateur d'ozone de type TEI 49i-PS a été spécifiquement demandé dans l'audit GAW de 2016, nous devons effectuer cet investissement pour remplacer l'ancien analyseur de type ANSYCO sous peine de perdre ce label pour la partie gaz.</i> |
| <i>TOTAL</i> | <i>55 k€ / an + 110 k€ de jouvences possibles</i> | |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

CO-PDD fait partie **intégrante du paysage scientifique auvergnat**. Nous travaillons avec le conseil départemental CD63 sur le site du puy de Dôme, labellisé Grand Site de France et patrimoine mondial de l'UNESCO. Nous travaillons avec Atmo-Auvergne, l'agence locale de surveillance de la qualité de l'air, et un partenariat est en cours entre la communauté urbaine Clermont Auvergne Métropole et l'OPGC concernant les précipitations.

Nous œuvrons pour la vulgarisation de la science avec :

- L'ouverture du chalet de l'observatoire au grand public pour de nombreuses manifestations (Fête de la science, fête du panoramique des dômes, fête de la nature,...). **Plus de 500 personnes (scolaires + public) ont visité le chalet du puy de Dôme en 2018.**
- **L'accueil régulier de scolaires de tous niveaux** (depuis l'école primaire jusqu'aux classes préparatoires et IUT) qui viennent visiter les installations au sommet du puy de Dôme et les instruments de télédétection sur le site des Cézeaux et de Opme.
- De nombreux articles publiés dans **la presse écrite régionale et nationale** (La Montagne, Le Monde, Science et Avenir, Science et vie,...).
- Des **passages radio et télévision** (Météo à la carte sur France télévision, France Inter, RTL, BFM-TV,...).
- Des **conférences grand public** données par exemple dans le cadre des mercredis de la science, une série de conférences grand public organisées par l'Université Clermont Auvergne.

Certaines mesures diffusées en temps réel sur le site internet de l'OPGC participent à la visibilité du site pour le public, en particulier les précipitations sur le bassin clermontois par radar, et l'affichage des images

de la webcam du sommet du puy de Dôme. Les statistiques de connexions pour l'année 2018 sont fournies dans la figure 10.

STATISTIQUES POUR LE SO CO-PDD

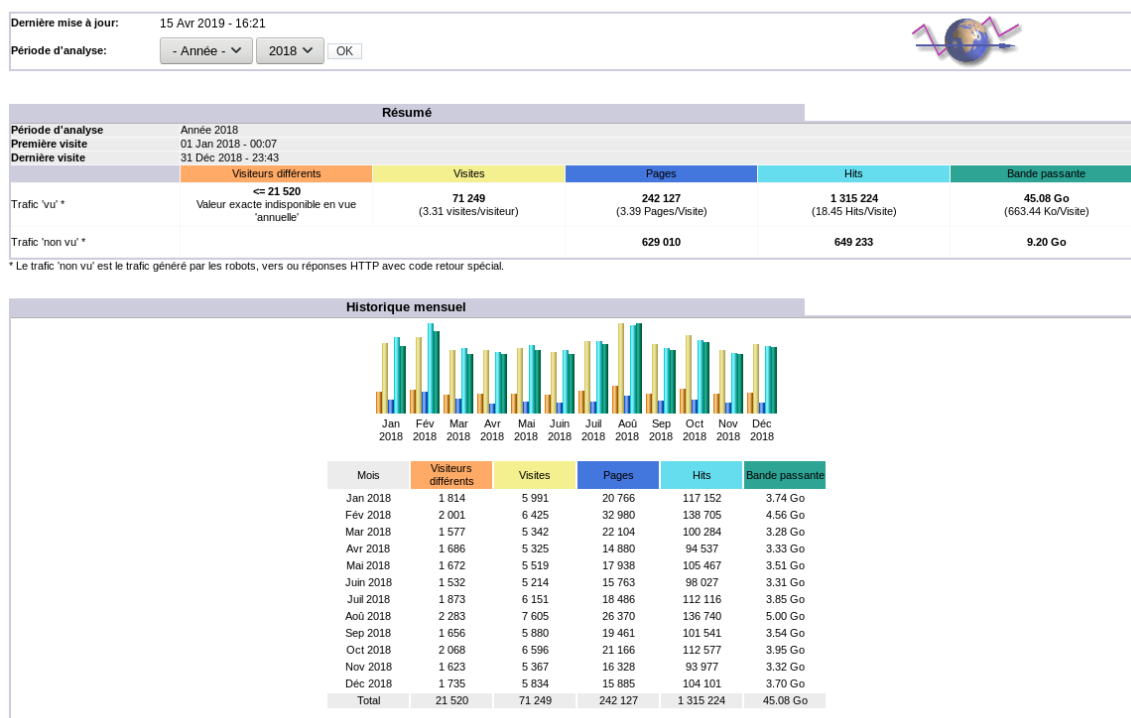


Figure 10. Statistiques de connexions sur le site internet de l'OPGC (partie CO-PDD) pour l'année 2018.

Difficultés rencontrées

Les difficultés que l'on risque de rencontrer dans le futur concernent les aspects de **ressources humaines**.

Jacques Fournet Fayard, physicien adjoint et Yves Pointin, chargé de recherche CNRS, spécialistes en mesure, traitement et analyse de données radar, sont partis en retraite respectivement en 2012 et 2014. Il n'ont pas été remplacés, et le départ de Joël Van Baelen prévu en septembre 2019 engendrera une perte d'expertise supplémentaire et importante pour l'activité scientifique menée autour des mesures radar du site instrumenté qui comporte plusieurs radars de type profileur VHF, UHF, radar en bande X pour les précipitations, micro-rain radar en bande K et radar nuage en bande Ka.

L'acquisition récente d'un outil en ligne de mesure des composés organiques volatiles par PTR-TOF-MS va permettre de suivre la composante organique atmosphérique de façon continue pour les gaz et lors de campagnes de mesures pour les aérosols et les gouttelettes de nuage. Cet instrument de spectrométrie de masse haute résolution, à l'aide de différents inlets, permettra de faire le lien entre les compartiments atmosphériques (gaz, eau, particules) à travers la composante organique qui demeure à ce jour la plus méconnue. Les mesures sont complémentaires également avec les mesures actuelles du SI. La mise en œuvre, la maintenance et le traitement des données de cet instrument nécessiteront l'acquisition d'un soutien technique et d'une expertise en spectrométrie de masse.

Enfin, un autre besoin en base de données et calcul scientifique est également exprimé, qui permettraient d'améliorer le traitement statistique des données, de développer des outils de modélisation pour l'interprétation des mesures, et faciliter les échanges avec le pôle de données AERIS.

SI stratégique pour les activités spatiales

Le site instrumenté propose des séries d'observations de paramètres atmosphériques in-situ et par télédétection lidar, radar et photomètre pouvant être utiles et utilisées pour la validation satellitaire. Nous fournissons une série de mesures de composés atmosphériques décrits dans ce dossier de labellisation, pour la validation satellitaire et la comparaison avec des produits satellites, mais également l'étude de processus physiques, chimiques et thermodynamiques par couplage mesures in-situ/télédétection/modélisation. Ce travail s'appuie sur le soutien du **centre de données AERIS** où de nombreuses données CO-PDD sont déjà ou seront transmises, et également sur des études menées dans le cadre du projet **EECLAT (Expecting Earth-Care, Learning from A-Train)**. A ce titre le site instrumenté a bénéficié d'un support financier du CNES de **25 k€ par an de fonctionnement entre 2017 et 2019**. Ce support financier a été **utilisé principalement pour le fonctionnement** du site, avec des opérations spécifiques de **soutien à l'investissement pour le projet COPLid (10k€)** ou l'achat d'hélium pour un **radiosondage test de type AIRCORE (1k€)**.

Au cours de la période 2017-2019 correspondant au soutien du site par le CNES, une climatologie et une étude des tendances des mesures de vapeur d'eau au sol, en colonnes verticales (GPS) et en profils verticaux (lidar) a été menée sur le site CO-PDD dans le cadre de la thèse de Dani Hadad soutenue en décembre 2018, et ayant fait l'objet d'un article publié dans le journal *Atmosphère* (Hadad et al., 2018).

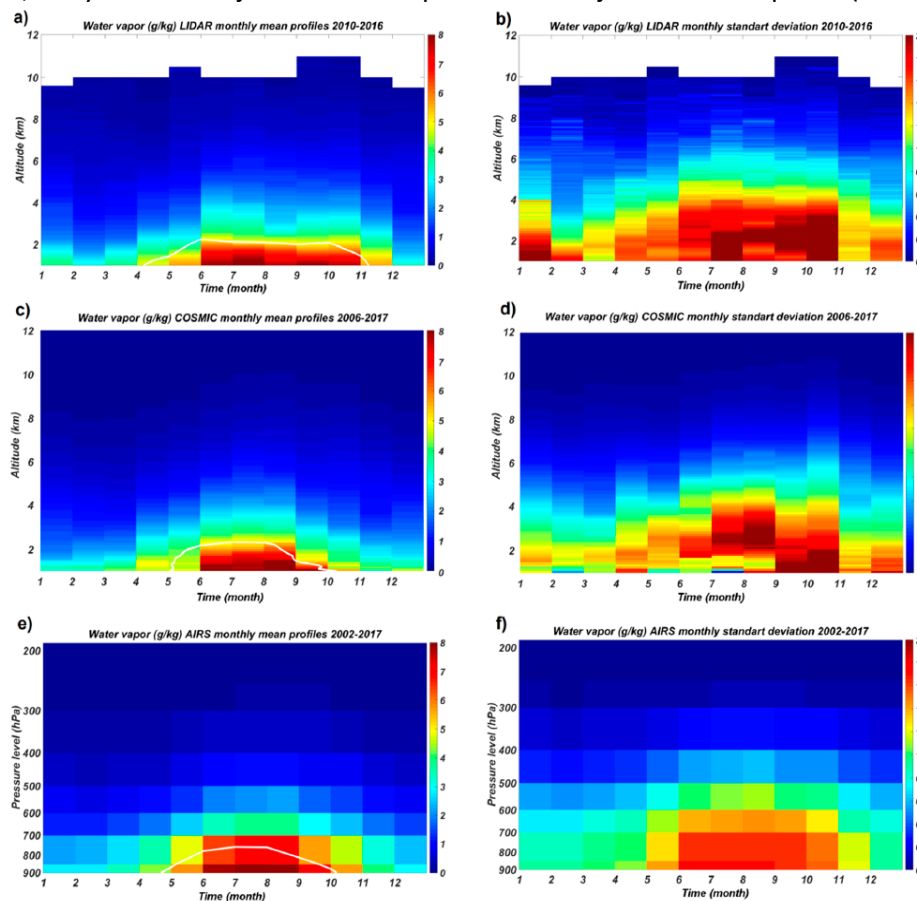


Figure A1. Climatologie (a,c,e) et variabilité (écart-type b,d,f) des profils verticaux vapeur d'eau au-dessus du site instrumenté CO-PDD mesurés par lidar (2010-2016 a,b), satellite COSMIC (2006-2017, c,d) et satellite AIRS (2002-2017, e,f). D'après Hadad et al., 2018.

Cette **approche multi-instrumentale** (in-situ, lidar, GPS) incluant des mesures satellitaires (AIRS, COSMIC) a permis de caractériser la variabilité et les cycles de variation aux différentes échelles de temps, et les tendances à long terme de la vapeur d'eau au sol et dans la troposphère. L'influence des processus sur les variations de vapeur d'eau a été quantifiée au moyen d'une approche par régression multilinéaire appliquées aux différentes séries temporelles. Nous avons ainsi montré que les forçages continentaux (East Atlantic pattern, East Atlantic West Russia pattern) étaient plus influents que les forçages océaniques (NAO).

Le **système lidar de Clermont Ferrand** est en opération depuis 2009 et fonctionne de manière autonome depuis 2013 (Fréville et al. 2015). Le système lidar a permis de caractériser les propriétés optiques et physiques du panache de l'éruption du volcan Eyjafjallajokull en 2010 (Hervo et al., 2012), de caractériser la hauteur de la couche limite (Frenay et al., 2016), d'établir des climatologies de la vapeur d'eau et des cirrus (Fréville et al., 2015) et d'étudier un cas d'intrusion stratosphérique (Baray et al., 2017). Compte tenu des durées de fonctionnement du système, une opération de jouvence du laser et d'amélioration de la structure du système était devenue indispensable pour nous maintenir au niveau des standards EARLINET et ACTRIS. Ce fut fait dans le cadre du projet COPLid, co-financé par l'INSU (appel d'offre Milourid 2017), ACTRIS et le CNES (crédits EECLAT et CO-PDD).



Figure A2. Photographies du système lidar à l'intérieur du bâtiment (à gauche) et la nouvelle ouverture sur le toit où a été placé l'ancien caisson (à droite), suite aux évolutions dans le cadre du projet COPLid.

Le déroulement des opérations de ce projet fut le suivant : une première phase (fin 2017), a fait l'objet d'un ensemble d'achats de matériel : laser, électronique d'acquisition, banc optique, travaux d'infrastructure, conception optique. Une seconde phase a vu un ensemble de travaux de gros œuvre (réalisation d'une trémie, sécurisation et étanchéité, déplacement du lidar à l'intérieur du bâtiment), le changement du PC d'acquisition et la reprise des mesures. Une troisième phase a vu la conception et la réalisation opto-mécanique d'un afocal et d'un nouveau châssis de télescope et des travaux de second œuvre (cloisonnement du lidar, rideaux de protection laser), l'installation du nouveau laser Spectra physics INDI, de nouveaux développement et test du système ADSB de sécurité aérienne, et l'écriture du dossier d'autorisation d'émission laser à la DSAC (soumis en mars 2019). Au cours de l'année 2019, nous prévoyons de mettre en place un lanterneau motorisé d'ouverture de la trémie, d'installer et réaliser une interface électronique de contrôle depuis l'acquisition lidar, de concevoir, fabriquer et intégrer l'opto-mécanique des nouvelles voies de réception pour des premières mesures à 3 longueurs d'ondes fin 2019 ou 2020.

Une étude de **détermination de la fraction nuageuse** par analyse de la caméra webcam en opération au sommet du puy de Dôme est également en cours de développement et a été présentée oralement au workshop EECLAT 2019. Les résultats fournissent une climatologie de l'ennuagement à une échelle très locale, qui peut ensuite être comparée à des mesures de produits satellites à plus grande échelle tels que CATS (Cloud Aerosol Transport System) à bord de la station spatiale ISS, en opération entre février 2015 et octobre 2017. La validation de la méthode et l'extension à d'autres produits satellites (Meteosat - Seviri) est prévue dans le futur.

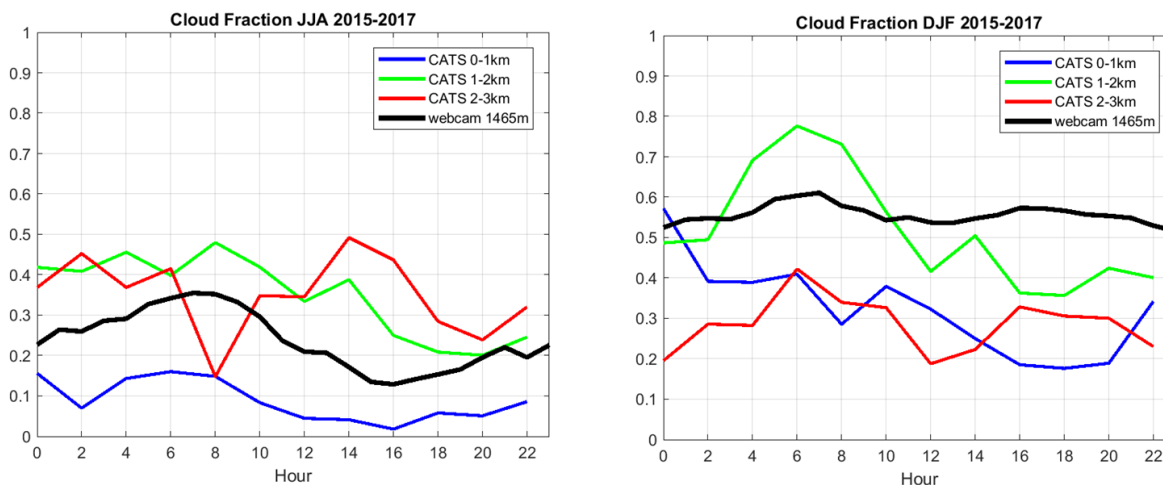


Figure A3. Variations diurnes de la fraction nuageuse produite par CATS à différentes altitudes comparée à la mesure par webcam au sommet du puy de Dôme en été (à gauche) et en hiver (à droite).

Des travaux de **modélisation de simulateur lidar et radar** sont également actuellement menés au LaMP dans le cadre d'EECLAT sous la direction de Frédéric Szczap et de Valery Shcherbakov (CDDs CNES de Alaa Alkasem et Guillaume Mioche). Ces outils pourraient être appliqués aux données CO-PDD en 2020-2024 et à des lidar/radar embarqués sur satellites pour comparaisons dans le futur.

Comme indiqué dans le paragraphe B3 du dossier, nous nous sommes impliqués dans la réalisation d'un **radiosondage AIRCORE** en collaboration avec le LMD (C. Crevoisier, F. Danis) à Clermont-Ferrand en novembre 2018. La perte du signal pendant le vol du ballon a empêché la récupération de la sonde dans des temps compatibles avec l'analyse Picarro, mais le profil de la sonde PTU est donné dans la figure ci-dessous. Nous prévoyons donc un second vol test au printemps 2019 avant la **campagne MAGIC** (11-21 juin 2019) à laquelle nous prévoyons donc de participer, et qui vise à la validation de missions spatiales mesurant les gaz à effet de serre telles que **MICROCARB, MERLIN et IASI NG**.

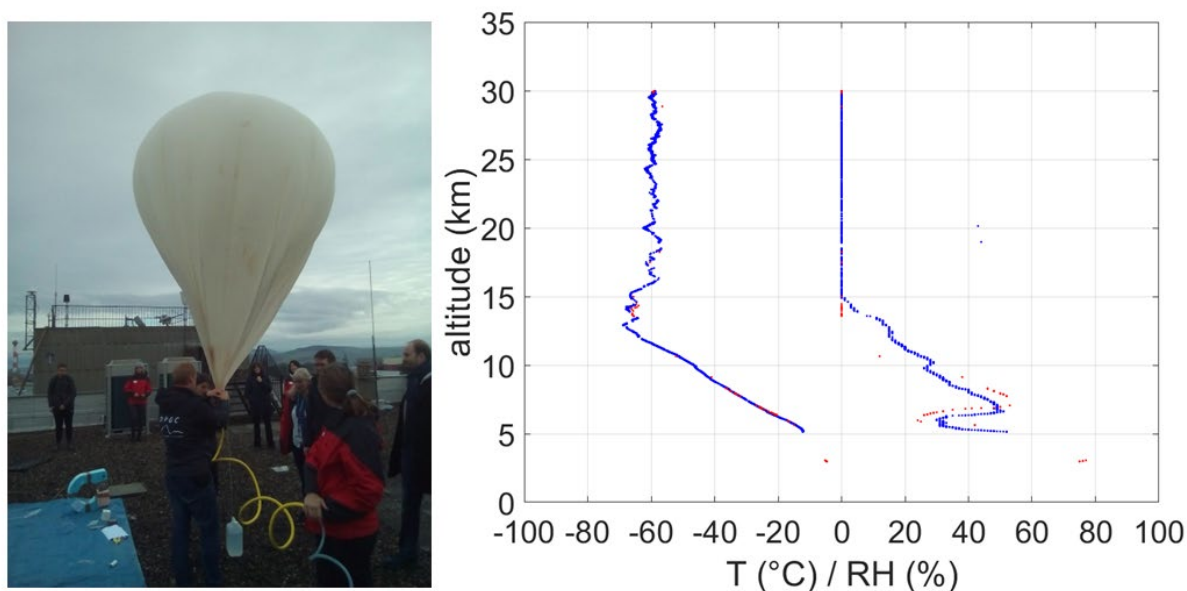


Figure A4. Photographie du lâcher de ballon AIRCORE à l'OPGC (28 novembre 2018) et profils de température et d'humidité relative obtenus.

L'évaluation des produits aérosols fournis par **CALIOP** à l'aide des mesures in-situ complétées par celles du lidar multi-longueur d'onde et du photomètre est également prévue pour 2019-2020 dans le cadre d'un CDD IR EECLAT qui va débiter en mai 2019, financé par le CNES et encadré par Nadège Montoux.

Un soutien du CNES pour le site durant la période 2020-2024 au niveau de celui de 2017-2019 (25 k€/an) nous permettrait de mener à bien ces différents projets et permettra de continuer à développer les activités instrumentales de surveillance et de mesure atmosphérique effectuées sur le site CO-PDD et pertinentes pour les divers programmes spatiaux soutenus par le CNES.

Annexe E : Liste des sigles utilisés dans ce dossier

| | |
|-----------|--|
| 4M | Moyens Mobiles de Mesures Météorologiques |
| ACMCC | Aerosol Chemical Monitor Calibration Centre |
| ACSM | Aerosol Chemical Speciation Monitor |
| ACTRIS | Aerosol Cloud and Trace gases Research Infrastructure |
| ACTRIS-DC | ACTRIS Data Center |
| AERONET | Aerosol Robotic Network |
| AIS | Air Ion Spectrometer |
| ANDRA | Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs |
| ANR | Agence Nationale de la Recherche |
| BIOCAP | Impact biologiques et photochimiques sur la capacité oxydante du nuage |
| BVOC | Biogenic Volatile Organic Compounds |
| CALIPSO | Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations |
| CCNC | Cloud Condensation Nucleus Counter |
| CESAM | Chambre Expérimentale de Simulation Atmosphérique Multiphase |
| CLAP | CLimate relevant Aerosol Properties from near surface observations |
| CLEPS | Cloud Explicit Physico-chemical Scheme |
| CNRM | Centre National de Recherches Météorologiques |
| CNRS | Centre national de la recherche scientifique |
| COMEX | Comité Exécutif |
| CO-PDD | Cézeaux-Opme-Puy de Dôme |
| CPC | Condensation Particle Counter |
| CRA | Centre de Recherches Atmosphériques |
| CRDS | Cavity Ring-Down Spectroscopy |
| DOI | Digital Object Identifier |
| DU | Directeur d'Unité |
| DWD | Deutscher WetterDienst |
| EARLINET | European Aerosol Research Lidar Network |
| EarthCare | Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer |
| EC/OC | Elemental Carbon / Organic Carbon |
| ECAC | European Center for Aerosol Calibration |
| ECMWF | European Centre for Medium-Range Weather Forecasts |
| EECLAT | Expecting Earth-Care, Learning from A-Train |
| EMEP | European Monitoring and Evaluation Programme |
| EMPA | Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research) |
| ENSTA | École nationale supérieure de techniques avancées Bretagne |
| ETP | Equivalent Temps Plein |
| FM | Fog Monitor |
| FRE | Fédération de Recherche en Environnement |
| FSSP | Forward SCattering Spectrometer Probe |
| GAW | Global Atmospheric Watch |
| GCFID | Gas Chromatography – Flame Ionization Detector |
| GCMS | Gas Chromatography Mass Spectrometry |
| GPS | Global Positioning System |
| HCNM/NMHC | <i>Non-Methane Hydrocarbon</i> |
| HTDMA | Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyser |
| IASI-NG | Infrared Atmospheric Sounding Interferometer of New Generation |
| ICCF | Institut de Chimie de Clermont Ferrand |
| ICOS | Integrated Carbon Observation System |
| IGE | Institut des Géosciences de l'Environnement |
| INDAF | International Network of Deposition and Atmospheric chemistry in Africa |

| | |
|--------------|--|
| INEE | Institut écologie et environnement du CNRS |
| INERIS | Institut national de l'environnement industriel et des risques |
| INSU | Institut National des Sciences de l'Univers du CNRS |
| IRSN | Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire |
| I-Site | Initiatives-Science – Innovation – Territoires – Economie |
| IUT | Institut Universitaire Technologique |
| LA | Laboratoire d'Aérodynamique |
| LaMP | Laboratoire de Météorologie Physique |
| LEFE | Les Enveloppes Fluides et l'Environnement |
| LMD | Laboratoire de Météorologie Dynamique |
| LMU | Ludwig Maximilians Universität München |
| LMV | Laboratoire Magmas et Volcans |
| LOA | Laboratoire d'Optique Atmosphérique |
| LSCE | Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement |
| MAAP | Multiangle Absorption Photometer |
| MAGIC | Monitoring of Atmospheric composition and Greenhouse gases through multi-Instruments Campaigns |
| MERLIN | Methane Remote Sensing Lidar Mission |
| MRR | Micro Rain Radar |
| NDACC | Network for the Detection of Atmospheric Composition Change |
| NILU | Norsk Institutt for Luftforskning |
| OCTAVE | Oxygenated Compounds in the Tropical Atmosphere: Variability and Exchange |
| OPAR | Observatoire de Physique de l'Atmosphère de la Réunion |
| OPERA | Observatoire Permanent de la Radioactivité |
| OPGC | Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand |
| OSU | Observatoire des Sciences de l'Univers |
| PAES | Pollution Atmosphérique à l'Echelle Synoptique |
| PHOTONS-CARS | PHOTONS-Center for Aerosol Remote Sensing-Fr |
| PICNIC | Puy de Dôme Ice Nucleation Intercomparison Campaign |
| PTR-TOF-MS | Proton Transfer. Reaction - Time of Flight - Mass Spectrometer |
| PVM | Particule Volume Monitor |
| RENAG | REseau NAional GNSS permanent |
| RESIF | Réseau sismologique & géodésique français |
| ROSEA | Réseau d'observation pour la surveillance et l'exploitation de l'atmosphère |
| SCC | Single Calculus Chain |
| SI | Site Instrumenté |
| SIRTA | Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique |
| SMPS | Scanning Mobility Particle Sizer |
| SNO | Service National d'Observation |
| SNOS | SNO Sismologie |
| SNOV | SNO Volcanologie |
| TEOM | Tapered Element Oscillating Microbalance |
| TEOM-FDMS | Tapered Element Oscillating Microbalance with Filter Dynamics Measurement System |
| TROPOS | Leibniz Institute for Tropospheric Research |
| UHF | Ultra High Frequency Radar |
| UNESCO | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization |
| VHF | Very High Frequency Radar |
| VOC ou COV | Volatile Organic Compounds |
| WCCAP | World Calibration Center for Aerosol Physics |
| WCC EMPA | World Calibration Centre for Surface Ozone, Carbon Monoxide, Methane and Carbon Dioxide |
| WIBS-NEO | Wideband Integrated Bioaerosol Sensor |
| WRF | Weather Research and Forecasting Model |

Service National d'Observation Volcanologique (SNOV-OPGC)

Description générale des observations en volcanologie

Appartenance du service (ANO 1-> 5) : ANO-1 / ANO-6

Nom du service : SNOV-OPGC (+ VELI)

Adresse URL du site web du service : <http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/>

Résumé du service:

La majorité des actions d'observations menées en Volcanologie par l'OPGC sont intégrées dans le Service National des Observations en Volcanologie (SNOV), dont l'OPGC est co-porteur avec l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). En particulier, nos activités d'observations s'insèrent de manière grandissante dans les Observatoires Volcanologiques et Sismologiques (OVS) Français. Mais, une contribution importante des observations est aussi réalisée sur des cibles connexes et prioritaires telles que les Volcans Italiens, Islandais, Sud-Américains, Indonésiens ou Comorien. La nature des mesures réalisées couvre un panel assez large, avec néanmoins un domaine d'expertise privilégié autour de la télédétection (ex. HOTVOLC, OI², VOLDORAD). Thématique sur laquelle l'OPGC est reconnu internationalement. D'ailleurs ces activités représentent une contribution importante à l'IR-EPOS, et s'insère dans de nombreux autres projets européens (ex. EuroVolc).

Nom du responsable :

Mathieu Gouhier, Physicien-Adjoint, M.Gouhier@opgc.fr

Laboratoire :

LMV - Laboratoire Magmas et Volcans (UMR 6524)

OSU ou établissement/organisme de rattachement :

OPGC, Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, UMS 833

Autres organismes associés : UCA – Université Clermont Auvergne

Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service

Table 1

| | | |
|-----------------------------|---|------------------------------------|
| IPGP | Coordination SNOV avec l'OPGC, UAV, analyses chimiques, liens avec les OVS | komorow@ipgp.fr |
| OVPF | Échantillonnage, télédétection, maintenance station HOTVOLC, mesures gaz et solides, UAV | peltier@ipgp.fr / kowalski@ipgp.fr |
| OVSG | Flux thermique, analyse chimique, UAV | moretti@ipgp.fr |
| LATMOS | Développements HF et logiciels. Exploitation scientifique des données de campagnes de mesures atmosphériques (VOLDORAD-3) | J. Delanoë |
| Protection Civile italienne | Exploitation opérationnelle et scientifique des données (VOLDORAD-2B) | G. Vulpiani |
| CENAPRED | Acquisition des données de VOLDORAD-1 au Popocatepetl (Mexique), et maintenance du radar. | P. Alonso |
| LaMP | Exploitation scientifique des données de campagnes de mesures atmosphériques (VOLDORAD-3) | K. Sellegri |
| Météo-France | R&D sur système HOTVOLC, algorithmes/procédures opérationnelles : cendres volcaniques (VAAC) | P. Hereil |
| PRODIG (Paris 1 PS) | R&D module acquisition HOTVOLC/SATNAP | JC Bergès |
| UNIV-Florence | Grain size, accumulation rate in-situ (ASHER, DynVolc) | M. Marchetti |

Lien avec une IR ou TGIR

Oui, Les observations volcanologiques sont en lien direct avec l'IR-EPOS.

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial

Oui, Les activités d'observation en Volcanologie de l'OPGC comprennent des activités stratégiques pour le spatiale. Notamment, le système HOTVOLC (télédétection IR thermique) qui fonctionne principalement à

partir des données Meteosat (CNES-ESA) et utilisant les données du programme **Sentinel-2/5 (CNES-ESA)** pour les activités de **CAL/VAL** sur les produits de données volcanologiques à haute valeur ajoutée (ex. débits laviques, etc.). Notre expertise en télédétection spatiale nous conduit aussi à participer au **phase O/A** de développement de futures missions (ex. **Trishna – CNES/ISRO**). Les activités d'observations en interférométrie radar (système OI²) sont basées, notamment, sur l'utilisation des données **Sentinel-1 (CNES-ESA)**. Le CNES soutient les développements techniques et méthodologiques des activités de CAL/VAL des données satellites par les mesures géophysiques aéroportées dédiées à l'observation des émissions volcaniques au moyens de vecteurs aéroportés légers (drones).

Le service proposé relève-t-il

- **d'autres domaines de l'INSU**, Oui, les activités d'observations des panaches volcaniques (gaz et cendres), en particulier, sont étroitement reliées à certaines activités du domaine **Océan-Atmosphère (OA)**, et ont déjà fait l'objet de plusieurs publications scientifiques (ex. Sayhoun et al., 2019) combinant les jeux de données TS et OA.

Lien avec un pôle ou un centre de données:

Oui, les mesures en interférométrie radar (OI²), notamment, sont associées au pôle de données **Form@ter**, et l'ensemble des données SNO-V est destiné à y être progressivement intégré. Par le biais des mesures atmosphériques (panaches volcaniques - HOTVOLC) nous avons participé au comité des utilisateurs du pôle de données **ICARE/ACTRIS**.

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

L'activité volcanique constitue un danger bien réel pour l'homme et les infrastructures associées. Mais les éruptions restent difficiles, voire impossible, à prévoir suffisamment à l'avance. Par conséquent la surveillance temps-réel, quand elle est possible, et le suivi en continu des signaux volcaniques est un enjeu majeur. Dans le contexte actuel, et pour ne donner que deux exemples, avec (i) la réactivation sismo-géochimique de la Soufrière de Guadeloupe, et (ii) l'intensification du trafic aérien, les observations en volcanologie doivent rester un axe absolument prioritaire dans la politique de suivi des aléas naturels et catastrophiques. Dans les objectifs de mesures réalisées à l'OPGC, on distingue notamment l'acquisition de paramètre pré-éruptifs (ex. Déformation – OI²/DEFVOLC) qui nous apportent des informations cruciales sur les mécanismes d'ascension du magma. Les paramètres syn-éruptifs (Coulées de lave, Panache cendres + gaz – HOTVOLC/UAV), essentiels à la réduction du risque apportent aussi des informations sur les mécanismes de mise en place de ces produits. Enfin, des bases de données texturales, pétrographiques et géochimiques syn- ou post-éruptives (ex. DYNVOLC) sont réalisées à partir de l'échantillonnage des produits pyroclastiques (blocs, cendres, etc.). Ces données apportent des informations sur la dynamique éruptive et les processus magmatiques

Mission d'observation

Les cibles prioritaires (SNOV) des observations en Volcanologie de l'OPGC concernent d'une part (i) les cibles volcaniques Françaises (Piton de la Fournaise, Soufrière de Guadeloupe et Montagne Pelée). A ce titre, on peut noter que les actions d'observations menées en volcanologie par l'OPGC s'insèrent de manière grandissante dans les Observatoires Volcanologiques et Sismologiques (OVS) Français. (ii) D'autre part, nous travaillons aussi beaucoup sur d'autres cibles prioritaires dont les produits éruptifs (ex. cendres et gaz) peuvent impacter les territoires/espace aérien français et européen comme les volcans Islandais (ex. Eyjafjallajökull, Bardarbunga), Italiens (Etna) ou des Antilles anglophones (Soufrière Hills), ou les Comores. Nous avons aussi été sollicités pour faire de travaux de terrain sur l'île de Mayotte pour contraindre les différents scénarios éruptifs qui pourraient se produire en cas de réactivation future. Enfin, que ce soit via le « Site Instrument » (SI) de VELI (TS-ANO-6) ou des Instruments Nationaux (IN) en devenir (ex. VOLDORAD), nous réalisons des mesures systématiques sur les Volcans Indonésiens et d'Amérique Latine.

Les activités d'observation en Volcanologie qui sont réalisées à l'OPGC couvrent un spectre plus large que le seul SNOV. C'est le cas du système STEREOVOLC qui réalise des mesures VIS/IR stéréo pour le suivi temps-réel du dôme du Mérapî (Indonésie). Ce dispositif est déjà intégré au site instrumenté VELI (Volcans Explosifs – Laboratoires Indonésiens) de l'ANO-6 (TS). Enfin, l'OPGC possède aussi une expertise dans la modélisation numérique des processus volcaniques. Nous mettons ainsi à disposition de la communauté scientifique deux codes communautaires (CC) : (i) DEFFVOLC, centré sur la

modélisation des déformations associées à la mise en place des intrusions (dykes, etc.) et (ii) VOLCFLOW dédié à la modélisation des écoulements (PF, Lahars, tsunami, coulées de lave)

Table 2 : Récapitulatif des grandeurs mesurées et de l'archivage

| | Nom | Type | Paramètres mesurés | Période | Fréquence | Distribution |
|---------------|---|---------------------------------------|---|--|---|---|
| IN-SITU | Rock analysis (DYNVOLC) | SNOV ANO-1 | -Taille/type de particules -Texture micro/macro - Majeurs + traces | Fournaise 1998-ongoing | During crisis | OV-OPGC open-access |
| | Chemical analysis (GAZVOLC) | SNOV ANO-1 | Gaz and solid chemistry | 2014-ongoing | During crisis | OV-OPGC Open-access |
| TELEDETECTION | Space-based radar interferometry (OI ²) | SNOV ANO-1 | Wrapped differential interferograms Insar lava flow maps Volcanic plume ash and SO2 | Continuous 2003-ongoing | 1/week | CASOAR Open-access |
| | Space-based InfraRed (HOTVOLC) | SNOV ANO-1 | Thermal anomaly of lava flows | Continuous 2010- ongoing | Real-time (15 min) | HOTVOLC Open- access |
| | Ground-based UV/IR (GAZVOLC) | SNOV ANO-1 | DOAS measurements (SO2) + Multi-GAS (CO2, SO2,H2S) | Continuous 2014-ongoing | Continuous < 1 s | OV-OPGC Open-access |
| | Ground-based IR (ThermaVOLC) | SNOV ANO-1 | Broad-band Thermal-IR + in-situ thermal measurements (heat flux) | 2017-ongoing + continuous 2018-ongoing | 1/month < 1 s | Volobsis + OV-OPGC |
| | Ground-based VIS/IR (STEREOLC) | SI-VELI ANO-6 | IR Stereo measurements (heat flux + morphology) VIS Stereo measurements (heat flux + morphology) | 2013-ongoing | Real-time (3 min) Real-time (10 min) | OV-OPGC open access + Merapi Obs. |
| | Ground-based radars (4 VOLDORAD) | Instr. SNOV ANO-1 | L0: Reflectivity and velocity L1: MER, TEM, duration L0: echo power, radial velocity, Doppler spectra L1: MER, TEM, duration | <u>Popocatepetl</u> 2013-ongoing <u>Campaigns</u> ≥1998 <u>Etna</u> L0 2009-ong L1: 2019-ong | Real-time < 1 s Real-time < 1 s | OV-OPGC Open-access + INGV-OE + CENAPRED |
| UAV | Airborne geophysics (VOLCADRONE) | Instr. SNOV ANO-1 | VIS/IR measurements (high resolution DEM) | - | - | - |
| | | | Gravi/Mag shallow volcanic structures | - | - | - |
| | | | Plume ash and gas measurements | - | - | - |
| MODELLING | Modelling deformation (DEFVOLC) | Code N ANO-1 | Cartes de déplacements : <i>géométrie, localisation, contraintes cisailantes, pression</i> | n.a. | n.a. | n.a. |
| | Modelling flows (VOLCFLOW) | Code N ANO-1 | Cartes de simulations : Pyroclastic flow, tsunami, lava flow | n.a. | n.a. | n.a. |

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

Liens avec d'autres SNO, insertion du SNO dans le dispositif de recherche français (régional, national), insertion européenne et internationale, appartenance à un réseau européen ou international d'observation (*lettres de soutien à fournir en annexe*). Le rattachement à une voire plusieurs IR/TGIR de référence, existantes ou en construction, est fortement encouragé, y compris pour les nouveaux services en demande de labellisation (*lettres des porteurs d'IR/TGIR existantes ou en construction à*

fournir en annexe au dossier). Le cas échéant, décrire en quoi le SNO est stratégique pour le spatial ou le polaire (remplir également les annexes C et/ou D).

Archivage des données et leur mise à disposition

Oui, Les observations volcanologiques sont en lien direct avec l'IR-EPOS.

| | Paramètres mesurées | Type | Liens IR |
|---------------|---|-----------------|--------------------|
| TÉLÉDÉTECTION | Ground-based Doppler radar near-source parameters | SNOV ANO-1 (IN) | EPOS WP11-DDSS-024 |
| | Ground based radar Doppler spectra | SNOV ANO-1 (IN) | EPOS WP11-DDSS-053 |
| | Wrapped differential interferograms | SNOV ANO-1 | EPOS WP11-DDSS-050 |
| | Insar lava flow maps | SNOV ANO-1 | EPOS WP11-DDSS-051 |
| | Volcanic plume ash and SO2 | SNOV ANO-1 | EPOS WP11-DDSS-047 |
| | Thermal anomaly of lava flows | SNOV ANO-1 | EPOS WP11-DDSS-049 |
| IN-CITII | Rock analysis | SNOV ANO-1 | EPOS WP11-DDSS-026 |
| | Chemical Analysis | SNOV ANO-1 | EPOS WP11-DDSS-036 |


Diffusion et rayonnement scientifique

La liste des publications se trouve en fin de document. Les statistiques inhérentes à chaque système d'observation pour la période 2014-2018 sont listées sur les documents de chacun des services.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | pm |
|--------------------|--------------------------------|--|-----|
| BACHELERY Patrick | UCA, LMV, Pr. | Co-resp. SNOV + implications DynVolc | 1 |
| BERNARD Christophe | UCA, OPGC, T | Mécanique | 1.2 |
| BONTEMPS Martial | CNRS, OPGC, AI | GAZVOLC, VOLCADRONE (UAV), STEREVOLC, ThermaVolc | 5 |
| CACAULT Philippe | CNRS, OPGC, IE | BDD + Calcul scientifique | 2 |
| CAYOL Valérie | CNRS, LMV, CR | Resp. DEFVOLC | 6 |
| CHEVREL Oryaëlle | UCA, LMV, PostDoc | Mesures in-situ de viscosité | 2 |
| DELAGE Emmanuel | CNRS, OPGC, IE | Calcul scientifique | 2 |
| DONNADIEU Franck | UCA, OPGC/LMV Phys. Adj. | Resp. VOLDORAD (Doppler radar) | 4 |
| FAISSAL Alexandre | UCA, OPGC, T | Entretien, logistique | 3 |
| FREVILLE Patrick | UCA, OPGC, IR | Coordination SDT, radar | 1.2 |
| FROGER Jean-Luc | UCA, LMV, MCF | Resp. OI ² (Interférométrie radar) | 4 |
| GAILLER Lydie | UCA, OPGC/LMV Phys. Adj. | Resp. gravi+Mag (UAV-VOLCADRONE) + Géophysique | 4 |
| GOUHIER Mathieu | UCA, OPGC/LMV Phys. Adj. | Resp. HOTVOLC Resp. SNOV-OPGC | 4 |
| GUÉHENNEUX Yannick | UCA, OPGC, IE | BDD + Calcul scientifique | 8 |
| GUESNEAU Valérie | CNRS, OPGC, AI | Gestion | 1.2 |
| GURIOLI Lucia | UCA, OPGC/LMV Phys. | Resp. DYNVOLC (Rock analysis) | 4 |
| HARRIS Andrew | UCA, LMV, Pr | Échantillonnage, thermique, modélisation (DynVolc) | 1.5 |
| HERVIER Claude | UCA, OPGC, IE | VOLDORAD, Profileur vent, pluviomètres | 2 |
| HRYSIWICZ Alexis | UCA, LMV, PhD | Interferométrie radar | 2 |

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|-----|
| JESSOP David | UCA, OPGC/LMV Phys. Adj. | Resp. ThermaVOLC (Heat fluxes) | 4 |
| KELFOUN Karim | UCA, LMV, MCF | Resp. STEREOVOLC + VOLCFLOW | 1.5 |
| LABAZUY Philippe | UCA, OPGC/LMV Phys. Adj. | Resp. VOLCADRONE (UAV) Implications HOTVOLC | 4 |
| LATCHIMY Thierry | CNRS, OPGC, IE | STEREOVOLC, Radars, Disdromètres | 3 |
| MENDES Christelle | UCA, OPGC, AdT | Entretien sites | 0.6 |
| MOUNE Séverine | UCA, OPGC/LMV Phys. Adj. | Resp. GAZVOLC (UV/Chemical analysis) | 4 |
| PEYRIN Frédéric | CNRS, OPGC, IE | Radar | 3 |
| REGIS Édouard | UCA, OPGC, IE | UAV | 3 |
| SOURIOT Thierry | CNRS, LMV, IR | UAV | 1 |
| VALLAT Christophe | UCA, OPGC, Tech | Électricité | 2.4 |
| VLASTELIC Ivan | CNRS, LMV, CR | Chemical analysis | 1.5 |



OPGC
Observatoire de Physique et Glaciologie de Dumont d'Urville

SERVICES D'OBSERVATIONS

OPGC (CNRS/INSU)

Service admin.
P. Beyrie, V. Guesneau

Service Technique
A. Faissal, C. Bernard
C. Vallat, C. Mendes

BDD/Calcul Scientifique
P. Cacault, Y. Guéhenneux,
E. Delage

Coordinateur :
M. Gouhier

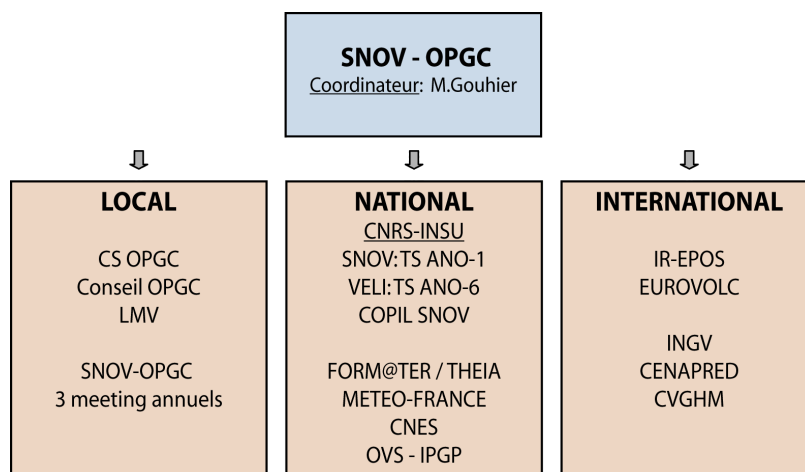
| TELEDETECTION | IN-SITU | UAV | MODELISATION | | |
|---|---|---|--|---|--|
| <p>OI² Interferometrie JL. Froger* Y. Guéhenneux A. Hrysiewicz</p> <p>HOTVOLC InfraRouge M. Gouhier* P. Labazuy Y. Guéhenneux P. Cacault</p> | <p>VOLDORAD Radar Doppler F. Donnadieu* Y. Guéhenneux C. Hervier F. Peyrin</p> <p>GAZVOLC UV S.Moune* Y. Guéhenneux M. Bontemps T. Latchimy</p> | <p>STEREOVOLC VIS/IR-Stereo K. Kelfoun* M. Bontemps T. Latchimy</p> <p>ThermaVolc IR D.Jessop* A.Harris Y. Guéhenneux M. Bontemps T. Latchimy</p> | <p>DYNVOLC Rock analysis L. Gurioli* I. Vlastelic P. Bachèlery O.Chevrel/A.Harris Y. Guéhenneux <i>+ support pôle technique (LMV)</i></p> <p>GAZVOLC Chemical analysis S. Moune* Y. Guéhenneux</p> | <p>VOLCADRONE VIS/IR P. Labazuy* E. Régis/T. Latchimy D. Jessop/T. Souriot M. Bontemps</p> <p>Gravi/Mag L. Gailler* P. Labazuy E. Régis</p> <p>In-situ P. Labazuy* S. Moune</p> | <p>DEFVOLC Déformation V. Cayol*</p> <p>VOLCFLOW Écoulements K. Kelfoun* E. Delage</p> |
| <p>SNOV ANO - 1 IR-EPOS METEO-FRANCE Form@ter / Theia</p> | <p>SNOV ANO - 1 Instrument / ANO - 1 IR-EPOS</p> | <p>VELI SI ANO - 6</p> | <p>SNOV ANO - 1 IR-EPOS</p> | <p>SNOV ANO - 1 Instrument / ANO - 1</p> | <p>Code numérique ANO - 1 + OI² ANO - 6 Form@ter</p> |

Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission du SNO (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique). Les ressources humaines seront comptabilisées en *personnes mois* (pm) sur la base du temps réel effectué. Les organismes d'appartenance et les corps des personnels seront précisés à l'aide d'un tableau du type suivant :

Gouvernance

Fournir un organigramme présentant les instances et leurs liens dans la gouvernance et le fonctionnement du SNO, distinguer l'environnement interne du SNO de son environnement externe (par exemple relations avec les instances d'une IR/TGIR, d'un SOERE...). Indiquer les personnels impliqués dans ces instances.

Préciser également le fonctionnement des instances (fréquence de réunion...).



Budget

| Ressources récurrentes sur 2015-2018 | | | Ressources occasionnelles sur 2015-2018 | | |
|--------------------------------------|---------------|------------------|---|--------------|--|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | Commentaire |
| INSU-SNOV | 40 /an | 2014-2018 | CNES | 15 | HOTVOLC |
| Service Interne OPGC | 6 /an | 2014-2018 | CNES | 20 | OI ² |
| Service Interne LMV | 4 /an | 2014-2018 | PNTS | 18 | OI ² |
| | | | CLERVOLC | 180 | DEFVOLC |
| | | | EUROVOLC | 24 | DEFVOLC |
| | | | CLERVOLC | 20 | STEREOVOLC |
| | | | CNRS-INSU | 8 | GAZVOLC |
| | | | INSU-SNOV (IPGP) | 10 | GAZVOLC |
| | | | AI-OPGC | 5 | ThermaVOLC |
| | | | CLERVOLC | 85 | VOLDORAD-3 R&D, tests terrain |
| | | | CNRS MI | 45 | VOLDORAD-3 développement |
| | | | AI OPGC | 12 | VOLDORAD |
| | | | EU MED-SUV | 35 | VOLDORAD, drone |
| | | | CLERVOLC | 65 | VOLCADRONE (UAV) |
| | | | CNES | 35 | VOLCADRONE (UAV) |
| | | | CNES | 6 | DYNVOLC |
| | | | EUROVOLC | 8 | DYNVOLC |
| | | | ANR-STRAP | 30 | DYNVOLC |
| | | | I-Site cap 20-25 | 81 | DYNVOLC |
| | | | TELLUS | 2 | DYNVOLC |
| | | | ANR-LAVA | 5 | DYNVOLC |
| | | | AI OPGC | 2.5 | DYNVOLC |
| | | | Axe transverse Région | 3.7 | DYNVOLC |
| TOTAL | 50 /an | 2014-2018 | TOTAL | 715.2 | 4 ans & tous services confondus |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

D'autres aspects pourront être évoqués tels que la stratégie de communication, les programmes de formation et d'enseignements associés, ainsi que la diffusion de la connaissance.

Relations éventuelles avec la « société civile » : la nature des liens devra être clairement explicitée, et les objectifs du partenariat bien identifiés. Les données sont-elles utilisées dans d'autres contextes que la recherche (bureau d'études, contrats de partenariat ou prestations basées sur les données du SNO...)
?

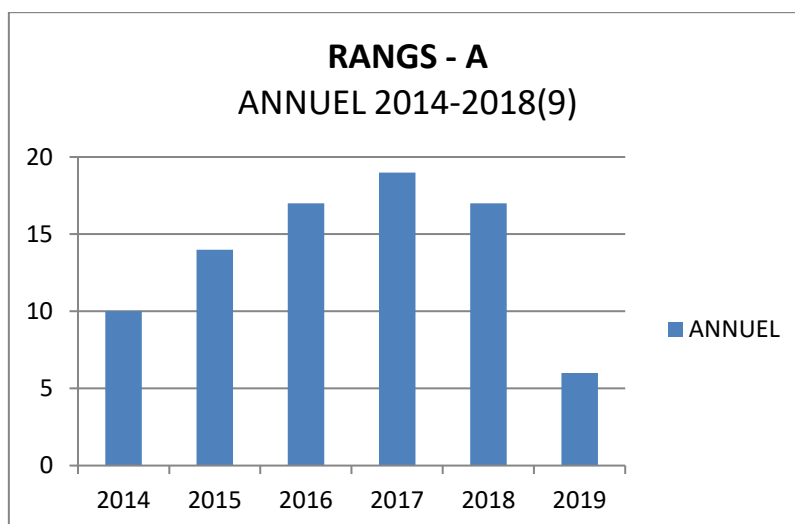
- Contrat de partenariat UBP-CNRS-INGV pour la construction du radar VOLDORAD-2B
- Contrat de recherche associé INGV-CNRS-UBP pour l'exploitation des données du radar VOLDORAD-2B par l'INGV-OE pour la surveillance temps-réel de l'Etna
- Contrat de recherche en collaboration UCA-UVSQ-CNRS pour le développement du radar VOLDORAD-3
- Actions de diffusion/communication auprès des acteurs locaux (Parc Vulcania, fête de la science, stagiaires 2nd degré, etc.)
- Missions de formation auprès des enseignants du 2nd degré (dispositif MPSA : Maison Pour la Science en Auvergne)
- Formation auprès des assurances AXA (gestion de crise volcanique) et formation des personnels prévisionnistes de Météo-France sur les panaches de cendres (via le VAAC de Toulouse).
- Les méthodologies, les données d'observation, et les logicielles des différents systèmes d'observation sont utilisés dans divers cours de la licence au master de École de l'OPGC.

Difficultés rencontrées

Difficultés internes et externes auxquelles a fait face le SNO pour son fonctionnement.

Manque de crédits récurrents (dotation OPGC en baisse ces dernières années de 12 à 6 K€ répartis en 3-4 SO) et ce, en dépit de la mise en place des prélèvements sur projet (ex. EuroVolc).

Production scientifique (rang A) des acteurs et utilisateurs du **SNOV-OPGC (2014-2018)**



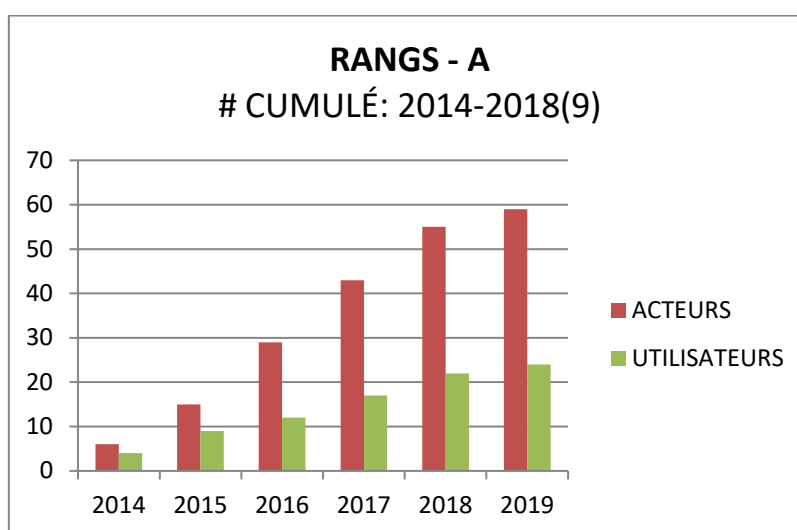
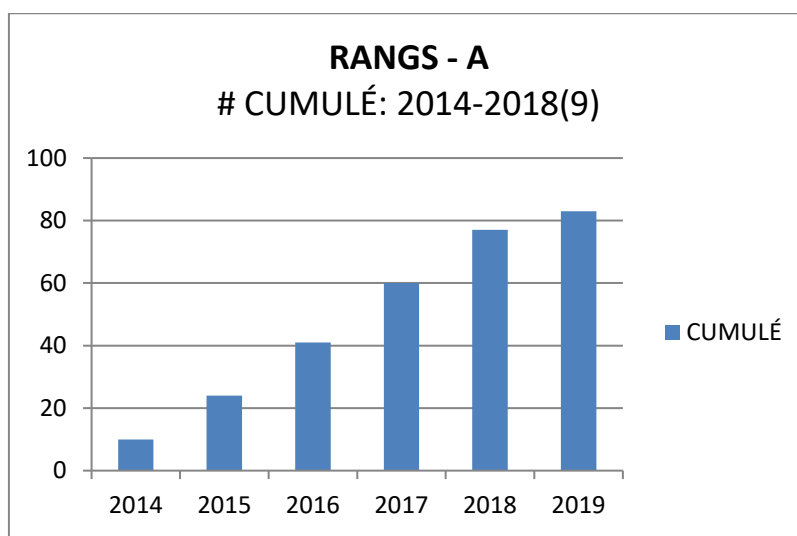


Figure : (top panel) Publications annuelles de rang A des acteurs et utilisateurs du SNOV-OPGC. (mid panel) Nombre cumulé de publications de rang A des acteurs et utilisateurs du SNOV-OPGC. (bottom panel) Nombre cumulé de publications de rang A des acteurs (~30% en rouge) et utilisateurs (~70% en vert) du SNOV-OPGC. Les données pour 2019 ne représentent que le 1^{er} trimestre.

Nom du service : [HOTVOLC \(SNOV TS ANO-1\)](#)
Adresse URL du site web du service : <http://hotvolc.opgc.fr/>

Résumé du service:

HOTVOLC est un système pérenne d’observation et d’alerte en temps-réel de l’activité éruptive (coulées de lave, panaches de cendres et de gaz) par télédétection spatiale infrarouge. Nous traitons les signaux thermiques sur une ~50 cibles volcaniques à une fréquence de 15 minutes et fournissons des produits de données (EO) sous forme de cartes (geotiff) et de séries temporelles (ST) de différents niveau (L1, L2, L3). L’ensemble des données est accessible en accès libre sur le portail webGIS de HOTVOLC à l’OPGC.

Les cibles statutaires sont (i) les cibles volcaniques Françaises (Piton de la Fournaise, Soufrière de Guadeloupe et Montagne Pelée) + des cibles prioritaires qui sont associées aux volcans dont les produits (ex. cendres et gaz) peuvent impacter les territoires/espace aérien français et européen comme les volcans Islandais (ex. Eyjafjallajökull, Bardarbunga), Italiens (Etna) ou des Antilles anghophones (Soufrière Hills).

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

Gouhier Mathieu
Physicien Adjoint
M.Gouhier@opgc.fr

Laboratoire : LMV – UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC – UMS 833



Figure. Interface WebGIS HOTVOLC avec une version statique pour PC (<http://hotvolc.opgc.fr/>) et une version mobile (<http://hotvolc.opgc.fr/m>).

Motivations, contexte et objectifs scientifiques

L'activité volcanique constitue un danger bien réel pour l'homme et les infrastructures associées. Mais les éruptions restent difficiles, voire impossible, à prévoir suffisamment à l'avance. Par conséquent la surveillance temps-réel de l'activité superficielle et de surface est un enjeu majeur. Les processus éruptifs sont très dynamiques, et le temps de réaction doit être le plus court possible (acquisition/traitement/diffusion). A cet effet, et en complément des mesures au sol, les données de satellites géostationnaires s'avèrent particulièrement adaptées à cet objectif : c'est la raison d'être du service HOTVOLC. Dans le contexte actuelle, et pour ne donner que deux exemples, de (i) la réactivation sismo-géochimique de la Soufrière de Guadeloupe, et (ii) de l'intensification du trafic aérien, le suivi continu et temps-réel des signaux éruptifs est absolument prioritaire.

Au niveau scientifique, les mesures réalisées par le service HOTVOLC ont un grand nombre d'implications fondamentales centrées sur l'étude de la dynamique des émissions volcaniques (cendres, gaz et coulées de lave). Notamment, des études scientifiques récentes utilisant ces données mettent en lumière des **mécanismes de transport** inédits des cendres volcaniques dans l'atmosphère (Poret et al., 2018 ; Gouhier et al., 2019). D'autres travaux pluridisciplinaires portant sur le dégazage volcanique (Gauthier et al., 2016) ont permis la mise en évidence des **processus superficiels** de dégazage et de transfert des magmas.

Mission d'observation : tableau

| Dénomination | Grandeurs mesurées | Niveau | Fréquence | Période | Continu / Crise | Capteur | Liens ANO/OSU | Pôles de données | Liens IR/TGIR |
|----------------------|--|--------|-----------|--------------|-----------------|----------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| Volcanic plume - ash | Temperature (K) | L1 | 15 mins | 2010-ongoing | continu | Spatial - MSG/SEVIRI | OA ANO-1 + SNOV-OVS | ICARE-Aeris / Form@ter | EPOS WP11-DDSS-047 |
| | Radiance spectrale (W/m ² srμm) | L1 | | | | | | | |
| | Altitude (m) ; Area (m ²) | L2 | | | | | | | |
| | Concentration (g/m ²) | L3 | | | | | | | |
| Volcanic plume - SO2 | Temperature (K) | L1 | 15 mins | 2010-ongoing | continu | Spatial - MSG/SEVIRI | SNOV-OVS | ICARE-Aeris / Form@ter | EPOS WP11-DDSS-047 |
| | Radiance spectrale (W/m ² srμm) | L1 | | | | | | | |
| | Area (m ²) | L2 | | | | | | | |
| Lava flows | Temperature (K) | L1 | 15 mins | 2010-ongoing | continu | Spatial - MSG/SEVIRI | SNOV-OVS | Form@ter | EPOS WP11-DDSS-049 |
| | Radiance spectrale (W/m ² srμm) | L1 | | | | | | | |
| | débits volumique (m ³ /s) | L3 | | | | | | | |

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

Au cours de l'année 2017, HOTVOLC a été intégré avec succès au WP11 de **EPOS**. Il a obtenu un MS (Maturity Scorecard) de 100% suite aux IT survey du projet européen EPOS (European Plate Observing System) mettant en avant la qualité des données (validité et disponibilité) et la description des Métadonnées. Cela le classe dans les 3 premiers DDSS (Data, Data products, Software and Services) parmi les 71 proposés sur le WP11 au niveau européen.

- **Maturity Scorecard (MS) HOTVOLC-DDSS (EPOS) = 100%**
- **Classement HOTVOLC-DDSS (EPOS) = 3/71**

Depuis 2018, Le service HOTVOLC relève de l'exercice de fonction officielle du SMN (**Météo-France**). Ce label nous permet notamment un accès gratuit, temps-réel, et sans limite aux données du satellite géostationnaire Meteosat via des accord de collaboration avec Eumetsat.

Développements prévus du SNO

De nombreux développements sont prévus pour le système HOTVOLC, tant sur le point méthodologique que stratégique et scientifique. On peut souligner les évolution à venir suivantes :

- Intégration possible au VAAC de Toulouse
- Ajout de nouveaux produit : cendres / lave / SO₂ (type L2, L3)
- Incorporation de nouveaux satellites (GOES E-W et Himawari-8)
- Intégration d'un module de cartographie temps-réel des coulées de lave (O. Chevrel)

- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial

Si oui, préciser la (les) mission(s) : Oui

Le service HOTVOLC fonctionne presque exclusivement avec des données spatiales : Notamment les données du satellite MSG-SEVIRI. Nous avons aussi une forte activité autour de l'utilisation des plateformes « Sentinel » (2 et 5) pour nos activités CAL/VAL notamment, et des activités de participation au développement Phase0/A de nouveaux capteurs (Ex. Trishna CNES-ISRO).

- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) :

Si oui, préciser la (les) mission(s) : Non

Le service proposé relève-t-il

- **d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?**
Nous collaborons beaucoup avec la communauté Océan-Atmosphère notamment concernant l'activité panache de cendres et SO₂ (OA ANO – 1).
- **d'autres instituts du CNRS (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?**
Non
- **instituts extérieurs au CNRS**
Oui, au niveau national, nous travaillons beaucoup avec les CNES pour nos activités CAL/VAL et avec Météo-France pour la partie gestion crise et suivi opérationnel des panaches de cendres volcaniques (VAAC Toulouse). Nous avons aussi de nombreuses collaborations internationales : CVGHM (Indonésie), INGV (Italie), METOFFICE (UK), etc.

- Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) :

Si oui, préciser le/les quel(s) : Oui, Form@ter et ICARE-Aeris.

Protocoles de mesure

Les méthodes de traitement des données du services HOTVOLC sont très largement exposées dans les publications suivantes :

- Gouhier, M., Guéhenneux, Y., Labazuy, P., Cacault, P., Decriem, J., & Rivet, S. (2016). HOTVOLC: a web-based monitoring system for volcanic hot spots. *Geological Society, London, Special Publications*, 426(1), 223-241.

- Guéhenneux, Y., Gouhier, M., & Labazuy, P. (2015). Improved space borne detection of volcanic ash for real-time monitoring using 3-Band method. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 293, 25-45.

Description des procédures de contrôle qualité. Lien avec les procédures de qualité utilisées dans les réseaux internationaux ou les IR/TGIR de référence.

Archivage des données et leur mise à disposition

L'archivage des données brutes + les produits traités (Geotiff/ST/BDD) représentent environ 10To/an. Ces données sont archivées dans une architecture SAN (Storage Area Network) à l'OPGC en mirroring complet : cela permet une sécurisation optimale des données.

L'intégralité des données (numériques : geotiff + ST) est disponible en accès libre sur le portail webGIS de HOTVOLC à l'OPGC : <http://hotvolc.opgc.fr/>

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du service et de **ses ressources instrumentales et humaines**. Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission du SNO (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique).

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|--------------------|--------------------------------|--|--------------|
| GOUHIER Mathieu | UCA/LMV-OPGC/Phy-Adj | Responsable scientifique HOTVOLC | 4 |
| GUÉHENNEUX Yannick | UCA/OPGC/IE | Responsable technique HOTVOLC | 2.4 |
| CACAULT Philippe | CNRS/OPGC/IE | Administration système HOTVOLC | 1.2 |
| KOWALSKI Philippe | IPGP/OVPF/IR | Gestion HOTVOLC/ site OVPF | 0.5 |
| BOISSIER Patrice | IPGP/OVPF/IE | Gestion HOTVOLC/ site OVPF | 0.5 |
| BERGES J-C | PRODIG/Paris-1 | Maintenance/Update – soft acquisition (Satnap) | 0.5 |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

- Formation « Gestion de crise » auprès des **assurances AXA**
- Formation « Panaches Volcaniques » auprès des prévisionnistes de **Météo-France**
- Formation « Risques » à l'Institut Français des Formateurs Risques Majeurs (IFFO-RME)
- **Suivi du panache** de cendres du **Volcan Kelut** (Février 2014) et envoi d'informations (mesures satellitaires, informations diverses) à nos partenaires indonésiens du CVGHM.
- **Suivi des panaches** de cendres des **volcans islandais** en 2010 et 2011 (cf. communiqué INSU du 23/05/2011). Astreintes LMV-OPGC, mise en ligne quotidienne (prévisions de trajectoires, mesures satellitaires, informations diverses), **+18** communiqués avec la **cellule de crise ministérielle CMVOA**.
- **Suivi régulier de l'activité effusive** thermique du **Piton de la Fournaise** depuis 2014 et interaction avec l'OVPF pour la gestion de crise (**Bulletin ISSN 2610-5101**)

Budget

Les ressources financières de toutes origines doivent être prises en compte dans le tableau suivant, en distinguant les ressources récurrentes sur les 4 dernières années et occasionnelles. Indiquer également le budget prévisionnel pour la période 2021-2025.

Justification des besoins prévus 2021-2025 en fonctionnement ou jouvence ou équipement pour maintenir développer l'instrument.

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles à prévoir | | |
|------------------------|--------------|---------------|-------------------------------------|--------------|---------------|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | type |
| CNRS-INSU | ~ 15 | Dotation SNOV | EPOS | 10-30 | Archivage |
| | | | EUROVOLC | 5-15 | Networking |
| | | | AAP CNES | 5-10 | R&D – CAL/VAL |
| TOTAL | 15 | | TOTAL | 20-55 | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

Production scientifique des acteurs (publications de rang A) – 2014-2018

1. Gouhier, M., Eychenne, J., Azzaoui, N., Guillin, A., Deslandes, M., Poret, M., ... & Husson, P. (2019). Low efficiency of large volcanic eruptions in transporting very fine ash into the atmosphere. *Scientific reports*, 9(1), 1449.
2. Smekens, J. F., & Gouhier, M. (2018), Observation of SO2 degassing at Stromboli volcano using a hyperspectral thermal infrared imager. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.018.
3. Poret, M., Costa, A., Andronico, D., Scollo, S., Gouhier, M., & Cristaldi, A. (2018). Modeling Eruption Source Parameters by Integrating Field, Ground-Based, and Satellite-Based Measurements: The Case of the 23 February 2013 Etna Paroxysm. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(7), 5427-5450.
4. Gouhier, M., Y. *Guéhenneux, P. Labazuy, P. Cacault, J. *Decriem, and S. Rivet (2016), HOTVOLC: A web-based monitoring system for volcanic hot spots, in Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions, *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, vol. 426, edited by A. J. L. Harris et al., doi: 10.1144/SP426.31.
5. Gauthier, P.-J., Sigmarsson, O., Gouhier, M., Haddadi, B., and Moune, S. (2016), Elevated gas flux and trace metal degassing from the 2014–2015 fissure eruption at the Bárðarbunga volcanic system, Iceland, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2015JB012111.
6. Guéhenneux, Y., Gouhier, M., & Labazuy, P. (2015), Improved space borne detection of volcanic ash for real-time monitoring using 3-Band method. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 293, 25-45, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.01.005

Production scientifique des utilisateurs (publications de rang A) – 2014-2018

[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

1. Sahyoun, M., Freney, E., Brito, J., Duplissy, J., Gouhier, M., Colomb, A., & Petäjä, T. (2019). Evidence of new particle formation within Etna and Stromboli volcanic plumes and its parameterization from airborne in-situ measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.

Nom du service : OI2 (Observatoire InSAR de l'Océan Indien) - (SNOV TS ANO-1)
Adresse URL du site web du service : https://www.obs.univbpclermont.fr/casoar/index_liste.php

Résumé du service:

Le Service d'Observation OI² est une composante, labellisée depuis 2010, du Service National d'Observations en Volcanologie. OI² a pour mission la surveillance régulière des déplacements du sol induits par l'activité du volcan Piton de la Fournaise, à la Réunion, en utilisant des données InSAR. La première tâche du service est de s'assurer que des images SAR soient acquises régulièrement sur le Piton de la Fournaise, entre autres en passant par les AO des différentes agences spatiales (ESA, ASI, DLR, JAXA). Les images sont ensuite récupérées aussi rapidement que possible, archivées et traitées de façon à produire les interférogrammes, les cartes de cohérence interférométrique et éventuellement les cartes de coulées de lave distribués en routine par le service. Les données produites sont en accès libre pour l'ensemble des utilisateurs référencés sur le portail web de OI2 à l'OPGC.

Les cibles statutaires sont les cibles volcaniques Françaises (Piton de la Fournaise, Soufrière de Guadeloupe et Montagne Pelée). Les données concernant le Piton de la Fournaise sont les seules à être actuellement distribuées. Les données sur la Soufrière de Guadeloupe, produites par R. Grandin, IPGP, devraient aussi être intégrées prochainement dans la base de données et distribuées.

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

Jean-Luc Froger
 Maître de Conférence
J.L.Froger@opgc.fr

laboratoire : LMV – UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC – UMS 833

Motivations, contexte et objectifs scientifiques

Les éruptions volcaniques sont souvent précédées, accompagnées ou suivies de déplacements du sol. L'analyse de ces déplacements peut fournir des informations utiles non seulement à la surveillance opérationnelle (par exemple pour prédire, quelques dizaines de minutes à l'avance, l'heure et le lieu d'une future éruption) mais aussi à la recherche fondamentale en permettant de mieux comprendre le fonctionnement des volcans et leur évolution à long terme (géométrie et dynamique des réservoirs magmatiques et des systèmes d'alimentation, mouvements de flanc, etc.). Pour mesurer les déplacements du sol, l'interférométrie radar est très complémentaire des méthodes géodésiques *in situ* classiques (GNSS, distancemétrie, inclinométrie) qui ont généralement une moins bonne résolution spatiale mais une meilleure résolution temporelle. L'objectif du service OI2 est donc d'offrir, de manière régulière et pérenne, à la communauté scientifique (constituée non seulement des volcanologues en charge du suivi opérationnel de l'activité du Piton de la Fournaise, mais aussi de tous ceux qui cherchent à répondre à des questions fondamentales sur le fonctionnement des volcans basaltiques) des mesures fiables des déplacements du sol sur le Piton de la Fournaise. C'est dans cet objectif que les données sont distribuées avec le plus bas niveau de post-traitement possible (e.g. uniquement géo-référencées, mais non filtrées, non corrigées, non déroulées).

Mission d'observation : tableau

| Dénomination | Grandeurs mesurées | Niveau | Fréquence | Période | Continu / Crise | Capteur | Liens ANO / OSU | Pôles de données | Liens IR / TGIR |
|-------------------------------|--------------------|--------|------------|----------------|-----------------|---|---------------------|-------------------|----------------------|
| Interférogrammes | Phase (rad) | ? | ~ 12 jours | 2003 => actuel | Continu / Crise | Spatial – ASAR, Radarsat, Sentinel-1, CSK, TSX/TDX, PALSAR-1/-2 | OA ANO-1 + SNOV OVS | Form@ter et Theia | EPOS WP11 – DDSS-050 |
| Cohérences interférométriques | Cohérence (%) | ? | ~ 12 jours | 2018 => actuel | Continu / Crise | Sentinel-1, CSK, TSX/TDX, PALSAR-2 | OA ANO-1 + SNOV OVS | Form@ter et Theia | EPOS WP11 – DDSS-050 |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|---|--|----------------|-------|------------------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| Cartes de coulées | Contours coulées (UTM) | ? | | 2018 => actuel | Crise | Sentinel-1, CSK, TSX/TDX, PALSAR-2 | OA ANO-1 + SNOV OVS | Form@ter et Theia | EPOS WP11 – DDSS-051 |
|-------------------|------------------------|---|--|----------------|-------|------------------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

Au cours de l'année 2018, OI2 a été intégré avec succès au WP11 de EPOS.

Développements prévus du SNO

De nombreux développements sont prévus pour le service OI2, tant sur le point méthodologique que stratégique et scientifique. On peut souligner les évolutions à venir suivantes :

- Intégration de nouvelles cibles (en priorité Soufrière de Guadeloupe)
- Distribution de nouveaux produits : ZTD GNSS, Time Series / PS, cartes des déplacements EW, NS, UD,

- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial

Si oui, préciser la (les) mission(s) : De mon point de vue, non.

Le service OI2 exploite des données spatiales mais ses activités ne sont pas stratégiques POUR le spatial sauf à considérer que l'exploitation scientifique des données spatiales est stratégique pour le spatial...

- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) :

Si oui, préciser la (les) mission(s) : Non

Le service proposé relève-t-il

- **d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?**
Eventuellement AA en ce qui concerne l'aspect Atmospheric Phase Screen.

- Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) :

Si oui, préciser le/les quel(s) : Oui, Form@ter et Theia.

Protocoles de mesure

Les interférogrammes et cohérences sont produits en utilisant la méthode développée par Didier Massonnet et décrite dans :

- Massonnet, D., Feigl, K. L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics* 36, 441–500.

La méthode de cartographie des coulées de lave est décrite dans :

- Bato, M.G., Froger, J.L., Harris, A.J.L., Villeneuve, N., 2016. Monitoring an effusive eruption at Piton de la Fournaise using radar and thermal infrared remote sensing data: insights into the October 2010 eruption and its lava flows. In: A.J.L. Harris, T. De Groot, F. Garel, S.A. Carn (ed) *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*. The Geological Society of London. Chapter: 30.
- Massonnet, D., Feigl, K. L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics* 36, 441–500.

Le fonctionnement du service et quelques résultats sont présentés dans :

- Froger, J.-L., V. Cayol, M. Tridon, M. G. Bato, J.-M. Prival, N. Villeneuve, A. Peltier, A. Augier, S. Rivet, Y. Guehenneux. Observatoire InSAR de l'Océan Indien (OI2) – Le Piton de la Fournaise, un volcan sous haute surveillance. In *Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, Revue d'Auvergne*.

Description des procédures de contrôle qualité. Lien avec les procédures de qualité utilisées dans les réseaux internationaux ou les IR/TGIR de référence.

Archivage des données et leur mise à disposition

L'archivage des données brutes + les produits traités représentent environ **400 Go/an**. Ces données sont archivées dans une architecture SAN (Storage Area Network) à l'OPGC en mirroring complet : cela permet une sécurisation optimale des données.

L'intégralité des données est disponible en accès libre sur le portail web de OI2 à l'OPGC : https://www.obs.univ-bpclermont.fr/casoar/index_liste.php

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------|
| FROGER Jean-Luc | UCA/LMV-OPGC/MdC | Responsable scientifique OI2 | 4 |
| GUÉHENNEUX Yannick | UCA/OPGC/IE | Responsable technique OI2 | 2 |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

D'autres aspects pourront être évoqués tels que la stratégie de communication, les programmes de formation et d'enseignements associés, ainsi que la diffusion de la connaissance.

Relations éventuelles avec la « société civile » : la nature des liens devra être clairement explicitée et les objectifs du partenariat bien identifiés. Les données sont-elles utilisées dans d'autres contextes que la recherche (bureau d'études, contrats de partenariat ou prestations basées sur les données de l'IN...) ?

Budget

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles | | |
|------------------------|--------------|---------------|---------------------------|--------------|---------------|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | type |
| CNRS-INSU | ~ 15 | Dotation SNOV | AAP CNES | 20 | R&D – CAL/VAL |
| | | | PNTS | 18 | R&D – CAL/VAL |
| TOTAL | 15 | | TOTAL | 38 | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

Production scientifique des acteurs (publications de rang A, conférences, thèses)

Articles de rang A

- Cayol, V., T. Catry, L. Michon, M. Chaput, V. Famin, O. Bodart, J.-L. Froger, and C. Romagnoli (2014), Sheared sheet intrusions as mechanism for lateral flank displacement on basaltic volcanoes: Applications to Réunion Island volcanoes, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2014JB011139.
- Froger, J.-L., V. Famin, V. Cayol, A. Augier, L. Michon and J.-F. Lenat. Time-dependent displacements during and after the April 2007 eruption of Piton de la Fournaise, revealed by interferometric data". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 296 (2015) 55–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.02.014>
- Froger, J.-L., Cayol, V., and Famin, V., 2015. The March-April 2007 eruptions of Piton de la Fournaise as recorded by interferometric data. In: Bachèlery, P., Lénat, J.-F., Di Muro, A., Michon, L. (Editor), *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean: Piton de la Fournaise and Karthala*. Active Volcanoes of the World. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-642-31395-0_16
- Bato, M.G., J.-L. Froger, AJL Harris, N Villeneuve, 2016, "Monitoring Effusive Eruptions at Piton de la Fournaise through synergy of Space-based Radar and Thermal Data: Insights into the October 2010 Eruption and its Lava Flows", In: Harris, A. J. L., De Groot, T., Garel, F.&Carn, S. A. (eds), *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society of London: Special Publications. 426, <http://doi.org/10.1144/SP426.30>
- Tridon, M., V. Cayol, J.-L. Froger, A. Augier, and P. Bachèlery (2016), Inversion of coeval shear and normal stress of Piton de la Fournaise flank displacement, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2016JB013330.

6. J. L. Harris, N. Villeneuve, A. Di Muro, V. Ferrazzini, A. Peltier, D. Coppola, M. Favalli, P. Bachèlery, J.-L. Froger, L. Gurioli, S. Moune, I. Vlastélic, B. Galle, and S. Arellano, Effusive crises at Piton de la Fournaise 2014–2015: a review of a multi-national response model. *Journal of Applied Volcanology*, Publié (2017) 6:11, DOI 10.1186/s13617-017-0062-9
7. Harris, A. J. L., O.M. Chevrel, D. Coppola, M.S. Ramsey, A. Hrysiwicz, S. Thivet, N. Villeneuve, M. Favalli, A. Peltier, P. Kowalski, A Di Muro, J-L Froger, L. Gurioli (2018) Validation of an integrated satellite-data-driven response to an effusive crisis: 2 the April – May 2018 eruption of Piton de la Fournaise, Special Issue: MeMoVolc, *Annals of Geophysics*, DOI: 10.4401/ag-7972

Conférences / Séminaires, etc...

1. Bato, M.G., J.-L. Froger, A.J.L. Harris, N. Villeneuve, "Insights on the 2010 Lava Flows of Piton de la Fournaise Using Cosmo-SkyMed and TanDEM-X Data: Lava Displacement Rates, Thicknesses, and Volume Estimates", AGU Fall Meeting 2014, San Francisco, California, USA, December 15-19, 2014. (for oral presentation)
2. Tridon, M., V. Cayol, J.-L. Froger, A. Augier, Magma propagation and atypical eruptions at Piton de la Fournaise volcano (Réunion Island) : the april 2007 eruption", Nemoh school "Inverse methods in geophysics and volcanology", Dublin, August 31 to September 5, 2014
3. Cayol V., Catry T., Michon L., Chaput M., Famin V., Bodart O., Froger J., Romagnoli C. (2014). Sheared sheet intrusions as mechanism for lateral flank displacement on basaltic volcanoes: Application to Réunion Island volcanoes. American Geophysical Union, San Francisco, U.S.A., décembre 2014.
4. Bato, M.G., J.-L. Froger, M. Tridon, V. Cayol, A.J.L. Harris, N. Villeneuve, "InSAR Mapping of displacements and lava flows related to recent eruptions (2010-2014) at Piton de la Fournaise", Fringe 2015, Frascati, Italy, March 23-27, 2015
5. Tridon, M., V. Cayol, J.-L. Froger, "Modelling the Eastern Flank Displacement of Piton de la Fournaise volcano (Réunion Island) observed by InSAR after the April 2007 eruption", Fringe 2015, Frascati, Italy, March 23-27, 2015
6. Cayol, V., C. Cattelain, C. Gouinaud, J.-L. Froger. Interface for the joint inversion of sources geometries, locations and stress changes. Fringe 2015, Frascati, Italy, March 23-27, 2015.
7. Tridon M., Cayol V., Froger J., Augier A. (2015). Modelling the Eastern Flank displacement of Piton de la Fournaise volcano (Réunion Island) observed by InSAR after the April 2007 eruption. Atelier ForM@Ter MDIS (Mesure de Déformations par Imagerie Spatiale), Autrans, Oct. 2015.
8. Tridon M., Cayol V., Froger J., Bachèlery P. (2015). Modélisation du glissement du flanc Est du Piton de la Fournaise observé par InSAR après l'éruption d'avril 2007. Journée thématique sur l'île de la Réunion du Service National des Observatoires Volcanologiques, Paris, Avril 2015.
9. Froger J.-L., Cayol V., Grandin R., Villeneuve N., Peltier A., Rivet S., Ordoqui P., Mora O. (2015). Last eruptions of Piton de la Fournaise imaged with new generation radar data. Atelier ForM@Ter MDIS (Mesure de Déformations par Imagerie Spatiale), Autrans, Oct. 2015.
10. Augier A., Cayol V., Froger J., Menassian S. (2016). Improved Cluster Method Applied to the InSAR data of the 2007 Piton de la Fournaise eruption. American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., Dec 2016.
11. Froger J., Cayol V., Tridon M., Bato M., Prival J.M., Villeneuve N., Peltier A., Augier A., Sivet S., Guehenneux Y. (2016). Observatoire InSAR de l'Océan Indien (OI2) - Le Piton de la Fournaise, un volcans sous haute surveillance. *Revue d'Auvergne* vol.260-261, p.277-298.
12. Cayol V., Tridon M., Froger J., Augier A., Bachèlery P. (2016). Inversion of Coeval Shear and Normal Stress of Piton de la Fournaise Flank Displacement. American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., Dec 2016.
13. Froger, J.-L., Cayol, V., Tridon, M., Bato, M. G., Remy, D., Chen, Y., Smittarello, D., Pinel, V., Prival, J.-M., Villeneuve, N., Peltier, A., Augier, A., Rivet, S., Guehenneux, Y., Indian Ocean InSAR Observatory (OI2) – Routine Interferometric Monitoring of a Volcanic Island, the Piton de la Fournaise, Fringe 2017, ESA, 5-9 June 2017, Aalto University, Helsinki, Finland
14. Froger, J.-L., Cayol, V., Tridon, M., Bato, M. G., Remy, D., Chen, Y., Smittarello, D., Pinel, V., Prival, J.-M., Villeneuve, N., Peltier, A., Augier, A., Rivet, S., Guehenneux, Y., Indian Ocean InSAR Observatory (OI2) – Routine Interferometric Monitoring of a Volcanic Island, the Piton de la Fournaise, *MDIS-Form@Ter Colloque, Besse en Chandesse, 18-20 Octobre 2017*
15. Hrysiwicz, A., Froger, J.-L., Menand, T., Cayol, V., InSAR characterization of displacements related to lava flows at Piton de la Fournaise, *MDIS-Form@Ter Colloque, Besse en Chandesse, 18-20 Octobre 2017*
16. Cayol, V., Augier, A., Court, S., Froger, J.L., Menassian, S., Improved Cluster of Volume Strain Method Applied to Volcano Deformation, IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland, Oregon, USA, 14-18 August 2017
17. Cayol, V., Tridon, M., Froger, J.L., Augier, A., Inversion of Coeval Shear and Normal Stress of Piton de la Fournaise Flank Displacement, IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland, Oregon, USA, 14-18 August 2017
18. Hrysiwicz A., Froger J., Menand T., Cayol V. (2017). Caractérisation des déplacements liés aux coulées de lave au Piton de la Fournaise à partir de données InSAR. Journée thématique du PNTS, Paris, Mars 2017.

19. Hrysiewicz A., Menand T., Froger J., Cayol V., Remy D. (2017). Origin of measured surface displacements at the volcanic complex of Lastarria-Cordon Del Azufre between 1996 and 2010: Insights from numerical simulations. MDIS-Form@ter Workshop, Besse en Chandesse, Octobre 2017.
20. Tridon M., Cayol V., Froger J., Richards-Dinger K., Dieterich J. (2017). Piton de la Fournaise Flank Displacement during the March-April 2007 eruption. MDIS-Form@ter Workshop, Besse en Chandesse, Octobre 2017.
21. Harris A., Di Muro A., Villeneuve N., Ferrazzini V., Peltier A., Coppola D., Favali M., Bachèlery P., Froger J., Gurioli L., Moune S., Vlastélic I., Galle B., Arellano S. (2017). Effusive Crises at Piton de la Fournaise 2014-2015: A Multi-National Response Model. EGU, Vienna.
22. Dumont Q., Cayol V., Froger J. (2018). Link between flank slip and eruptions at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion). 19th General assembly of Wegener, Grenoble, France, Sept., 2018.
23. Hrysiewicz A., Froger J., Villeneuve N., Menand T., Aaron C., Peltier A. (2018). InSAR characterization of lava flows at Piton de la Fournaise. Cities on volcanoes 10, Napoli, Sept. 2018.
24. Hrysiewicz A., Froger J., Villeneuve N., Menand T., Aaron C., Peltier A. (2018). InSAR characterization of lava flows at Piton de la Fournaise. 19th General Assembly of WEGENER, Grenoble, Sept. 2018.
25. Cayol V., Tridon M., Froger J., Richards- Dinger K., Dieterich J. (2018). Piton de la Fournaise Flank Displacement following the March 2007 eruption. Cities of Volcanoes, Naples, Italie, Sept. 2018.
26. Cayol V., Tridon M., Froger J., Richards-Dinger K., Dieterich J., Augier A. (2018). Piton de la Fournaise Flank Displacement following the March 2007 eruption. 19th General assembly of Wegener, Grenoble, France, Sept., 2018.
27. Hrysiewicz A., Froger J., Menand T., Villeneuve N., Peltier A. (2018). InSAR Characterization of Ground Surface Displacements Related to Lava Flows at Piton de la Fournaise (La Réunion Island, Indian Ocean). AGU Fall Meeting 2018, Washington, Dec. 2018.
28. Froger J.-L. (2018). Indian Ocean InSAR Observatory (OI2) – Routine Interferometric Monitoring of a Volcanic Island, the Piton de Fournaise. Joint PI Meeting of Global Environment Observation Mission FY2017. JAXA. Tokyo (Japan). 22-26 January 2018.

Production scientifique des utilisateurs (publications de rang A, conférences, thèses)

Articles de rang A

1. Chaput, M., V. Pinel, V. Famin, L. Michon, and J.-L. Froger (2014), Cointrusive shear displacement by sill intrusion in a detachment: A numerical approach, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2013GL058813.
2. T Catry, N Villeneuve, J.-L. Froger and G Maggio, 2016, "InSAR monitoring using RADARSAT-2 data at Piton de la Fournaise (La Reunion) and Karthala (Grande Comore) volcanoes", In: Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F.&Carn, S. A. (eds), *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society of London: Special Publications 426, <http://doi:10.1144/SP426.20>
3. Chen Y., D. Remy, J.-L. Froger, A. Peltier, N. Villeneuve, J. Darrozes, H. Perfettini, S. Bonvalot (2017), Long-term ground displacement observations using InSAR and GNSS at Piton de la Fournaise volcano between 2009 and 2014. *Remote Sensing of Environment* 194 (2017) 230–247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.038>
4. Peltier A., J.-L. Froger, N. Villeneuve, T. Catry (2017) Assessing the reliability and consistency of InSAR and GNSS data for retrieving 3D displacement rapid changes, the example of the 2015 Piton de la Fournaise eruptions. *JVGR*. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.03.027>
5. Chen, Y.; Zhang, K.; Froger, J.-L.; Tan, K.; Remy, D.; Darrozes, J.; Peltier, A.; , X., Feng; , H., Li; Villeneuve, N. Long-Term Subsidence in Lava Fields at Piton de la Fournaise Volcano Measured by InSAR: New Insights for Interpretation of the Eastern Flank Motion. *Remote Sens.* 2018, 10, 597. <https://doi.org/10.3390/rs10040597>
6. Smittarello D., Cayol V., Pinel V., Peltier A., Froger J.-L. and Ferrazzini V. (2019), Magma Propagation at Piton de la Fournaise from joint inversion of InSAR and GNSS. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, DOI:10.1029/2018JB016856

Conférences / Séminaires, etc...

1. Villeneuve, N., Ferrazzini V., Di Muro A., Peltier A., Beauducelle F., Roult G., Lecocq Th., Brenguier F., Vlastelic I., Gurioli L., Guyard S., Catry T., Froger J.L., Coppola D., Harris A., Boissier P., Brunet C., Catherine Ph., Fontaine F., Henriette L., Lauret F, Rivière A. and Kowalski Ph The June 2014's eruption at Piton de la Fournaise. Monitoring based on robust methods associated with challenging processes. AGU Fall Meeting 2014, San Francisco, California, USA, December 15-19, 2014.
2. Simonetto, E., L. Morel, Y. El Hamri, S. Durand, F. Durand, J.-L. Froger, L. Polidori, J. Nicolas-Duroy. Influence of GNSS Configuration and Map Interpolation Method on INSAR Atmospheric Phase Assessment. *Fringe 2015*, Frascati, Italy, March 23-27, 2015.
3. Chen, Y., D. Remy, J.-L. Froger, J. Darrozes and Sylvain Bonvalot. SER Interferometry Time Series analysis of surface deformation for Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island. *IGARSS 2015*, Milan 07/2015.
4. Simonetto, E., Durand, F., Dubreuil, V., Morel, L., Nicolas-Duroy, J., Merrien-Soukatchoff, V., Froger, J.-L., *INSAR tropospheric correction combining GNSS data and a global atmospheric model*, *Fringe 2017*, ESA, 5-9 June 2017, Aalto University, Helsinki, Finland

5. Chen, Y., Remy, D., Froger, J.-L., Peltier, A., Villeneuve, N., Darroze, J., Perfettini, H., Bonvalot, S., Long term ground displacement (2007-2014) observed by InSAR and GNSS at Piton de la Fournaise, Fringe 2017, ESA, 5-9 June 2017, Aalto University, Helsinki, Finland
6. Smittarello, D., Cayol, V., Pinel, V., Peltier, A., Froger, J.-L., Basaltic intrusions propagation modeling based on InSAR and GNSS data, application to the May 2016 eruption of Piton de la Fournaise Volcano (La Réunion Island), *MDIS-Form@Ter Colloque, Besse en Chandesse*, 18-20 Octobre 2017
7. Peltier, A., Froger, J.-L., Villeneuve, N., Catry, T., Derrien, A., Samsonov, S., Feng, W., Geirsson, H., d'Oreye, N., Using ground, airborne and spaceborne methods to retrieve magma paths at Piton de la Fournaise (La Reunion Island), IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland, Oregon, USA, 14-18 August 2017
8. Peltier A., Fontaine F.J., Finizola A., Richter N., Villeneuve N., Di Muro A., Froger J., Got J.L., Antoine R., Delcher E., Chaput M., Gailler L., Cluzel N., SlideVOLC project team (2018). Volcano destabilizations: From observations to an integrated model of active deformation. AGU Fall meeting, Washington D.C., 10-14 décembre 2018.
9. Smittarello D., Cayol V., Pinel V., Peltier A., Froger J. (2018). Propagation of magma associated to Piton de la Fournaise eruptions from joint inversion of InSAR and GNSS data. 19th General assembly of Wegener, Grenoble, France, Sept., 2018.
10. Smittarello D., Cayol V., Pinel V., Peltier A., Froger J. (2018). Basaltic Magma Propagation: Insight from Inversion of InSAR and GNSS data of the May 2016 Piton de la Fournaise eruption. Cities of Volcanoes, Naples, Italie, Sept. 2018.
11. Durand F., Simonetto E., Morel L., Nicolas J., Froger J.-L. (2018). Combining GNSS data and a global atmospheric model for atmosphere INSAR phase correction. Geophysical Research Abstracts, Vol.20, EGU2018-8994, 2018 EGU General Assembly 2018, Vienna (Austria).
12. Smittarello D., Cayol V., Pinel V., Peltier A., Froger J. (2018). Propagation of magma associated to Piton de la Fournaise eruptions from joint inversion of InSAR and GNSS data. 26ème Réunion des Sciences de la Terre, Lille, France, Nov., 2018.
13. Richter N., Froger J.-L., Villeneuve N., Derrien A., Peltier A. (2018). The anatomy, structural dynamics, and related volcanic hazards of Piton de la Fournaise volcano, La Réunion: Lessons learned from ground and space-based geodetic measurements. Invited talk at Cities on Volcanoes 10 | 2-7 September 2018 | Napoli, Italy
14. Peltier A., Finizola A., Delcher E., Chaput M., Gailler L., Francke J., Froger J., Villeneuve N., Cluzel N., Del Manzo G., Soler F., Gusset R., Gonano E. (2019). Imaging the deep interior of Piton de la Fournaise. Geophysical Research Abstracts, Vol.21, EGU2019-5167, EGU General Assembly, Vienna (Austria), 7-12 April 2019.

Nom du service : GAZVOLC - (SNOV TS ANO-1)
Adresse URL du site web du service : <http://www.obs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/gazvolc>

Résumé du service:

GAZVOLC est un système d’observation des volcans actifs, basé sur l’étude des émissions gazeuses volcaniques, qu’elles soient actives (panaches) ou passives (sols, fumerolles). Le but est de fournir un temps quasi-réel ou sur une base régulière, des séries temporelles de la composition chimique (principalement H₂O, H₂, CO₂, CO, SO₂, H₂S, HCl) et des flux de gaz magmatiques et/ou fluides volcaniques. Ceci afin d’effectuer des bilans des émissions volcaniques et d’identifier tout changement d’activité et éventuellement des signes précurseurs d’ascension de magma, d’intrusion potentielle ou d’éruption.

Les cibles prioritaires pour l’instant sont les volcans Français situés dans les Départements d’Outre-Mer surveillés par le SNOV : Le Piton de La Fournaise et La Soufrière de Guadeloupe. Tout travail d’observation s’effectue dans, ou en collaboration avec, les observatoires de l’IPGP, notamment l’OVPF et l’OVSG. Cependant, des cibles peuvent être également d’autres volcans actifs dans le monde (comme Mayotte, Chili, via nos collaborations avec l’IRD), le Nicaragua par ex.)

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

MOUNE Séverine, Dr, Physicienne-adjointe : S.Moune@opgc.fr

laboratoire : LMV – UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC – UMS 833

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

L’étude du dégazage magmatique et des systèmes hydrothermaux est fondamentale pour une meilleure connaissance de l’aléa, pour optimiser la surveillance et la prévention. La mobilité des gaz jusqu’à la surface est beaucoup plus rapide que celle du magma, tout changement de la composition chimique des gaz magmatiques et/ou fluides volcaniques en surface va nous apporter des informations sur ce qu’il se passe en profondeur (interactions chimiques, physiques et thermiques entre les eaux de pluie, les roches encaissantes et les gaz volcaniques; remontée en surface d’un nouveau magma, par exemple). Les fluides volcaniques sont une interface privilégiée entre le magma profond et la surface et sont donc des outils primordiaux pour la surveillance volcanologique. Tout cela a été décrit en détail dans Moune et al., 2017. Au niveau scientifique, les mesures réalisées par le service GAZVOLC ont un grand nombre d’implications fondamentales centrées sur l’étude de la dynamique des émissions gazeuses, que ce soit au niveau des sources magmatiques et de l’origine des gaz (Venugopal et al., accepté ; Zurek et al., 2019 ; Venugopal et al., 2016 ; Ménard et al., 2014). Nos travaux concernant les cibles Françaises montrent l’importance d’une pluridisciplinarité pour comprendre les dynamisme éruptifs et identifier des signes d’unrest (Moretti et al., soumis; Gurioli et al., 2018 ; Harris et al., 2017 ; Coppola et al. 2017).

Mission d’observation

| Outils d’observation | Grandeurs mesurées | Fréquence | Continu ou épisode crise | Capteurs |
|---|--|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| FLYSPEC/DOAS | Flux SO ₂ | 1 Hz | Continu (et/ou mesures ponctuelles) | Sol |
| MULTIGAS | Concentrations CO ₂ , H ₂ S, CO ₂ , H ₂ , CO, H ₂ O | 1 Hz | Continu (et/ou mesures ponctuelles) | Sol |
| ACCUMULATION CHAMBER | Concentration et flux CO ₂ sol | 1 Hz | Continu (et/ou mesures ponctuelles) | Sol |
| Pièges Alcalins (Filtres, Dreschel bottles) | Concentrations en SO ₂ , halogènes et métaux | Prélèvement ponctuel | En cas de crises | Sol |
| Inclusions magmatiques | Concentrations des volatils du magma pré-éruptif. | Prélèvement ponctuel | En cas de crises | Échantillons naturels |

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

GAZVOLC se retrouve en parfaite adéquation avec les travaux lancés dans EPOS et EUROVOLC. Une stratégie commune de formatage des métadonnées en géochimie et pétrologie, de procédures de qualité est en cours de validation et les personnes impliquées dans GAZVOLC sont des acteurs actifs de ces projets Européens.

Développements prévus du SNO

- Validation finale de l'harmonisation de structuration des bases de données gaz et pétrochimie
- Mise à disposition des données plus visible
- Mesures aéroportées drones (MultiGAS et filtres)

- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial

Les données gaz obtenues via GAZVOLC peuvent être comparées avec les données spatiales gaz (comme celles obtenues via HOTVOLC)

-Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) :

Si oui, préciser la (les) mission(s) : NON

Le service proposé relève-t-il

- d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA
Nous collaborons beaucoup avec la communauté Océan-Atmosphère notamment concernant sur les panaches avec le programme MIST par exemple
- d'autres instituts du CNRS :INGV

- Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) : non

Protocoles de mesure

Les méthodes de mesures et d'échantillonnage sont décrites dans :

Moune, S., Di Muro, A., C. Dessert, 2017, GAZ VOLCaniques : outil primordial pour suivre l'activité des volcans. Revue Auvergne « Des volcans aux nuages. L'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand », Vol.1. Chapitre d'ouvrage

Archivage des données et leur mise à disposition

La base de données des séries temporelles longues est actuellement intégrée sur Webobs (OVSG), puis sera intégrée sur Volubsis (base IPGP) et sur la base commune du Pôle Télédétection OPGC sur <http://www.obs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc>.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| MOUNE Séverine | UCA/LMV-OPGC/Phy-Adj | Responsable scientifique | 7.2 |
| Di MURO Andrea | OVPF-IPGP/Phys | Responsable scientifique | 7.2 |
| ROBERT Vincent | OVSG-IPGP/IE | Chimie | 2 |
| DIDIER Tristan | OVSG-IPGP/IE | Instrumentation – Site Guadeloupe | 2 |
| KOWALSKI Philippe | OVPF-IPGP/IR | Instrumentation – Site Réunion | 2 |
| BONTEMPS Martial | OPGC-IPGP/IR | Instrumentation – Site OPGC | 1 |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

Diffusion de connaissances avec données GAZVOLC aux Fêtes de La Sciences, journées du Patrimoine, Journées des Risques Naturels. Participation et présentations des données GAZVOLC à des organisations sur la prévention des risques naturels (p.e. projet PARE pas PARE)

Relation étroite avec La Préfecture et la DEAL pour simulation du Plan Volcan avec transmission de données GAZVOLC (simulation de crise éruption), pour informations et aides aux décisions institutionnelles (p.e. fermeture du sommet de La Soufrière)

Budget

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles à prévoir | | |
|------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------|--|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | type |
| CNRS_INSU | 1,5 | SNOV-OPGC (chaque année) | CNRS-INSU | 8 | Projet Aléas financé en 2015 |
| | | | CNRS-INSU | 10 | SNOV_IPGP (soutien suite à l'ouragan Maria) 2018 |
| TOTAL | 1,5 | | TOTAL | 18 | |

Justification des besoins prévus 2021-2025 en fonctionnement ou jouvence ou équipement pour maintenir développer l'instrument.

Jouvence annuelle = minimum 5k€

Fonctionnement = mission à l'OVSG 2 fois par an : 4k€, mission lors d'éruption à l'OVPF : 3k€, analyse des inclusions : 3k€

Achat d'une chambre d'accumulation pour l'OPGC = 24k€

Production scientifique des acteurs (publications de rang A, conférences, thèses)

Rang A

- Gurioli, L., Di Muro, A., Vlastélic, I., **Moune, S.**, et al., 2018, Integrating field, textural and geochemical monitoring to track eruptive triggers and dynamics : the case-study of Piton de la Fournaise. Solid Earth, 9, 431-455

Chapitre livre

- Moune, S.**, Di Muro, A., C. Dessert, 2017, GAZ VOLCaniques : outil primordial pour suivre l'activité des volcans. Revue Auvergne « Des volcans aux nuages. L'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand », Vol.1. Chapitre d'ouvrage

Conférences

- Moune, S.**, Robert, V. Moretti, R., Burtin, A., Ucciani, G., D. Jessop, T. Didier, M. Bonifacie, Komorowski, J.C., Tamburello, G., Lemarchand, A., MultiGAS survey from low-T° fumaroles in a tropical environment. Effects from internal and external forcing: example from La Soufriere de Guadeloupe (FWI), Goldschmidt, Barcelona, 2019
- Moretti, R., Komorowski, J.C., Ucciani, G., Burtin, A., **Moune, S.**, et al., The 2018 unrest phase at La Soufrière of Guadeloupe (French West Indies) andesitic volcano: scrutiny of a failed but prodromal phreatic eruption, IUGG, Montreal, 2019
- Moretti, R., Komorowski, J.C., Ucciani, G., Burtin, A., **Moune, S.**, et al., The 2018 unrest phase at La Soufrière of Guadeloupe (French West Indies) andesitic volcano: scrutiny of a failed but prodromal phreatic eruption, EGU, 2019, Vienna.
- Di Muro, A., Galle, B., Arellano, S., Aiuppa, A., Liuzzo, M., Rizzo, A., Grassa, F., Boudoire, G., **Moune, S.**, Giudice, G., Kowalsko, P., Boissier, P., Brunet, C., Ten years of continuous gas monitoring at Piton de la Fournaise volcano: results and perspectives, COV, 2018 Naples
- Moretti, M., Komorowski, J.C., Burtin, A., Ucciani, G., Jessop, D., **Moune, S.**, Bonifacie, M., Robert, V., Deroussi, S., Didier, T., Kitou, T., de Chabalière, J.-B., Shreve, T., Venugopal, S., Saurel, J.M., Lemarchand, A., Tamburello, G., Gibert, D., Allard, P., Le Friant, A., Chaussidon, M., The 2018 February-April unrest phase at La Soufrière of Guadeloupe (French West Indies) andesitic volcano: deep magmatic fluid transfer into the hydrothermal system and dome-structure modulation, COV, 2018 Naples.
- Moretti, R., Robert, V., **Moune, S.**, Komorowski, J.C., Bonifacie, M., Fiebig, J., A geochemical reappraisal of the hydrothermal system of La Soufrière of Guadeloupe (French West Indies) with implications for unrest, COV, 2018 Naples
- Spallanzani, R., Di Muro, A., **Moune, S.** The magmatic origin of superficial gas emissions at Piton de la Fournaise Volcano (La Réunion island) during 2014-2015 eruptions, EMPG, 2018, Clermont-Ferrand
- Gurioli, L., Thivet, S., Di Muro, A., Vlastélic, I., **Moune, S.**, Harris, A. Villeneuve, N., Peltier, A., Ferrazini, V., Bachèlery, P., Basaltic degassing mechanisms and eruptive dynamics revealed by textural, geochemical and geophysical monitoring of Piton de la Fournaise (2014-2017), EGU, 2018, Vienna

Thèses

1. Swetha Venugopal (Co tutelle SFU-LMV; 2015-2019) sur les inclusions et les gaz de l'Arc des Antilles et l'arc Canadien.
2. Abigail Metclafe (Financement MOPGA, IPGP) sur les inclusions de La Soufrière de Guadeloupe

Production scientifique des utilisateurs (publications de rang A, conférences, thèses)

[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

Rang A

3. Harris, A., Villeneuve, N., Di Muro, A., Ferrazzini, V., Peltier, A., Coppola, D., Favalli, M., Bachelery, P., Froger, J.L., Gurioli, L., **Moune, S.**, Vlastelic, I., Galle, B., Arellano, S., 2017, Effusive crises at Piton de La Fournaise 2014-2015 : A review of a Multi-National Response Model. Applied Volcanology, 6:11, doi :10.1186/s13617-017-0062-9
4. Coppola, D., Di Muro, A., Peltier, A., Villeneuve, N., Ferrazzini, V., Favalli, M., Bachelery, P., Gurioli, L., Harris, A.J.L., **Moune, S.**, Vlastelic, I., Galle, B., Arellano, S., 2017, Shallow system rejuvenation and magma discharge trends at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island). Earth Planet. Sci. Lett., 463, 13-24.

Conférences

1. Bonifacie, M., Bardoux, G., Robert, V., Agrinier, P., **Moune, S.**, Moretti, R., Dessert, C., Komorowski, J.C., Legendre, Y. Chlorine isotopes in volcanology : example from La Soufrière de Guadeloupe (FWI), Goldschmidt, Barcelona, 2019
2. Tamburello, G., **Moune, S.**, Allard, P., Venugopal, S., Robert, V., Komorowski, J.C., Didier, T., Deroussi, S., Kitou, T., Rosas-Carbajal, M., Moretti, R., Ucciani, G., Beauducel, F., de Chabalière, J-B, Lemarchand, A., Dessert C., Le Friant, A. Insights into the degassing unrest of a dormant arc volcano using high spatio-temporal geochemical and geophysical observations of the fumarolic activity (La Soufrière of Guadeloupe, Lesser Antilles), COV, 2018 Naples
3. Bonifacie, M., Bardoux, G., Robert, V., Dessert, C., **Moune, S.**, Joseph, P., Halogen concentrations and chlorine isotope compositions of thermal springs along the lesser Antilles arc, Goldschmidt, 2017, Paris
4. Tamburello, G., **Moune, S.**, Allard, P., Venugopal, S., et al. Spatio-temporal relationships between fumarolic degassing, hydrothermal fluid circulation and lava dome deformation at La Soufrière volcano, Guadeloupe, IAVCEI, 2017, Portland.
5. Harris, A., Di Muro, A., Villeneuve, N., Ferrazzini, V., Peltier, A., Coppola, D., Favali, M., Bachelery, P., Froger, J.L., Gurioli, L., **Moune, S.**, Vlastelic, I., Galle, B., Arellano, S., Effusive Crises at Piton de la Fournaise 2014-2015: A Multi-National Response Model, EGU, 2017, Vienna
6. Coppola, D., Di Muro, A., Peltier, A., Villeneuve, N., Ferrazzini, V., Favali, M., Bachelery, Gurioli, L., Harris, A., **Moune, S.**, et al., Shallow system rejuvenation and magma discharge trends at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island), EGU, 2017, Vienna

| |
|--|
| Nom du service : DynVolc - (SNOV TS ANO-1) Adresse URL du site web du service : http://dynvolc.opgc.fr/ |
|--|

Résumé du service: DynVolc fournir un suivi textural et chimique des fragments de lave et des pyroclastes lors des crises éruptives au Piton de La Fournaise (La Réunion, France), et sur les autres volcans français en état quiescent (Chaîne des Puys, Mayotte, Martinique) or en « unrest » (Guadeloupe). L'objectif dans les systèmes actifs est de fournir de les séries temporelles de données textuelles, pétrographiques et géochimiques pour la compréhension de la dynamique éruptive et des processus magmatiques. Ces données sont cruciales pour la surveillance des volcans actifs et fondamentale pour la prévision des éruptions volcaniques (Gurioli et al. 2015 ; Polacci et al. 2017). Pour les systèmes quiescents le but est de définir les différents scénarios éruptifs qui pourraient se produire en cas de réactivation future.

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

Gurioli Lucia

Physicienne 2C

lucia.gurioli@uca.fr

Laboratoire : LMV – UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC – UMS 833

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

DynVolc a pour objectif de quantifier texturalement et chimiquement (i) des échantillons pyroclastiques (bombes scoriacées et / ou ponceuses, lapilli et de cendres) et (ii) des fragments de lave. Le but est de fournir, à partir des pyroclastes, les données nécessaires pour suivre l'évolution du dégazage, de la rhéologie, de la chimie et de la fragmentation du magma dans le temps et dans l'espace à partir du conduit jusqu'aux manifestations explosives en surface (Gurioli et al. 2018). Pour les laves le but est aussi d'obtenir l'évolution temporelle et spatiale de la rhéologie, dynamique et morphologie d'écoulement (Harris et al. 2017). Les analyses texturales des pyroclastes émis pendant une éruption nous permet d'optimiser les données géophysiques (Gurioli et al. 2014, Bombrun et al. 2015) ainsi que de valider les résultats pour une meilleure caractérisation de l'événement (Gurioli et al. 2013 ; 2015 ; 2016) et du system volcanique en général (Coppola et al. 2017 ; Vlastelic et al. 2018). En outre, les données chimiques et les conditions rhéologiques mesurées permettent de définir pleinement les conditions au niveau de la source (Thivet et al. en révision), de la fragmentation et de l'émission du panache en surface (Thivet et al. en prep) ainsi que modéliser la mise en place des coulées de lave (Harris et al. 2016 ; 2017 ; 2018 ; Rhety et al ; 2017 ; Soldati et al. 2018).

Mission d'observation : tableau

Pendant les crises à **Piton de La Fournaise** les échantillons sont envoyés systématiquement par l'Observatoire Volcanologique du Piton de La Fournaise (OVPF) en collaboration avec A. Di Muro. En parallèle, des mesures similaires sont également menées sur les éruptions passées et sur les volcans quiescents, toujours en collaboration avec l'OVPF (D. Muro) et l'IPGP (P. Basson, G. Boudon, G. Carazzo). Récemment, en raison de la crise sismique à 50 km à l'est de la côte de **Mayotte**, le SO ai été sollicité pour faire de travaux de terrain pour contraindre les différents scénarios éruptifs qui pourraient se produire en cas de réactivation future. Il y a aussi de les mesures en cours sur les éruptions 2005-2007 du **Karthala** (Grand Comores) pour comprendre les dynamiques éruptives qui ont déclenché de telles éruptions basaltiques violent et pour les comparer avec les éruptions les plus violent que se sont manifesté a Piton de La Fournaise. Bien que ce volcan ne soit pas français, la collaboration décennale entre l'observatoire volcanologique de Karthala et l'OVPF, ils ont favorisé un échange scientifique fort et un soutien continu de l'observatoire et de la population comorienne. En parallèle, chaque année diverses campagnes de mesures sont effectuées par l'équipe DynVolc, au Piton de la Fournaise à Mayotte, dans la **Chaîne des Puys** et à Karthala.

| Grandeurs mesurées | Fréquence Périodes Continu ou épisode crise | Objectif scientifique | Capteurs (sol, satellite, drone, ballon...) |
|---|---|--|--|
| Caractéristiques physiques des particules | Ces mesures sont faites en période de crise et non. | (i)Granulométrie : -caractérisation de fragmentation de l'explosion | -ASHER -Tarps |

| | | | |
|---|---|--|---|
| <p>(i) Tailles et distributions de particules (ii) Type de particules (comptage lithologique) (iii) Morphologie des particules</p> | <p>Pour Piton de la Fournaise la fréquence d'éruptions est 3-4 fois par an. Dans la période où il n'y a pas d'éruptions, l'OS est toujours sollicité à mener des campagnes d'échantillonnage et d'analyse sur les échantillons d'éruptions passées (Mayotte, Chaîne des Puys, Karthala)</p> | <p>-interprétation génétique des dépôts pyroclastiques -classification des événements volcaniques en combinaison avec la dispersion des dépôts (ii)+(iii) <u>Lithologie</u> et <u>morphologie</u> -mécanismes et types de fragmentation -informations sur le système d'alimentation et les processus actifs dans le conduit -probabilité d'une particule de se déposer ou de rester en suspension dans l'atmosphère</p> | <p>-Camera thermique -Tamis -Granulomètre Malvern Mastersizer 3000 -Morphologi G3 -Microscope binoculaire et optique -Comptage automatique de point au microscope optique ou compté au MEB</p> |
| <p>Texture macroscopique (i) Densité/porosité et densité du magma (DRE) (ii) Degré de connectivité des vésicules (iii) Perméabilité</p> | | <p>(i) <u>Densité/porosité</u> : - contenu en gaz du magma et son hétérogénéité textural au niveau de la fragmentation (ii) <u>Connectivité</u> capacité de dégazage du magma à proximité de la fragmentation (iii) <u>Perméabilité</u> le développement de la perméabilité et le dégazage des magmas</p> | <p>-Geopyc 1360 de Micromeritics -AccuPyc II 1340 Gas Displacement Helium Pycnometer de Micromeritics -Permeameter type Takeuchi et al. (2008).</p> |
| <p>Texture microscopique (i) Pourcentage des vésicules et des cristaux (ii) distribution de la taille des vésicules et des cristaux (iii) et leur morphologie</p> | | <p>Informations quantitatives sur -l'ascension (vitesse d'ascension), -la vésiculation/cristallinité (taux de nucléation et croissant) -fragmentation du magma (type et rhéologie)</p> | <p>-Scanner -Microscope optique -MEB -Logiciel pour l'analyse d'image -FOAMS</p> |
| <p>Analyses chimiques (i) Élément major et en trace (en roche totale et verre) (ii) composition des cristaux</p> | | <p>Informations quantitatives sur -Classification du magma -Evolution chimique -Recharge profond -Température du magma -Rhéologie</p> | <p>-Microsonde Electronique -l'ICP-AES -Salle blanche</p> |

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR et positionnement actuel et prévu

DynVolc est intégré au Service National d'Observation en Volcanologie (**SNO-V**) et au sein de la Plateforme Européenne d'Observations de la Terre **EPOS** (WP11-DDSS-026 "Collection of rocks" et WP11-DDSS-036 : "Geochemical analyses of rocks, gas and fluids") et aussi dans WP11.4.4 (Petrological, Geochemical, and Environmental Data and Data Products). Dans **EUROVOLC** (European network of Observatories and research Infrastructures for volcanology), DynVolc est impliqué dans WP6 (Networking volcano observations). DynVolc participe aussi à **EVE** (European Volcano Early Warning System).

Cette service ai développé un réel échange scientifique et une coopération mutuelle dynamique et constructive entre l'OPGC et l'OVPF/IPGP et **IPGP**, en collaboration avec A. Di Muro, P Besson, G. Boudon et G Carazzo.

Développements prévus du SNO

De nombreux développements sont prévus pour le système DynVolc, tant sur le point méthodologique que stratégique et scientifique. On peut souligner l'évolution à venir suivantes :

- amélioration de l'échantillonnage syn-éruptive avec capteur pour la cendre grossier (ASHER) et fine (collector a cascade, pompe type CATHiA pour l'extraction du PM10, 4 et 2.5)
- fournir des mesures de concentration sur la cendre in-situ pendant crise volcaniques or remobilisation secondaire de cendres
- développer un protocole et une plateforme instrumentale de séparation de particules pour isoler la fraction < 10µm en laboratoire
- insérer les données textural et chimie relatif à Mayotte et Karthala dans la base DynVolc et aussi les données de caractérisation de la cendre fin des volcans étudié

- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial

Oui

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

Dans le cadre CNES TOSCA, nous avons proposé un projet « Integration of sample return data and remote sensing for advanced understanding of volcanic ash formation and dispersion », dans lequel les mesures performé par DynVolc seront utilisé pour validé les model du dispersions de les panaches volcaniques

- **Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) :**

Si oui, préciser la (les) mission(s) : non

Le service proposé relève-t-il

- **d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?**
- **d'autres instituts du CNRS (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?**

Dans le cadre du projet CAP20-25 Risk volcanique (projet I-Site :Ash Studies for Health), j'ai proposé de développer la caractérisation de la cendre volcaniques dans un contexte plus large, en rapport avec les problématiques sociétales. J'ai mis en place un consortium avec des volcanologues du LMV et du **IG-EPN** (Équateur), des médecins (**GReD** à Clermont Ferrand) et des chimistes de l'**ICCF**-Institut de chimie de Clermont-Ferrand pour comprendre l'impact de la cendre sur la santé humain. Ce consortium est au cœur de l'ANR-ASH, que j'ai commencé à soumettre l'année dernière en collaboration aussi avec les vulcanologues de l'**IPGP** et les **observatoires volcanologiques français** ainsi que **des biologistes de Paris VII** que travaillent dans le domaine de la pollution. Dans ce projet, le rôle de DynVolc est de intégré les données physiques et chimiques de la cendre volcanique dans la base de donnée DynVolc. Ce projet est en collaboration avec D. Damby (toxicologue à la **USGS** de Menlo Park, États-Unis) D Andronico et R Corsaro (**INGV-Catania**), S Barsotti (**Met-office en Islande**) et T Thorvarson (**Université en Islande**).

- Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) : oui

Si oui, préciser le/les quel(s) prévu : FORM@TER

Protocoles de mesure

Une procédure standard Un atelier intitulé "Tracking and understanding volcanic emissions through cross-disciplinary integration: A textural working group." a eut lieu à l'Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand, France) les 6 et 7 Novembre 2012. Cet atelier a été soutenu par l'European Science Fondation (ESF), **MeMoVolc**. Avec un groupe consultatif initial, l'objectif principal de l'atelier était définir les mesures, les méthodes, les formats et les normes à appliquer dans l'intégration des données géophysiques, physiques et texturales recueillies lors des éruptions volcaniques et d'homogénéiser les procédures pour les événements passés et en cours (<http://www.esf.org/activities/memovolc-activities.html>, Gurioli et al. 2015). L'harmonisation de ces données est maintenant en cours dans le projet **EPOS** et **EUROVOLC**.

Les protocoles de mesures sont reporté sur <http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/dynvolc/routine.php>

Stratégie d'échantillonnage La première étape de ce service d'observation consiste à collecter des échantillons représentatifs à la fois des dépôts pyroclastiques (Shea et al. 2014 ; Gurioli et al. 2015 ; Jourdan et al. 2016 ; Saubin et al. 2016 ; Colombier et al. 2017a, 2017b) et/ou couléé de lava (Robert et al. 2014 ; Harris et al. 2016 ; Latutrie et al. 2017 ; Rhéty et al. 2017 ; Soldati et al. 2018 ; Chevrel et al. 2019) des éruptions passées ou récentes, pour lesquels les prélèvements sont exécutés pendant l'éruption (Gurioli et al. 2014 ; 2018 ; Leduc et al. 2015 ; Thivet et al en revision) et/or en utilisant un dispositif

d'échantillonnage placé à l'intérieur du champ de retombées (Gurioli et al. 2016 ; Ripepe et al. en revision) or de un coulée de lava (Harris et al. 2017 ; Chevrel et al. 2018).

Mesures de routine Des mesures de routine sont exécutées sur les échantillons des éruptions passées et récentes. Notre objectif est de contraindre l'évolution temporelle du dégazage et de la rhéologie et chimie du magma. Ceci permet le suivi :

- De l'évolution des caractéristiques magmatiques lors de l'ascension du magma dans le conduit volcanique.
- Des conditions de fragmentation (en termes d'efficacité et style d'explosion).
- De la composition chimique du magma.
- De la variation de ces paramètres dans le temps.

Les mesures sont rapides, robustes, fiables et précises grâce à l'utilisation d'instruments novateurs disponibles au laboratoire textural du LMV (<http://lmv.univ-bpclermont.fr/caracterisation-texturale-des-produits-volcaniques/>) en combinaison avec d'autres moyens analytiques de hautes qualités accessibles au LMV.

- **Granulométrie** est fait in-situ avec les images thermique de l'explosion (Bombrun et al. 2015), dans les dépôts (Gurioli et al. 2013) en utilisant de bêche (Harris et al. 2013; Gurioli et al. 2016, Ripepe et al. en révision), or l'ASHER (Marchetti et al. 2013 ; Gurioli et al. 2016). En laboratoire la méthode classiques (avec le tamis) est utilisé pour la partie juste a 63 micron (Jordan et al. 2016 ; Colombier et al. 2017a; Gurioli et al. 2018), tandis que pour les fractions les plus fines est utilisé la diffraction laser, avec un granulomètre Malvern Mastersizer 3000 (Grenet 2019 ; Thivet 2019).
- **Comptage lithologique** Les classes de plus grande taille sont sélectionnées à la main (Gurioli et al. 2018 ; Thivet et al. en révision). Pour les classes de taille de 2 mm à 0,5 mm, le prélèvement manuel est effectué sous un microscope binoculaire à l'aide de pinces fines (Jordan et al. 2016). Pour les classes les plus fines, suivant la méthode de Barberi et al. (1989), des lames minces de grains de taille similaire sont réalisées (Thivet et al. en prep) et regardé et compté en manier automatique au MEB et or au microscopique optique.
- **Analyses morphologiques** in situ, dans les explosions (Bombrun et al. 2015), or sur les particules grossieres avec photos numériques (Gurioli et al. 2013 ; 2016) or sur la cendre en utilisant le Malvern Morphologi® G3 (Thivet et al. en prep).
- **Measure de densité et porosité** sont fait avec la méthode d'Archimède pour les pyroclasts (Gurioli et al. 2014 ; 2015, 2016 ; 2018 ; Jordan et al. 2016) et lavas (Roberts et al. 2014 ; Latutrie et al. 2017 ; Soldati et al. 2018, Chevrel et al. 2018 ; 2019), la méthode des billes de verres (Colombier et al. 2017a) et avec le l'analyseur de densité d'enveloppe Geopyc 1360 de Micromeritics (Gurioli et al. 2016 ; Thivet 2016, Thivet et al. en révision). Les pycnomètres à eau sont utilisés pour mesurer la densité de la cendre (Thivet 2019). La porosité est ensuite calculée à partir dal valeur du DRE (dense rock equivalent) mesuré sur la poudre de l'échantillon qui représente la densité équivalente de l'échantillon sans prendre en compte les vésicules.
- **Mesures de connectivité** qui permettent d'obtenir le pourcentage de vésicules isolées par rapport à vésicules connectées sont fait avec l'AccuPyc II 1340 Gas Displacement Helium Pycnometer de Micromeritics (Colombier et al. 2017a, 2017b ; Gurioli et al. 2018)
- La **permeabilité** est mesuré avec un perméamètre conçu par Takeuchi et al. (2008). Durant le poste de professeur invité de T Shea (Université d'Hawaii à Manoa) à Clermond-Ferrand en mai 2013, nous avons construit l'instrument qui nous permet d'effectuer des mesures très reproductibles de perméabilité en utilisant des matériaux volcaniques poreux et trempés (Colombier et al. 2017a, b ; Gurioli et al. 2018).
- La **quantification texturale microscopique** implique une description complète de la taille, forme et distributions des vésicules et des cristaux des produits émis (Gurioli et al. 2015). DynVolc fournit des mesures de texture basées sur l'approche 2-D (Shea et al. 2010 ; Gurioli et al. 2015, 2018)
- Analyses **pétrologique, chimique et géochimique** sont réalisées à la fois in situ et en roche totale sur échantillons explosifs et effusifs. Les analyses ponctuelles sont effectuées sur les verres et les cristaux grâce à la microsonde électronique et les analyses en roches totales sont réalisées à l'ICP-AES (Vlastelic et al. 2016 ; 2018 ; Gurioli et al. 2015, 2018 ; Rose-Koga et al. 2016)

Archivage des données et leur mise à disposition

Les données sur les volcans actifs français (Piton de La Fournaise 2014-2019 et Mayotte, activité passé) et sur le volcan Karthala (éruptions 2005-2007) sont mises à disposition de la communauté scientifique nationale et internationale par la base de données DYNVOLC Database (2017): DYNVOLC Database. Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, Aubière, France. DOI:10.25519/DYNVOLC-Database.

http://opgc.fr/vobs/so_interface.php?so=dynvolc

Les base des données est en cours d'élaboration pour permettre

- l'automatisation de l'intégration des données,
- l'amélioration de la diffusion des données via des échanges de données standardisés,
- l'harmonisation des interfaces pour améliorer l'expérience de navigation web, et faciliter l'accès à information.

Ces améliorations sont faites dans le cadre du projet européen EPOS et EUROVOLC pour avoir des formats clairement définis et normalisés.

Sur le site Web j'ai également mis à disposition des données sur d'autres volcans qui pourraient toujours intéresser la communauté scientifique (e.g. Klein et al; 2018) Stromboli et Etna (Italie), Chaînes Des Puys et Sancy (France), Villarrica and Chaiten (Chili), Mauna Ulu et Kilauea (Hawaii).

<http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/dynvolc/index.php>

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du service et de **ses ressources instrumentales et humaines**. Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission du SNO (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique).

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|--|--|---|--------------------------|
| GURIOLI Lucia | UCA-LMV-OPGC Physicienne 2C Directrice adjointe OPGC Responsable laboratoire textural LMV | Responsable SO et analyses texturales et conception base des données DynVolc | 4 |
| DI MURO Andrea | OVPF-IPGP Physicien | Responsable échantillonnage et analyses chimie | 4 |
| GUÉHENNEUX Yannick | UCA/OPGC/IE | Responsable informatique | 1.5 |
| VLASTELIC Ivan | LMV-CNRS Chercheure | Analyses éléments en trace | 1.5 |
| HARRIS Andrew | UCA-LMV Prof IC | Echantillonnage in situ Camera thermique Modélisation lava | 1.5 |
| BACHELERY Patrick | UCA-LMV Prof E | Pétrologie et rock collection | 1 |
| CHEVREL Oryaelle | UCA-LMV Postdoc | Echantillonnage in situ Mesures de viscosites in-situ Modélisation lava | 1 |
| BESSION Pascale | IPGP Physicienne Adj | Chimie XRF et TEM | 2 |
| Ressources instrumentales | Rôle dans le SNO | Localisation | Soutien technique |
| -Tamis -Scanner -Microscope optique -Logiciels pour l'analyse d'image | Analyses de routin | Laboratoire Textural LMV | Gurioli |

| | | | |
|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| -Geopyc 1360 -AccuPyc II 1340 -Pycnomètre à eau -Perméaméter -Morphologi G3 | | | Suchorski IE CNRS |
| -ASHER | Grain size, accumulation rate in-situ | OVFP | Marchetti M (Université de Florence) |
| -2 Caméra Thermiques | Mesure de panache et lava in-situ | LMV | Harris A Prof |
| -Granulomètre Malvern Mastersizer 3000 | Analyses ponctuel | Institute de Chimie Clermont Ferrand | Nedelek J-M Prof (ICCF) |
| -ICP-AES -Préparation lame mince -Microsonde Electronique -Broyage échantillons -MEB -Salle Blanche | Analyses de routin | Pole technique à LMV | Benbakkar IE-UCA-LMV Constantin T UCA-OPGC Devidal IE UCA-OPGC Fonquernie T UCA-OPGC Hénot T CNRS Vlastelic CR |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

Une partie des données et des modèles trouvés pour la description des systèmes volcaniques est utilisée dans les cours de CM, TD et TD terrains dans lesquels je suis impliqué dans l'enseignement de :

- L1 « Géologie et volcanologie régionales »
- L2 « Les volcans et leur produits »
- L3 « Techniques géologiques et géophysiques en volcanologie »
- Master 1 « Ascension et éruption des magmas »

Budget

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles à prévoir | | |
|--------------------------------------|------------------------|--|-------------------------------------|---------------------|---|
| <i>Origine¹</i> | <i>Montant (k€)</i> | <i>Commentaire</i> | <i>Origine</i> | <i>Montant (k€)</i> | <i>type</i> |
| CNRS-INSU | ~ 3/an | Dotation SNOV | CNES | 6 (2017) | Recherche en lien avec spatial |
| | | | EUROVOLC | 8 (2018-2020) | Networking |
| | | | ANR-STRAP | 30 (2015-2018) | ASHER Missions terrain |
| | | | I-Site Cap 20-25 | 81 (2019) | PostDoc Multidisciplinaire recherche |
| | | | INSU-Mayotte IPGP | 2 (2019) | Mission terrain |
| | | | ANR-LAVA | 5 (2017-2020) | Mission terrains Analyses |
| | | | ClerVolc | 25 (2014-2018) | Recherche Mission terrains Analyses |
| | | | Action incitative OPGC | 3 (2016-2018) | Soutien thésards |
| | | | Axe transverse Region | 3.7 (2016) | Soutien PostDoc |
| Budget prévisionnel 2019-2023 | | | | | |
| <i>Nature²</i> | <i>Montant (k€/an)</i> | <i>Commentaire</i> | | | |
| Mission | 4 | Missions récurrent a La Réunion, Mayotte, Karthala | | | |
| Fonctionnement | 3-6 | Analyses et maintenance machines | | | |
| TOTAL BESOINS RECURRENTS | 7-10 K€/an | | | | |

Production scientifique des acteurs (publications de rang A, conférences, thèses) Publications de rang A (les étudiants sont surlignée) 2014-2019

2019

1. Thivet S, **Gurioli L**, Di Muro A, Derrien A, Ferrazzini V, Gouhier M, Coppola D, Galle B, Arellano S (en prep) Evidences of plug pressurization triggering secondary fragmentation during the September 2016 basaltic eruption at Piton de la Fournaise (La Réunion Island, France)
2. **Thivet S**, **Gurioli L**, Di Muro "A Basaltic dyke eruptions at Piton de La Fournaise: quantification of magmatic overpressure, conduit and eruptive dynamics" en révision Contribution Mineralogy CTMP-D-19-00082,

01/04/2019

3. Ripepe M, Colo' L, **Gurioli L**, Harris J A. Fragmentation processes during Strombolian explosion revealed using near-vent bomb-distribution mapping. Submitted 13/04/2019 EPSL
4. Harris A, Mannini S, Thivet S, **Gurioli L**, Chevrel O., Villeneuve N, Di Muro A, Peltier A, "Unexpected rheological regime measured down an active lava channel" submitted to *Geology* 28/08/2018
5. Chevrel MO, Harris AJL, James M, Calabrò L, **Gurioli L**, Pinkerton H The viscosity of pāhoehoe lava: in situ syn-eruptive measurements from Kilauea, Hawaii *Earth science Planetary Letters*. 493, 161-17. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.028>

2018

6. **Gurioli L**, Di Muro A, Vlastélic I, Moune S, Thivet S, Valer M, Villeneuve N, Boudoire G, Peltier A, Bachèlery P, Ferrazzini V., Métrich N, Benbakkar M, Cluzel N, Constantin C, Devidal J-L, Fonquernie C, Hénot J-M (2018) Integrating field, textural and geochemical monitoring to track eruption triggers and dynamics: a case-study from Piton de la Fournaise, *Solid Earth*, 9, 431-455, <https://doi.org/10.5194/se-9-1-2018>
7. Corrigendum to: **Gurioli L**, Di Muro A, Vlastélic I, Moune S, Thivet S, Valer M, Villeneuve N, Boudoire G, Peltier A, Bachèlery P, Ferrazzini V., Métrich N, Benbakkar M, Cluzel N, Constantin C, Devidal J-L, Fonquernie C, Hénot J-M (2018) Integrating field, textural and geochemical monitoring to track eruption triggers and dynamics: a case-study from Piton de la Fournaise, *Solid Earth*, 9, 431–455, 2018, <https://doi.org/10.5194/se-9-431-2018-corrigendum>
8. Soldati A, Harris AJL, **Gurioli L.**, Villeneuve N, Rhéty M, Gomez F., Whittington A (2018) Textural, Thermal and Topographic Constraints on Lava Flow System Structure: the December 2010 Eruption of Piton de La Fournaise. *Bulletin of Volcanology* 80: 74. <https://doi.org/10.1007/s00445-018-1246-9>
9. Vlastélic I, Di Muro A, Bachèlery P, **Gurioli L**, Auclair D, Gannoun A.(2018) Control of source fertility on the eruptive activity of Piton de la Fournaise volcano, La Réunion. *Scientific Report* 8:14478 | DOI:10.1038/s41598-018-32809-0
10. Chevrel MO, Harris A, Ajas A, Biren J, **Gurioli L**, Calabrò L (2019) Investigating physical and thermal interactions between lava and trees: the case of Kilauea's July 1974 flow. *Bull Volcanol* 81:6. <https://doi.org/10.1007/s00445-018-1263-8>
11. Harris AJL, Chevrel MO, Coppola D, Ramsey M, Hrysiewicz A, Thivet S, Villeneuve N, Favalli M, Peltier A, Kowalski P, Di Muro A, Froger J-L, **Gurioli L** (2018) Validation of an integrated satellite-data-driven response to an effusive crisis: the April–May 2018 eruption of Piton de la Fournaise. *Annals of Geophysics*, 61, 2018; Doi: 10.4401/ag-7972

2017

12. Colombier M, **Gurioli L**, Druitt TH, Shea T, Boivin P, Miallier D, Cluzel N (2017) Textural evolution of magma during the 9.4-ka trachytic explosive eruption at Kilian Volcano, Chaîne des Puys, France. *Bull Volcanol* (2017) 79(2):1-24. doi:10.1007/s00445-017-1099-7
13. Colombier M, Wadsworth FB, **Gurioli L**, Scheu B, Kueppers U, Di Muro A, Dingwel DB (2017) The evolution of pore connectivity in volcanic rocks. *Earth Planetary Science Letters* 462:99-109. DOI: 10.1016/j.epsl.2017.01.011
14. Rhéty M, Harris A, Villeneuve N, **Gurioli L**, Médard E, O. Chevrel, Bachèlery P (2017) A comparison of cooling-limited and volume-limited flow systems: Examples from channels in the Piton de la Fournaise April 2007 lava-flow field" *G-Cubed* 10.1002/2017GC006839
15. Latutrie B, Harris A, Médard E, **Gurioli L** (2017) Emplacement and eruptive dynamics of a thick trachytic lava flow of the Sancy Volcano (France). *Bulletin of Volcanology* 79:4. DOI 10.1007/s00445-016-1084-6
16. Harris AJL, Villeneuve N, Di Muro A, Ferrazzini V, Peltier A, Coppola D, Favalli M, Bachèlery P, Froger J-L, **Gurioli L**, Moune S, Vlastélic I, Galle B, Arellano S (2017) Effusive Crises at Piton de la Fournaise 2014-2015: A Review of a Multi-National Response Model. *Applied Volcanology*, 6:11, DOI 10.1186/s13617-017-0062-9
17. Coppola D, Villeneuve N, Di Muro A, Ferrazzini V, Peltier A, Favalli M, Bachèlery P, **Gurioli L**, Harris, Moune S, Vlastélic I, Galle B, Arellano S, Aiuppa (2017) A Shallow system rejuvenation and magma discharge trends at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island). *Earth and Planetary Science Letters* 463:13-24

2016

18. Saubin E, H Tuffen, **L Gurioli**, J Owen, J M Castro, K Berlo, E. M. McGowan, CI Schipper, K Wehbe (2016) "Conduit dynamics in transitional rhyolitic activity recorded by tuffi-Site vein textures from the 2008-2009 Chaitén eruption" *Frontiers in Earth Science* doi: 10.3389/feart.2016.00059
19. Jordan SG, J-L Le Pennec, **L Gurioli**, O Roche, P Boivin (2016) "Highly explosive eruption of the monogenetic 8.6 ka BP La Vache et Lassolas scoria cone complex (Chaîne des Puys, France)" *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 313:15–28
20. Harris JLA, Rhéty M, **Gurioli L**, Villeneuve N, Paris R (2016) "Simulating the thermo-rheological evolution of channel-contained lava: FLOWGO and its implementation in EXCEL" From: Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F.&Carn, S. A. (eds) Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions. Geological Society, London, Special Publications, 426, <http://doi.org/10.1144/SP426.9>
21. Vlastélic I, A. Gannoun, A. Di Muro, **L. Gurioli**, P. Bachèlery, J.M. Henot (2016) Origin and fate of sulfide liquids in hotspot volcanism (La Réunion): Pb isotope constraints from residual Fe–Cu oxides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 194, Pages 179-192

2015

22. **L. Gurioli**, D. Andronico, P. Bachelery, H. Balcone-Boissard, J. Battaglia, G. Boudon, A. Burgisser, S.B. M.R. Burton, K. Cashman, S. Cichy, R. Cioni, A. Di Muro, L. Dominguez, C. D’Oriano, T. Druitt, A.J.L Harris, M. Hort,

K. Kelfoun, J.C. Komorowski, U. Kueppers, J.L. Le Pennec, T. Menand, R. Paris, L. Pioli, M. Pistolesi, M. Polacci, M. Pompilio, M. Ripepe, O. Roche, E. Rose-Koga, A. Rust, L. Scharff, F. Schiavi, R. Sulpizio, J. Taddeucci, T. Thordarson (2015) "MeMoVolc consensual document: a review of cross-disciplinary approaches to characterizing small explosive magmatic eruptions" *Bulletin of Volcanology* 77:49. DOI: 10.1007/s00445-015-0935-x

23. Leduc L, **Gurioli L**, Harris AJL, Colo' L, Rose-Koga E (2015) "Types and mechanisms of strombolian explosions: characterization of a gas-dominated explosion at Stromboli" *Bulletin of Volcanology* 77:8. DOI: 10.1007/s00445-014-0888-5

24. Bombrun M, Harris A, **Gurioli L**, Battaglia J, Barra V (2015) "Anatomy of a strombolian eruption: inferences from particle data recorded with thermal video" *Journal of Geophysical Research - Solid Earth* 120(4):2367-2387. DOI:10.1002/2014BO11556

2014

25. **Gurioli L**, Colo' L, Bollasina AJ, Harris AJL, Whittington A, Ripepe M (2014) "Dynamics of strombolian explosions: inferences from inferences from field and laboratory studies of erupted bombs from Stromboli volcano" *Journal Geophysical Research*, 119(1), DOI:10.1002/2013JB010355

26. Robert B, Harris AJL, **Gurioli L**, Médard, E, Sehlke A, Whittington A (2014) "Textural and rheological evolution of basalt flowing down a lava channel" *Bulletin of Volcanology* 76:824, DOI: 10.1007/s00445-014-0824-8

Conférence 2014-2019

2018

1. Chevrel MO, Harris A, James M, Pinkerton H, Rowland S, **Gurioli L**, Calabro L, Labroquère J (2018) Constraining thermo-rheological properties of lava: from lab and field experiments to applications for modeling. Cities on Volcanoes 10, Naples, 2-7 September 2018
2. **Gurioli L**, Thivet S, Di Muro A, Vlastélic I, Moune S, Harris A, Villeneuve N, Peltier A, Ferrazzini V, Bachèlery P (2018) Basaltic degassing mechanisms and eruptive dynamics revealed by textural, geochemical and geophysical monitoring of Piton de la Fournaise (2014-2017). Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-14825, 2018 EGU General Assembly 2018
3. Harris A, Chevrel O, **Gurioli L**, Thivet S, Coppola D, Favalli M, Peltier A, Muro A, Villeneuve N (2018) Effusive crises at Piton de la Fournaise 2014–2018: Source term provision and quantification of uncertainty in lava flow modeling for a real time response. 263, Cities on Volcanoes 10, Naples, 2-7 September 2018
4. Prival J-M, Thouret J-C, **Gurioli L**, Bonadonna C, Japura S (2018) Insight into the CE 1600 Huaynaputina Plinian tephra, combining the re-analysis of observational datasets with recent methods for tephra dispersal modelling. Cities on Volcanoes 10, Naples, 2-7 September
5. Soldati A, Beem JR, Chigna G, Gomez F, **Gurioli L**, Harris AJL, Huntley JW, Rhéty M, Robertson T, Sehlke A, Villeneuve N, Whittington AG (2018) The effect of topography on the rheological and morphological evolution of basaltic lava flows. American Geophysical Union, Fall Meeting 2018, abstract #U11B-16
6. Soldati A., Harris A., **Gurioli L**, Villeneuve N., Rhéty M., Gomez F., Whittington A. Textural, Thermal, and Topographic Constraints on Lava Flow System Structure: the December 2010 Eruption of Piton de La Fournaise presented (poster) at COV10, Naples, IT, 3-7 Sept
7. Thivet S, **Gurioli L**, Di Muro Andrea, Vlastélic I, Bachèlery P, Boudon G (2018) Ash variability reflecting unexpected range and hazardous fragmentation processes on the recent eruptive activity at Piton de la Fournaise (La Réunion Island, France). 426, Cities on Volcanoes 10, Naples, 2-7 September 2018
8. Thivet S, **Gurioli L**, Di Muro A, Derrien A, Ferrazzini V, Peltier A, Gouhier M, Vlastélic I, Galle B, Arellano S, Patrick Bachèlery (2018) From golden pumice to dense scoria and ash emission: tracing the complex degassing and fragmentation history of the Piton de la Fournaise September 2016 basaltic eruption (La Réunion Island, France). Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-12226, 2018 EGU General Assembly 2018.

2017

9. Coppola D, Di Muro A, Peltier A, Villeneuve N, Ferrazzini V, Favalli M, Bachèlery P, **Gurioli L**, Harris A, Moune S, Vlastélic I, Galle B, Arellano S, Aiuppa A (2017) Shallow system rejuvenation and magma discharge trends at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island) Vol. 19, EGU2017-10153, EGU General Assembly 2017, EGU General Assembly 2017
10. Lit C, **Gurioli L**, van Wyk de Vries B, Boivin P, Mailler D (2017) How the Chopine eruption developed- a monogenetic trachytic eruption. 327 IAVCEI 2017, Portland, USA
11. Thivet S, **Gurioli L**, Di Muro A, Boudoire G, Harris AJL (2017) Eruption of a stratified basaltic sill: insights from the June 2014 and July 2015 eruptions of Piton de La Fournaise. 335, IAVCEI 2017, Portland, USA
12. Harris AJL, Mannini S, Thivet S, **Gurioli L**, Villeneuve N (2017) Unexpected rheological regime measured down an active lava channel. 308, IAVCEI 2017, Portland, USA
13. Harris A, Di Muro A, Villeneuve N, Ferrazzini V, Peltier P, Coppola D, Favalli M, Bachèlery P, Froger J-L, **Gurioli L**, Moune S, Vlastelic I, Galle B, Arellano S (2017) Effusive Crises at Piton de la Fournaise 2014-2015: A Multi-National Response Model, Vol. 19, EGU2017-12299, 2017 EGU General Assembly 2017

- Soldati A, Whittington A, Harris AJL, **Gurioli L**, Villeneuve N (2017) Does lava remember its own thermal history? A new experimental approach to investigate sub-liquidus rheology applied to the December 2010 eruption of Piton de La Fournaise (La Réunion). 251, IAVCEI 2017, Portland, USA

2016

- Soldati A, Harris A, **Gurioli L**, Rhéty M, Villeneuve N, Whittington A (2016) Topographic Constraints on Lava Flow Patterns: the December 2010 Eruption of Piton de La Fournaise (La Reunion) 2016 AGU Fall Meeting.
- Saubin E H Tuffen, **L Gurioli**, J Owen, J M Castro, K Berlo, E. M. McGowan, CI Schipper, K Wehb « Conduit dynamics in transitional rhyolitic activity recorded by tuffi-Site vein textures from the 2008-2009 Chaitén eruption » EGU2016-10111, EGU General Assembly 2016.
- Lit C, van Wyk de Vries B, **Gurioli L** «Tectural study of the Puy Chopine trachytic eruption, Chaîne des Puys, France» EGU2016-9498, EGU General Assembly 2016
- Di Muro, A., Arellano, S., Aiuppa, S., Bachelery, P., Boudoire, G., Coppola, D., Ferrazzini, V., Galle, B., Giudice, G., **Gurioli, L.**, Harris, A., Liuzzo, M., Métrich, N., Moune, S., Peltier, A., Villeneuve, N., Vlastelic I. "Eruption and degassing dynamics of the major August 2015 Piton de la Fournaise eruption" EGU2016-5074, EGU General Assembly 2016

2015

- Jordan S, **Gurioli L**, Colombier M, Le Pennec J-L, Roche O "Integration of porosity, connectivity and permeability measurements to determine syn-eruptive degassing processes during a sub-plinian basaltic" Vol. 17, EGU2015-345, EGU General Assembly 2015
- Jordan S, Le Pennec J-L, **Gurioli L**, Roche O "Insights into the sub-plinian eruption of a basaltic monogenetic volcano using different analytical methods" Vol. 17, EGU2015-345, EGU General Assembly 2015
- Gurioli L**, Vlastelic I, Di Muro A, Boudoire G, Moune S, Bachelery P, Villeneuve N "The June 2014 eruption of Piton de la Fournaise: Insights from field, textural and geochemical data" Vol. 17, EGU2015-345, EGU General Assembly 2015

2014

- Bombrun M, Harris A, Barra V, **Gurioli L**, Battaglia J, Ripepe M "Anatomy of a strombolian plume: inferences from particle data ID# 3223 AGU 2014
- N Villeneuve, V Ferrazzini, A Di Muro, A Peltier, F Beauducel, GC Roul, T Lecocq, F Brenguier, I Vlastelic, **L Gurioli**, S Guyard, T Catry, JL Froger, D Coppola, AJL Harris, M Favalli, A Aiuppa, M Liuzzo, G Giudice, P Boissier, C Brunet, P Catherine, FJ Fontaine, L Henriette, F Lauret, A Riviere, P Kowalski "The June 2014 eruption at Piton de la Fournaise: Robust methods developed for monitoring challenging eruptive processes" ID# 11943, AGU 2014
- Jordan S, Le Pennec JL, Roche O, **Gurioli L** "Violent Strombolian to Subplinian Eruption of a Monogenetic Cone Complex, Chaîne Des Puys, France" ID# 8497, AGU 2014
- Gurioli L** (invited) "Linking textures of pyroclastic products to conduit processes and eruption dynamics" MeMoVolc workshop " From Magma Ascent to Ash Generation" Pisa October 25-26-27, 201429 séminaires invites

Thèses (2014-2019)

- Jean-Marie Prival (2017-2020) "*On the emplacement of dense, highly viscous, silicic lava flows.*" (30%, co-encadré par A Harris)
- Simon Thivet (2016-2019) « *Origin of the different eruptive dynamics in a basaltic context: insights from historical and recent activity at Piton de la Fournaise, La Réunion, France* » (60%, co-encadré par A Di Muro, OVPF-IPGP)

Master (2014-2019)

Erasmus stages + stage international

- Elisa Palmerini (06/03/2017-9/07/2017) "Textural analyses of the pyroclastic products of the on-going activity of Piton de La Fournaise, Réunion" ERASMUS+, LMV-Pisa University
- Laura Calabro (3/9/2016-2/12/2016) "Textural analyses of the pyroclastic products of the on-going activity of Piton de La Fournaise, Réunion" ERASMUS+, LMV-Pisa University

Master 2

- Jean Carlier (2018-2019, LMV-UCA) Degassing history and comparison of explosive basaltic events: insights from historical Piton de la Fournaise (La Réunion, France) and recent Karthala (Comoros) paroxysms.

2. Jonas Biren LMV-UCA (2017) 2014 Thermal and chemical interaction between tree and lava, a case study from Pahoehoe-Hawaii. (co-supervised by A. Harris and Hugh Tuffen, LMV-UCA)
3. Alexian Ajas (2017) LMV-UCA « Avancée d'une coulée de lave basaltique à travers une forêt, le cas de Juillet 1974, Mauna Ulu, Hawaii » (co-supervised by A. Harris, LMV-UCA)
4. Lormand Charline (2016) « Un modèle basé sur des données pour l'éruption de 1974 à basse altitude du Mont Etna : une analyse texturale, morphologique et rhéologique. » (co-supervised by A. Harris, 60%)
5. Catherine Lit (2016) Stage de recherche niveau Master 2 « Tectural study of the Puy Chopine trachytic eruption, Chaîne des Puys, France » Stage de recherche niveau Master 2 France (co-supervisor B van Wyk de Vries, LMV)
6. Simon Thivet (2016), LMV-UBP « Caractérisation magmatique du système superficiel du Piton de la Fournaise à travers l'étude des produits de l'éruption de Juillet 2015 »
7. Maeva Rhety (2015), LMV-UBP "The transition between channelized and dispersed 'a'a flow: role of cooling, crystallisation and rheology." (co-supervised by A. Harris and E Menand LMV-UBP)

Master 1 supervisor

1. Lucas Corna (2017) What drives the high explosivity of the La Vache et Lassolas subplinian phase: Insights from the textural analyses of the erupted scoria. (LMV-UCA)
2. Morgane Rondet (2014), LMV-UBP "Caractérisation de l'événement historique magmatique plus énergétique du Piton de la Fournaise (dépot Chisny 1628-1447 AD)"
3. Stéphane Dibacto Kamwa (2014), LMV-UBP "Caractérisation de l'événement phreatomagmatique historique plus énergétique au Piton de la Fournaise (dépot 1860 AD)"
4. Maeva Rhety (2014), LMV-UBP "Down-channel cooling and crystallization of lava during a short-lived eruption" (co-supervised by A. Harris LMV-UBP)
5. Elodie Saubin (2014), LMV-UBP "Lava emplacement dynamics on steep slopes." (co-supervised by A. Harris and F. Nouret, LMV-UBP)

Production scientifique des utilisateurs (publications de rang A, conférences, thèses)

2019

1. Gailler L, Kauahikaua J, Lénat J-F, Revil A, Gresse M, Ahmed A S, Cluzel N, Manthilake G, **Gurioli L**, Finizola A, Delcher E "3D imaging of an active lava lake with electrical resistivity measurements" in review *JVGR*

2018

2. Klein J, Mueller SP, Helo C, Schweitzer S, **Gurioli L**, Castro JM (2018) An expanded model and application of the combined effect of crystal-size distribution and crystal shape on the relative viscosity of magmas. *Journal of Volcanology Geothermal Research*, 357, 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.018>.

2017

3. Polacci M., de' Michieli Vitturi M., Arzilli F., Burton M.R., Caricchi L., Carr B., Cerminara M., Cimarelli C., Clarke A.B., Colucci S., Costa A., Degruyter W., Druitt T., Engwell S., Giordano D., **Gurioli L**, Haddadi B., Kendrick J., Kueppers U., Lamur A., La Spina G., Lavalley Y., Llewellyn E., Mader H.M., Metrich N., Montagna C., Neri A., Rivalta E., Saccorotti G., Sigmundsson F., Spina L., Taddeucci J., (2017) "From magma ascent to ash generation: investigating volcanic conduit processes by integrating experiments, numerical modelling and observations." *Annals of Geophysics* 60: 6, DOI: 10.4401/ag-7449

2015

4. Doronzo DM, Khalaf E; Dellino P; de Tullio M; Dioguardi F; **Gurioli L**; Mele D; Pascazio G; Sulpizio R (2015) "Local impact of dust storms around a suburban building in arid and semi-arid regions: Numerical simulation examples from Dubai and Riyadh, Arabian Peninsula." *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9) DOI:10.1007/s12517-014-1730
5. Zanello E, Sulpizio R, **Gurioli L**, Lanza R (2015) "Temperatures of the pyroclastic density currents deposits emplaced in the last 22 kyr at Somma-Vesuvius (Italy)" *Geological Society Special Publications*, Ort, M.H., Porreca M. & Geissman, J. W. (eds) 2015. "The Use of Palaeomagnetism and Rock Magnetism to Understand Volcanic Processes" *Geological Society, London, Special Publications*, 396:13–33

2014

6. Sehlke A, Whittington AG; Robert B; Harris A; **Gurioli L**; Médard E (2014) "Pahoehoe to 'a'a transition of Hawaiian lavas: an experimental study" *Bulletin of Volcanology*, 76:876. DOI 10.1007/s00445-014-0876-9

7. Shea T, Hellebrand E, **Gurioli L**, Hugh T (2014) "Conduit- to localized-scale degassing during Plinian eruptions: Insights from major element and volatile (Cl and H₂O) analysis within Vesuvius AD79 pumice." *Journal of Petrology* 55(2):315-344, DOI:doi:10.1093/petrology/egt069

Conférence 2014-2019

2019

1. Danielsen, J M., Portner, R A., Johnson, B., Clague, D A., **Gurioli, L.**, Tan, A., 2019, Phreatomagmatic ash from deep-marine caldera eruptions on Axial Seamount, Juan de Fuca Ridge: Geologic Society of America - Cordilleran Section Abstract no. 39 - 13, doi: 10.1130/abs/2019CD-329631
2. Myers ML, Druitt TH, **Gurioli L**, Schiavi F, Flaherty T (2019) Evolution of mass discharge and decompression rates during the Plinian phase of the Bronze-Age eruption of Santorini. Geophysical Research Abstracts EGU2019-2821 EGU General Assembly, Vienna 2019.

2018

3. Danielsen J, Portner R, Clague DA, **Gurioli L**, Tan A (2018) Sedimentary Lithofacies Associated with Magma-Water Interaction and Caldera Formation on Axial Seamount, Juan de Fuca Ridge. American Geophysical Union, Fall Meeting 2018, abstract #V51F-0159
4. Myers M L, Druitt TH, **Gurioli L**, Schiavi F, Flaherty T (2018) Evolution of mass discharge and decompression rates during the Plinian phase of the Bronze-Age eruption of Santorini. American Geophysical Union, Fall Meeting 2018, abstract #V44A-04

2017

5. Delcamp A, Mattsson H, **Gurioli L**, Bircher C, Sakoma E, Steyaert L, Belkous H, Kervyn, M (2017) Towards an understanding of the North Tanzanian maar crater formation from a cross-disciplinary perspective. 328, IAVCEI 2017, Portland, USA
6. **Tadini A**, Neri A, Cioni R, Bevilacqua A, Esposti Ongaro T, Gurioli L (2017) From field data to numerical models: application of the Box-Model to infer the dynamics of PDC generated during the AD 79 eruption of Somma-Vesuvio. , Vol. 19, EGU2017-13827. EGU General Assembly 2017

2016

7. Whittington A, Soldati A, Sehlke A, Robert B, Médard E, Harris A, **Gurioli L**, Chigna G "Lava flow morphology as a proxy for lava flow rheology: mapping rheological transitions in basaltic lava flows" workshop on Volcano Geology in Sicily, July, 2016
8. Colombier M, Scheu B, Wadsworth F, Vasseur J, **Gurioli L**, Di Muro A, Kueppers U, Dingwell DB «The evolution of pore connectivity in magma: Insights on eruptive process.» EGU2016-3864, General Assembly

Erasmus stages + stage international

1. Marta Borgioli (01/02-31/04/2019) "Textural characterization of the rhyolitic lava of San Pietro" Stage de recherche ERASMUS, niveau Master 2, LMV-Université de Florence
2. Alberto Caracciolo (1/03/-31/05/2016) «Textural and chemical characterization of a major Strombolian bomb field» Stage de recherche ERASMUS, niveau Master 2, LMV-Pisa university
3. Djenan Ratkovic, Université Libre de Bruxelles, stage de 1 mois au LMV en septembre 2016 «Granulométrie, composants et porosité des dépôts pyroclastique de l'éruption de 1754 du volcan Taal, île de Luzon, Philippines » (100%)

Master 2

4. Lea Grenet (2018-2019, LMV-UCA) Insight into the conduit dynamics of the AD1600 Huaynaputina Plinian eruption (Peru) through textural and petrological studies of the pumice lapilli and ash juvenile fragments.
5. Jean-Marie Privall LMV-UCA (2017) "Caractéristiques physiques et lithologiques des téphras pliniens de l'éruption du Huaynaputina (Pérou) en 1600". (co-supervised by JC Thouret, LMV-UCA)
6. Alberto Caracciolo (1/06/-16/12/2016) Pisa University «Caratterizzazione del condotto superficiale di Stromboli attraverso lo studio tessiturale e geochimico dei prodotti dell'eruzione maggiore del 21 gennaio 2010» correlatrice (50%) tesi magistrale (relatrice Prof. P Marianelli) Dipartimento Scienze della Terra,-Pisa university.
7. Elodie Saubin (2015), LMV-UBP « Étude texturale des veines de tuffi-Site éjectées lors de l'éruption du Chaitén de 2008, Chili. Aperçu sur les processus de dégazage et la transition explosif/effusif » (co-encadrant : H Tuffen, Lancaster University)

8. Josep M. Cabré Brullas (2014-2015), University of Clermont-Ferrand, INVOGE student (co-supervised by Bill Rose University of Michigan) "Are the fossil bubbles trapped in ash, lapilli and bombs capable of providing the same fragmentation imprinting? Answers from Fuego and Piton de La Fournaise"

Master 1

9. Alexian Ajas (2016) LMV-UBP « Analyse texturale des laves silicique de San Pietro (Italie) » (co-supervised by A. Harris LMV-UBP)

| |
|---|
| Nom du service : ThermaVolc (SNOV TS ANO-1) Adresse URL du site web du service : N/A |
|---|

Résumé du service:

ThermaVolc est un système d’observation des volcans actifs qui consiste en des mesures de température et le calcul des flux de chaleur. Le but est de fournir des séries temporels en temps quasi-réel, ou par des campagnes de mesure régulières de la température et des flux (débit de masse et/ou flux de chaleur) des fumerolles et des zones géothermalisés.

Pour l’instant, le cible principal est la Soufrière de Guadeloupe et le travail s’effectue en très fort collaboration avec l’OVSG-IPGP. Des installations et des campagnes de mesure sur d’autres sites français et européen, tels que Piton de la Fournaise, Vulcano, pourraient être ciblés dans l’avenir.

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

David Jessop, Physicien-Adjoint

d.jessop@opgc.fr

laboratoire : LMV – UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC – UMS 833

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Les flux thermiques sont l’un des principaux moyennes de surveiller d’activité volcanique puisque l’énergie transporté pas la remontée des fluides magmatiques vers la surface est de loin de plus grand composant du budget énergétique pou un volcan. De plus, les instruments utilisés, en particulier la caméra thermique, est parfaitement adapté à la visualisation de l’étendu spatiale des anomalies et à très haut résolution spatiale, chose qui n’est pas possible par d’autres méthodes.

Mission d’observation : tableau

| Grandeurs mesurées | Fréquence | Périodes | Continu ou épisode crise | Objectif scientifique | Capteurs(sol, satellite, drone, ballon...) |
|--|-----------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|---|
| Températures fumerolles + sol | 1 Hz | 2018-04 onwards | Continu | Caractérisation des flux thermiques | Sol |
| Vitesse de sortie des fumerolles | 1/mois | 2017-10 onwards | Continu | Caractérisation des flux thermiques | Sol |
| Distribution spatiale des températures sol | 1-2/mois | 2017-10 onwards | Continu | Caractérisation des flux thermiques | Sol |

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

ThermaVolc propose des informations complémentaires aux SNO Gazvolc, Dynvolc, VOLDORAD et HOTVOLC, tout en étant en adéquation avec les travaux lancés dans EPOS et EUROVOLC.

Développements prévus du SNO

- Imagerie thermique aéroportée drone.
- Imagerie visible aéroportée des zones hydrothermalisés.
- Mise à disposition des données dans un format harmonisé avec les autres services de EPOS et EUROVOLC.

- Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

OUI, ASTER (NASA) L1B imagerie, bandes 10-14 (TIR)

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) :

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

NON

Le service proposé relève-t-il

- d'autres instituts du CNRS : l'IPGP

Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) :

Si oui, préciser le/les quel(s)

NON

Protocoles de mesure

Les mesures se font par des capteurs in-situ, tels que des thermomètres à résistance (PT100/PT1000), et aussi par l'imagerie thermique terrestre (et éventuellement aériens) prise par une caméra thermique. Ces images permettent de voir l'étendue spatiale des températures et, puisqu'elles sont géoréférencées de suivre l'évolution spatiale et temporelle de ces températures. Les protocoles de mesure pour l'imagerie seront prochainement publiés dans une revue de rang A.

Archivage des données et leur mise à disposition

La base de données des séries temporelles longues est actuellement intégrée sur Webobs (OVSG), puis sera intégrée sur Volobsis (base IPGP).

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|
| JESSOP David | UCA-OPGC-LMV phys-adj | Responsable scientifique | 4 |
| BONTEMPS Martial | CNRS-OPGC, AI | IR thermique - technique | 1 |
| HARRIS Andrew | UCA-LMV, Pr | IR thermique - scientifique | 1 |
| KELFOUN Karim | UCA-LMV, MCF | IR thermique - scientifique | 0.5 |
| GUEHENNEUX Yannick | UCA-OPGC, IE | BDD | 0.5 |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

Diffusion de connaissances (avec données) aux Fêtes de La Sciences et journées du patrimoine. Relation étroite avec La Préfecture et la DEAL (Guadeloupe) pour simulation du Plan Volcan avec transmission de données (simulation de crise éruption), pour informations et aides aux décisions institutionnelles (p.e. fermeture du sommet de La Soufrière).

Budget

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles à prévoir | | |
|------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | type |
| CNRS-INSU | 1,5 | SNOV-OPGC (chaque année) | CNRS-INSU | 5 | AI-OPGC 2017 |
| TOTAL | 1.5 | | TOTAL | 5 | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

Production scientifique des acteurs (publications de rang A, conférences, thèses)

Conférences

Jessop, D. E., S. Manini, A. J. L. Harris and M. Ramsey, « Partitioning of Heat Loss Modes, Vulcano 2000-2017: a Temporal and Spatial Multi-Scale Approach Using Ground-Based and ASTER Satellite Thermal Surveys », IUGG, Montréal, 2019

Geffray, M-C., D. E. Jessop, G. Carazzo and T. Aubry « Inverting thermal images to reveal steam and enthalpy fluxes at La Soufrière, Guadeloupe (FWI) », IUGG, Montréal, 2019

Moretti, R., D. E. Jessop et al., « The 2018 Unrest phase at La Soufrière of Guadeloupe (FWI) Andesitic Volcano: Scrutiny of a Failed but Prodromal Phreatic Eruption », IUGG, Montréal, 2019

Nom du service : STEREVOLC (VELI TS ANO-6)

Adresse URL du site web du service :

http://www.obs.univbpclermont.fr/SO/televolc/stereovolc/data/domerapi/2019_03/2019_mar.html

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

Karim Kelfoun

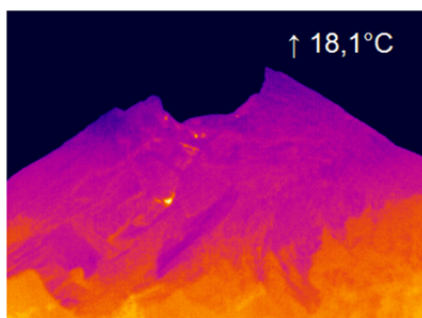
MCF

k.kelfoun@opgc.fr

Laboratoire : LMV – UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC – UMS 833

Contexte, motivations et objectifs scientifiques



ES-Merapi) d'Observation continue et temps-réel.

Mission d'observation : tableau

Description exhaustive du service en termes de sites et de grandeurs géophysiques, biogéochimiques ou biologiques (dans le périmètre défini par la prospective OA) et de la durée des séries préexistantes à la demande de labellisation. Justification des sites/paramètres par rapport aux objectifs. Préciser si le SNO a vocation à conduire des activités d'enseignement et de formation. Privilégier une présentation concise (tableau, carte).

Site : volcan Merapi, Indonésie.

Intérêt : croissances régulières de dôme de lave à son sommet (tous les 4 ans en moyenne) et destructions sous forme d'écoulements pyroclastiques.

L'observation a lieu via 4 stations d'observation, 2 sur les flancs (Kalor et Suki), 2 au sommet (Somerapi1 et Somerapi2).

Tableau 1 : stations, localisations et dates d'installation

| | | | | | |
|-----------|-----------------------|----------|-----------|------|------------|
| SUKI | "Pak Sukiman (Deles)" | 7.57627 | 110.46905 | 1180 | 2014-08-25 |
| KALOR | "Kalitengah Lor" | -7.57697 | 110.45477 | 1195 | 2014-08-25 |
| SOMERAPI1 | "Puncak Merapi" | -7.54018 | 110.44744 | 2900 | 2016-05-12 |
| SOMERAPI2 | "Puncak Merapi" | -7.54062 | 110.44764 | 2900 | 2016-05-12 |

Données observées :

- images visibles haute résolution
- images thermique (Somerapi1, Suki)
- film webcam

Les données sont acquises en continu depuis l'installation des stations (sauf périodes de pannes).

Les données sont partagées avec l'observatoire indonésien du Merapi (BPPTKG). Elles servent à évaluer les menaces éruptives, sont incluses dans les rapports d'activité éruptives et sont utilisées pour protéger les populations.

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

- dispositif intégré dans VELI-Site instrumenté (ST-ANO-6)
- Données disponibles dans les observatoires indonésiens

Protocoles de mesure

- Images thermiques prises en continu toutes les 3 minutes. Format CSV, précision au dixième de degrés.
- photographie numérique prises à heures fixes. Les horaires de prises de vue dépendent des conditions météorologiques, des besoins d'observation et de l'activité éruptive. La fréquence minimum est de 6 photographies par jours. Elle peut aller jusqu'à plusieurs milliers si besoin.

Archivage des données et leur mise à disposition

Données mise en ligne à l'OPGC :

http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/stereovolc/data/domerapi/2019_03/2019_mar.html

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du service et de **ses ressources instrumentales et humaines**. Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission du SNO (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique).

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|------------------|--------------------------------|--------------------|--------------|
| KELFOUN Karim | MCF, UCA | resp. Scientifique | 1 |
| Latchimy Thierry | IE, CNRS | dév. électronique | 2 |
| Bontemps Martial | Tech., UCA | dév. technique | 2 |

Gouvernance

Système d'observation rattaché au site instrumenté VELI. Données transmises en temps réel à l'observatoire de Yogyakarta pour la surveillance de l'activité du Merapi.

| |
|---|
| Type de service : Instrument Nom du service : VOLDORAD - (SNOV TS ANO-1) Adresse URL du site web du service : http://voldorad.opgc.fr/ |
|---|

Résumé du service:

VOLDORAD (VOLcano DOppler RADars) est une **plateforme instrumentale unique au monde** comprenant **quatre radars Doppler volcanologiques développés spécifiquement pour l'étude de l'activité volcanique explosive**. **Transportables**, ils permettent de mesurer les réflectivités et vitesses des téphras à proximité immédiate de la source. La complémentarité des fréquences (UHF et ondes millimétriques) donne directement accès à la dynamique interne des jets volcaniques comme des panaches de cendres, avec une résolution spatio-temporelle inégalée, mais aussi à des paramètres éruptifs essentiels pour l'initialisation des modèles de dispersion (débit, vitesses d'éjection, masse totale de téphras, hauteur, épaisseur). Des **observations pérennes** sont menées au Popocatépetl (Mexique) et à l'Etna en Sicile (>50 paroxysmes depuis 2009) où elles sont utilisées par nos partenaires pour la surveillance par tout temps en temps réel et les alertes automatisées. Notre base de données fournit les séries temporelles en libre accès via les portails VOLDORAD de l'OPGC et de EPOS. Les observations d'une dizaine de campagnes volcanologiques y sont aussi progressivement intégrées.

Le protocole d'acquisition et les mesures radars sont transposables à d'autres volcans, ce qui rend ces instruments projetables et **opérationnels en cas de crise** d'un volcan français (Antilles notamment) ou d'un volcan étranger dont les cendres affectent le territoire français (Islande, Italie, Antilles anglophones).

Nom du responsable : DONNADIEU Franck, Physicien adjoint (HDR) ; F.Donnadieu@opgc.fr

Laboratoire : Lab. Magmas et Volcans UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC

Autres organismes associés :

| Organisme | Equipe associée | Non responsable | Nature de l'implication et/ou exploitation scientifique |
|-----------------------------|-------------------------|--|--|
| INGV | INGV-OE monitoring team | M. Coltelli (instrument) S. Scollo (monitoring) | Acquisition/sauvegarde des données de VOLDORAD-2B à l'Etna (Italie) Exploitation opérationnelle pour la surveillance volcanologique |
| Univ. Rome1 | DIET | F. Marzano | Exploitation scientifique des données de VOLDORAD-2B pour l'estimation du terme source des panaches volcaniques de l'Etna |
| Protection Civile italienne | DPC | G. Vulpiani | Exploitation opérationnelle et scientifique des données (VOLDORAD-2B) |
| CENAPRED | Instrumentation | P. Alonso | Acquisition des données de VOLDORAD-1 au Popocatépetl (Mexique) exploitation des données pour la surveillance volcanologique |
| Univ. Versailles St Quentin | LATMOS | J. Delanoë | Développements HF et logiciels Exploitation scientifique des données de campagnes de mesures atmosphériques (VOLDORAD-3) |
| UCA | LaMP | K. Sellegri | Exploitation scientifique des données de campagnes de mesures atmosphériques (VOLDORAD-3) |

Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer le nom, et donner en deux lignes maximum, la nature de l'implication dans le service, hors exploitation scientifique) :

| Laboratoire | Equipe associée | Non responsable | Nature de l'implication et/ou exploitation scientifique |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|---|
| OVSQ - Univ. Versailles St Quentin | LATMOS | J. Delanoë | Développements HF et logiciels Exploitation scientifique des données de campagnes de mesures atmosphériques (VOLDORAD-3) |

Lien avec une IR ou TGIR (oui/non/prévu) : OUI

VOLDORAD est intégré au Service National d'Observation en Volcanologie (**SNO-V**) et au sein de la Plateforme Européenne d'Observations de la Terre **EPOS** (WP11-DDSS-017).

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial :

Non, pas actuellement, mais le service pourrait contribuer à la validation sol des observables volcanologiques (cendres) par imagerie satellitaire (e.g. MSG SEVIRI du S.O. HOTVOLC, lidar CALIPSO, autres capteurs sur satellites).

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) : non

Le service proposé relève-t-il

- **d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?** oui
OA avec l'implication du radar scannant à ondes millimétriques (VOLDORAD-3) dans des campagnes de mesures atmosphériques (e.g. EXAEDRE 2018)
- **d'autres instituts du CNRS (oui/non) ?** non
potentiellement INEE, avec l'implication de VOLDORAD-3 dans des campagnes à l'interface entre l'atmosphère et le vivant (SEA2CLOUD2020)

Lien avec un pôle ou un centre de données : oui

prévu : FORM@TER

potentiellement AERIS pour les mesures atmosphériques (VOLDORAD-3)

Si non, préciser les raisons : les mesures volcanologiques du SNO-V sont en cours d'intégration dans FORM@TER

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Les processus scientifiques étudiés devront être décrits, ainsi que les progrès apportés par l'activité de l'IN.

L'activité volcanique constitue une menace pour les populations, les infrastructures, les services et l'économie (e.g. Eyjafjallajökull 2010). Bien que l'on prévienne généralement à anticiper les éruptions (e.g. sismicité), leur magnitude et leur durée restent très difficiles à prévoir. Par conséquent la surveillance de l'activité de surface et la quantification des paramètres éruptifs à la source ('terme source') en temps-réel représentent un enjeu majeur pour estimer et s'adapter à la menace lors d'une éruption.

Les radars répondent à ce double objectif en mesurant à la source des éruptions explosives des paramètres de vitesse et de puissance des échos des éjectas. L'unicité de nos radars transportables spécifiquement développés pour les applications volcanologiques et le savoir-faire acquis depuis 20 ans nous permet désormais de **quantifier les principaux paramètres éruptifs nécessaires à l'initialisation des modèles prévisionnistes de dispersion des cendres** : vitesses d'éjection, débit, masse totale de téphras, concentrations, voire hauteur et épaisseur du panache (e.g. Donnadiou et al., 2005, 2016a ; Freret-Lorgeril et al., 2018). En outre, la haute résolution spatio-temporelle s'avère particulièrement adaptée à l'étude des **processus dynamiques interne des jets/panaches** en surface (e.g. périodicités, transition, variations), à la mise en relation avec les processus de dégazage dans le conduit (Donnadiou, 2012, 2016b). L'expérience d'une dizaine de de campagnes instrumentales sur six volcans confère à notre service, et

donc au SNOV, une capacité de déploiement opérationnel en cas de crise volcanique sur le territoire français.

Les radars Doppler volcanologiques s'avèrent être de puissants outils à la fois pour la surveillance opérationnelle de l'activité explosive et pour l'investigation des processus éruptifs. Leurs spécificités et principaux avantages sont :

- longueurs d'onde adaptées aux objets étudiés, indépendamment des conditions météorologiques → imager l'intérieur de jets et panaches, grâce à des
- design compact transportable → déploiement opérationnel sur le terrain lors d'une crise
- paramètres mesurés directement liés aux paramètres éruptifs → quantifier le terme source (MER, TEM, vitesses, durée, hauteur et épaisseur du nuage) pour les modèles de dispersion
- haute résolution spatio-temporelle adaptée à l'étude de processus rapides à différentes échelles temporelles (e.g. périodicités, transition)
- conception et développement intégral → maîtrise de l'ensemble de la chaîne d'acquisition-traitement des données, évolutivité

Justifier la nécessité des observations (observables, sites) sur la durée de la labellisation (5 ans) ou plus.

L'étude scientifique des processus volcaniques, par essence transitoires, nécessite des observations dans des configurations identiques sur de longues durées. En retour, la meilleure compréhension des phénomènes et leur quantification bénéficient en retour à la surveillance qui conduit à une meilleure estimation des menaces et à mitigation des risques associés qui constituent l'enjeu sociétal.

Un exemple concret est la méthodologie radar développée à partir d'une quarantaine de paroxysmes de l'Etna enregistrés avec VOLDORAD-2B permettant d'obtenir les débits éruptifs (Freret-Lorgeril et al., 2018 ; programme européen MED-SUV). Cette méthode sera implémentée en temps réel au centre de surveillance opérationnelle de l'INGV-OE courant 2019 dans le cadre d'EUROVOLC.

Un second exemple concerne la sédimentation des panaches de cendres dont les lois de vitesse de chute et les processus dynamiques peuvent être paramétrés (Freret-Lorgeril et al., JVGR 2019a et soumis EPSL) puis implémentés dans les modèles de dispersion pour une prévision affinée de l'impact des cendres.

Mission d'observation/d'expérimentation

Description exhaustive du service en termes de grandeurs géophysiques et de la durée des séries préexistantes à la demande de labellisation.

| Grandeurs mesurées | campagnes | Type d'expérimentation | Effectuée/prévues | Objectif scientifique |
|---|---|--|-------------------|---|
| Réflectivités et vitesses internes des jets/panaches volcaniques | 10 campagnes | 15-300 jours | effectuées | quantifier les paramètres éruptifs à la source et les processus dynamiques à une échelle fine pour améliorer les modèles |
| | 2 sites d'observations longues (plusieurs années) | Participation à la surveillance volcanologique | En cours | (i) Opérationnel pour les partenaires en charge de la surveillance ; (ii) acquisition de séries temporelles longues pour caractériser les processus volcaniques et leur variabilité |
| Réflectivités et vitesses internes des nuages atmosphériques | EXAEDRE (Corse) | Campagne ANR multi-méthode | effectuée | Caractérisation des couches nuageuses lors des orages |
| | SEA2CLOUD | Campagne ERC | Prévue mars 2020 | Caractérisation de la formation des nuages en lien avec les microorganismes et aérosols marins |

Justification du choix du type d'IN (**communautaire –INC-** ou **d'excellence - INE**) par rapport aux objectifs scientifiques.

La quantification du terme source des panaches volcaniques, essentielle pour prévoir correctement l'impact des cendres et diminuer les risques, et la caractérisation spatio-temporelle fine des processus

dynamiques, nécessaire à l'amélioration des modèles, ne peuvent être approchées que par des mesures de télédétection à proximité de la source. La **spécificité des instruments pour les environnements volcaniques** (développés en interne, de longueurs d'onde adaptées aux différentes tailles de téphras, avec un design compact durci), leur **transportabilité à proximité de la source** et leur **très haute résolution spatio-temporelle** permettent de répondre à ces objectifs, à la fois sur le plan scientifique et sur le plan opérationnel. Les **protocoles d'acquisition sont transposables**. L'acquisition de séries longues (2 sites) de mesures comparables est inestimable pour la compréhension et le paramétrage des processus volcaniques transitoires.

L'unicité de nos radars Doppler transportables, spécifiquement développés pour les applications volcanologiques, la visibilité des bases de données et des applications opérationnelles à fort enjeu sociétal au travers les grands programmes européens, et l'expertise Clermontoise reconnues internationalement en volcanologie radar confèrent au service tous les atouts pour devenir Instrument National d'Excellence.

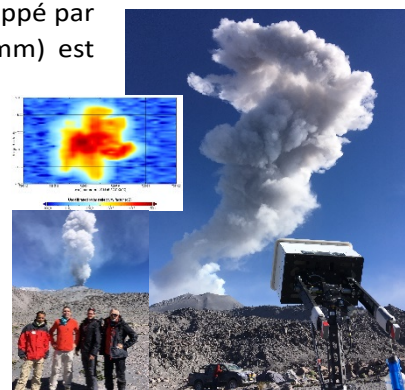
Description de l'équipement disponible (caractérisation, spécificité) et justification vis-à-vis de l'état de l'art pour les thématiques considérées ainsi que du panorama des instruments comparables à l'échelle mondiale.

- **3 Radars UHF (VOLDORAD-1, 2 et 2B)** intégralement développés par l'OPGC (**uniques au monde**) compacts, robustes (tropicalisés, montés sur châssis suspendus), de faible consommation, associés à un système orientable de 4 antennes Yagi couplées démontables assurant une faible prise au vent. Longueur d'onde 23.5 cm **adaptée aux lapilli et bombes** volcaniques (cm – m). Le développement intégral par l'OPGC, matériel et logiciel, les rend **évolutifs selon les besoins**, et de maintenance facile. VOLDORAD-2B (similaire à VOLDORAD-2 utilisé pour les campagnes) a été conçu dans le cadre d'un contrat de partenariat avec l'INGV-OE et est intégré au système de surveillance temps-réel de l'Etna depuis 2009. Ses données ont conduit à plusieurs publications majeures et sont au cœur de la plateforme européenne d'observation de la Terre EPOS et de programmes de recherche nationaux et européens (TER-MEX, FP7 MED-SUV, EUROVOLC). Le prototype radar VOLDORAD-1 contribue à la surveillance du volcan Popocatépetl depuis 2013, en collaboration avec le CENAPRED mexicain.

Capacité **Doppler, information spectrale** (densité de puissance pour chaque classe de vitesse). L'acquisition/traitement adapté aux vitesses d'éjection extrêmes (plusieurs centaines de m/s).



- 1 radar Doppler scannant en 3-D à ondes millimétriques : développé par le LATMOS et l'OPGC (convention), sa longueur d'onde (3.2 mm) est parfaitement adaptée à la détection des cendres (quelques dizaines de microns à mm) et sa résolution inégalée (12 m, 0.25 s) permet d'accéder à des niveaux de détails sans précédent dans la dynamique interne des panaches volcaniques (colonne, panache, nuage distal, sédimentation). L'échelle d'observation extrêmement fine permet désormais des comparaisons directes avec des modèles analogues en dynamique des fluides et des modèles numériques (entraînement, turbulence, couplage gaz-particules).
- Un lidars Parsivel2 OTT mesurant par laser les tailles et vitesses de chute des cendres volcaniques.



Aucun des radars commerciaux, par ailleurs beaucoup plus onéreux et encombrants, ne reproduisent l'ensemble des performances de nos instruments listées ci-dessus.

Préciser si l'IN a vocation à conduire des activités d'enseignement et de formation. Privilégier une présentation concise (tableau, carte).

- **Formation par la recherche** utilisant les données des instruments VOLDORAD: déjà **3 thèses soutenues, 1 thèse en cours, 33 projets de recherche d'étudiants de 8 instituts différents** (8 en Master 2 Recherche et 25 en Licence-Master 1 ou Ecole d'Ingénieur) et, pour partie, un post-doctorat. Les étudiants sont non seulement formés au traitement des données mais aussi la mise en œuvre pratique des instruments lors de campagnes de terrain, en bénéficiant du cadre collaboratif international riche du service.
- Formation des professeurs : participation à la formation des professeurs (Maison pour la Science en Auvergne) aux techniques modernes de surveillance des volcans (2013-2014) ; vocation à participer aux journées portes ouvertes, etc.

Ouverture et Insertion de l'IN, lien avec les IR/TGIR

Pour les INE, décrire la capacité à opérer l'instrument sur la durée en termes de ressources instrumentales (maintenance, fonctionnement, jouvence, etc...) et à valoriser les données (ressources humaines).

Cf. tableau ressources humaines

Pour un INE mobile :

- capacités techniques de projection, les coûts associés à la mise en œuvre de l'INE (fonctionnement, transport, etc.) :

Intégration, mise en caisse et transport du matériel en quelques jours ; VOLDORAD-2 et 3 peuvent être déployés rapidement (1h) sur le terrain, idéalement par deux personnels. Coût transport selon destination : quelques K€.

- type de plateforme sur lequel l'INE peut être embarqué : véhicule 4*4, avion/hélicoptère/bateau (e.g. Voldorad-3), transportable à dos d'homme sur une petite distance

Insertion de l'IN dans le dispositif de recherche français (régional, national), insertion européenne et internationale, appartenance à un réseau européen ou international d'observation (*lettres de soutien à fournir en annexe*). Le rattachement à une voire plusieurs IR/TGIR de référence, existantes ou en construction, est fortement encouragé, y compris pour les nouveaux services en demande de labellisation (*lettres des porteurs d'IR/TGIR existantes ou en construction à fournir en annexe au dossier*). Le cas échéant, décrire en quoi l'IN est stratégique pour le spatial ou le polaire (*remplir également les annexes C et/ou D*).

SNO-Volcanologie

Intégration des observations longues dans EPOS (VOLDORAD-2B),

Probablement aussi FORM@TER à terme

Protocoles de mesure

Description rigoureuse des protocoles de mesures conduisant à des précisions à même de répondre aux questionnements scientifiques (y compris les stratégies d'échantillonnage dans l'espace et le temps).

Radars UHF :

- Visée fixe dans un faisceau de 9°, pointé vers le haut ou vers le bas en direction de la source d'émission des téphras volcaniques, avec une résolution dans l'axe du faisceau entre 60 et 220m, adaptée en fonction de la distance à la cible pour éviter des volumes sondés trop étirés difficilement interprétables
- acquisition de toute l'information spectrale dans chaque porte : spectres Doppler représentant la densité spectrale de puissance des échos pour les différentes classes de vitesses. La cadence d'acquisition (jusqu'à 20Hz), ainsi que les vitesses radiales maximales (réglables jusqu'à > 500 m/s avec des sommations cohérentes) et la résolution en vitesse sont adaptées pour caractériser la cinétique extrêmement violente à l'événement (plusieurs centaines de m/s) avec une géométrie constante. Les vitesses verticales d'éjection ou les vitesses de chutes sont déduites de la géométrie (angle de site connu).
- La longueur d'onde, la sensibilité du radar et la grande dynamique en réception confèrent une bonne détection des blocs et lapilli (tailles : cm – m) à proximité de l'événement, sans saturation.
- Un moyennage cohérent réglable dans le domaine temporel durant l'acquisition permet d'ajuster les vitesses maximales non ambiguës en fonction de la violence de l'activité, afin d'éviter un repliement en vitesse.
- Un traitement fréquentiel des spectres avec un nombre limité de sommations incohérentes permet de lisser les données et faciliter l'extraction de paramètres spectraux liés aux paramètres éruptifs, tout en préservant les pics de vitesses.

Radar à ondes millimétriques

- La longueur d'onde de 3.2 mm est très bien adaptée aux cendres volcaniques (< 2mm). VOLDORAD-3 est donc utilisé pour caractériser la fraction cendreuse des panaches (2 campagnes à Stromboli et Sabancaya).
- Les réflectivités et vitesses sont mesurées dans de nombreux volumes de profondeur réglable (12,5 ; 25, 100 m) à l'intérieur d'un faisceau scannant de 0.8° qui permet de réaliser des profils, éventuellement en 3-D s'ils sont juxtaposés. Les modes d'acquisition, qui peuvent alterner, permettent de jouer sur la résolution spatiale ou la sensibilité.
- Les vitesses radiales maximale non ambiguës sont pour l'instant de 10 (12.5 m) ou 5 m/s (25 et 100m) selon le mode. A l'heure actuelle, une seule valeur est mesurée par porte. A terme, nous prévoyons d'implémenter toute l'information spectrale, au moins pour quelques portes à distance de l'objet.
- La résolution temporelle autour de 1 s peut être augmentée (6 s) pour augmenter la sensibilité (détection) mais surtout être abaissée jusqu'à 0.25 s pour scanner de petits panaches (e.g. section dans une colonne).
- La réflectivité est étalonnée (vs autre radar, cibles) ; les mesures sont comparables quelle que soit la configuration géométrique d'acquisition.

Description des procédures de contrôle qualité et leur spécificité vis-à-vis de celles utilisées dans les réseaux internationaux ou les IR/TGIR de référence.

L'acquisition étant propre aux instruments spécifiques, il n'y a pas de normes standard de qualité. Un contrôle est effectué régulièrement sur la puissance émise par le radar. Le radar VOLDORAD-3 est étalonné après chaque modification avec un radar mini-basta du LATMOS. Les radars UHF sont étalonnés avec un générateur de fréquence à chaque maintenance.

Un contrôle qualité 'manuel' est aussi effectué sur les données a posteriori lors du traitement de signaux éruptifs (bruit de fond).

Archivage des données et leur mise à disposition

Données brutes ou élaborées, structure, support, validation, archivage, séries disponibles, métadonnées, statut juridique, accessibilité, modes de distribution, traçabilité, intégration dans des bases de données nationales et internationales éventuelles, responsable technique.

- Archivage : serveur OPGC, redondance RED 5 ;
VOLDORAD-2B : données brutes sur serveur INGV et OPGC ; produits niveau 1 (indices détection éruption) à l'INGV-OE pour la surveillance temps réel; produits niveau 1 temps-réel (1 spectre et série temporelle par min)
- Structure : radars UHF fichiers binaires en format propre (.SPE). VOLDORAD-3 : fichiers netcdf standards.
- Distribution : VOLDORAD-2B accès libre (visualisation, téléchargements fichiers ascii) via portail web OPGC (<http://voldorad.opgc.fr/>) et EPOS. Autres campagnes : accès différé.
- Base de données de produits niveau 1 (paramètres de puissance d'écho et de vitesse) de VOLDORAD-2B à l'Etna référencées par un DOI: 10.18145/VOLDORAD.ETNA.2009. Licence Creative Commons
- Statistiques mensuelles et annuelles de consultation et de téléchargement de la base de données.
- Resp. Technique : Y. Guéhenneux (IE OPGC), P. Cacault (IE OPGC)

Détailler le lien avec les Pôles de données de l'IR Système Terre et autres Pôles de données existants.

Les requêtes via la plateforme EPOS interroge la base de données OPGC.

Diffusion et rayonnement scientifique

Pour **les INE**, présenter les opportunités que son existence a pu générer (campagnes internationales, projets européens, intégration dans des plateformes étrangères, ...) (*lettres de recommandation et de soutien à fournir en annexe*).

La campagne novatrice d'investigation par radar volcanologique (VOLDORAD-2) des éruptions de l'Etna en 2001 a incité l'INGV à financer la construction d'un radar similaire pour la surveillance de ce volcan très actif (contrat de partenariat) ; ce VOLDORAD-2B est intégré au réseau instrumental temps-réel de l'INGV-OE depuis 10 ans et a enregistré avec un immense succès plus d'une cinquantaine de paroxysmes. L'opportunité d'observations pérennes du radar VOLDORAD-2B mesurant l'émission de téphras des cratères sommitaux de l'Etna a permis d'intégrer en position de force les grands programmes européens **FP7 MED-SUV** (F. Donnadieu PI pour l'UCA), **H2020 EPOS et EUROVOLC**. Ce contexte a permis d'importantes avancées scientifiques avec de prochaines applications opérationnelles et sociétale pour la mitigation des risques à l'Etna (thèse de V. Freret-Logeril ; Freret-Logeril et al., 2018 ; Marzano et al. Soumis).

Le récent développement du radar scannant à ondes millimétriques a fait l'objet d'une collaboration étroite avec le LATMOS (convention UVSQ-UCA-CNRS). Cet instrument innovant a permis d'amorcer une collaboration avec le laboratoire de dynamiques des fluides de Univ. British Columbia sur l'étude des panaches de cendres, renforcée par une thèse en co-tutelle et une **campagne internationale au volcan Sabancaya** avec UCA, UBC et INGEMMET. Puissant outil interdisciplinaire, VOLDORAD-3 a déjà fourni plusieurs opportunités de campagnes atmosphériques internationales pour caractériser les nuages (Corse, ANR **EXAEDRE** ; Nouvelle-Zélande, ERC **SEA2CLOUD** K. Sellegri du LaMP).

Fournir en annexe la production scientifique des **acteurs** et des **utilisateurs** des données de l'IN (articles de rang A, conférences, thèses). Au sein de cette production identifier clairement les publications où l'IN est explicitement mentionné dans les remerciements.

Concernant les rapports et publications, décrire la politique de remerciements pour l'utilisation des données et la politique de justification du statut de co-auteurs pour les responsables de l'IN impliqués.

Indiquer si les données de l'IN sont utilisées par des modèles, et si oui lesquels et pour quel objectif ? Utilisation des données VOLDORAD (vitesse d'éjection, variation du débit éruptif, durée d'éruption, masse totale) dans les modèles :

- Modèles de diffusion électromagnétique et d'inversion des paramètres éruptifs (Gouhier & Donnadiou, 2008 ; Volcanic Ash Radar Retrieval algorithm, Marzano et al., 2006, 2019) : obtention des paramètres éruptifs à la source (débit, masse totale cumulée)
- Modèles de colonne éruptive (Plume-MoM ; Freret, 2018 ; F-PLUME) : distribution de la masse de téphras dans la colonne, relation débit - hauteur du panache, liens avec d'autres observables
- **Modèles de dispersion des cendres** volcaniques (Fall-3D, Poret et al., 2018) : prévision de l'extension du panache/nuage distal et de l'impact des cendres. Aspect scientifique, mais aussi opérationnel et sociétal.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Fournir un organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du service et de ses ressources instrumentales et humaines.

Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission de l'IN (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique). Les ressources humaines seront comptabilisées en *personnes mois* (pm) sur la base du temps réel effectué. Les organismes d'appartenance et les corps des personnels seront précisés à l'aide d'un tableau du type suivant :

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans l'IN | pm |
|--------------------|--------------------------------|---|-----|
| DONNADIEU Franck | UCA, OPGC/LMV Phys. Adj. | Resp. Sc. service des radars Doppler volcanologiques (VOLDORAD), coordination scientifique et technique des 5 instruments (4 radars, 1 disdromètre), conception protocoles de mesures et développements, leadership campagnes terrain, logistique, traitement interprétation données de campagnes, contrôle qualité, développement produits niveaux supérieurs, encadrement étudiants/doctorants/post-docs. | 4 |
| FREVILLE Patrick | UCA, OPGC, IR | Coordination des actions du SDT à l'OPGC, développements logiciels radars (acquisition, traitement temps-réel), maintenance électronique | 1.2 |
| HERVIER Claude | UCA, OPGC, IE | Resp. tech. VOLDORAD-1, 2, & 2B ; développements et maintenance HF et électronique ; participation aux mesures sur le terrain | 2 |
| PEYRIN Frédéric | CNRS, OPGC, IE | Resp. tech. VOLDORAD-3 ; développements et maintenance HF et électronique ; aide au traitement des données ; participation aux mesures sur le terrain | 3 |
| GUÉHENNEUX Yannick | UCA, OPGC, IE | Base de données, intégration EPOS, Calcul scientifique & développement données niveaux supérieurs | 2 |
| LATCHIMY Thierry | CNRS, OPGC, IE | Programmation système d'acquisition des radars Resp. tech. disdromètre : développements matériels/logiciels ; participation aux mesures sur le terrain | 1.2 |

| RESSOURCES INSTRUMENTALES VOLDORAD (Resp. Tech, collab.) | | Rôle dans l'IN | Collaborateurs |
|---|---|---|--|
| VOLDORAD-1 (C. Hervier, P. Freville, P. Alonso et al.) | Radar UHF | Observations longues volcan Popocatépetl (Mexique) | Ing P. Alonso (CENAPRED) |
| VOLDORAD-2 (C. Hervier) | Radar UHF compact | Campagnes + déploiement en cas de crise volcanologique | |
| VOLDORAD-2B (C. Hervier, P. Freville, Y. Guéhenneux, P. Cacault) | Radar UHF compact | Suivi activité Etna (Italie), Observations pérennes , BDD | INGV-OE (Pr M. Coltelli, Dr S. Scollo, Ing. E Pecora, Ing. M. Prestifilippo) |
| VOLDORAD-3 (F. Peyrin, C. Hervier, T. Latchimy) | Radar Doppler scannant à ondes mm | Interdisciplinaire ; campagnes volcanologiques (cendres) et atmosphériques (nuages) | Dr J. Delanoë (MCF LATMOS) |
| DISDROMETRE (T. Latchimy) | Parsivel2 OTT (5 s) | Interdisciplinaire ; campagnes volcanologiques (sédimentation cendres) et atmosphériques (pluie) | |
| Equipements UHF OPGC (C. Hervier, SDT) | Analyseur de spectres, générateur HF, etc | Maintenance, développements radar UHF | |
| Equipements LATMOS | Banc d'essai complet ondes millimétriques | Développements, calibrages, tests VOLDORAD-3 (convention) | C. Le Gac (IR LATMOS), C. Caudoux (IE LATMOS), F. Bertrand (IE LATMOS) |

Gouvernance

Fournir un organigramme présentant les instances et leurs liens dans la gouvernance et le fonctionnement de l'IN, distinguer l'environnement interne de l'IN de son environnement externe (par exemple relations avec les instances d'une IR/TGIR, d'un SOERE...). Indiquer les personnels impliqués dans ces instances.

Environnement interne à l'INE: cf tableau RH ci-dessus

Environnement externe à l'INE:

- Intégration des données VOLDORAD-2B à EPOS : interactions techniques Y. Guéhenneux (IE OPGC)
- Collaborations instituts partenaires étrangers : interactions F. Donnadiou – Resp. scientifique local

Préciser également le fonctionnement des instances (fréquence de réunion...). Détailler la composition et le rôle du comité scientifique.

Le service VOLDORAD ne possède pas de Comité Scientifique formel ; des réunions scientifiques et/ou techniques sont organisées par projet/instrument, à une fréquence bimensuelle en moyenne mais dépendante des contraintes de l'OPGC ou des partenaires (pannes, budget, logistique, etc).

Comité scientifique (informel) : F. Donnadiou (Phys. Adj. OPGC), J. Delanoë (MCF, LATMOS), M. Coltelli (Pr., INGV-OE), S. Scollo (chercheuse, INGV-OE), P. Alonso (Ing., CENAPRED), P. Freville (IR, OPGC)/F. Peyrin (IE, OPGC)/ C. Hervier (IE OPGC). Ponctuellement invités : J. van Baelen (DR, OPGC-LaMP)/J.-L. Baray (Phys.adj. OPGC-LaMP).

Budget

Les ressources financières de toutes origines doivent être prises en compte dans le tableau suivant, en distinguant les ressources récurrentes sur les 4 dernières années et occasionnelles. Indiquer également le budget prévisionnel pour la période 2019-2023.

Justification des besoins prévus 2021 en fonctionnement ou jouvence ou équipement pour maintenir développer l'instrument.

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles | | |
|---|----------------|--|--|----------------|--|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | type |
| Dotation récurrente OPGC (CNRS) | 2 k€/an | MISSIONS maintenance VOLDORAD-1 et -2B (Italie, Mexique) | ANR labEx ClerVolc 2016 MI-CNRS Défi Instrum. Limites 2015 + 2016 | 55 k€ 45 k€ | Équipement/Fonctionnement/missions : Développement VOLDORAD-3 |
| ANR labEx ClerVolc Actions Incit. OPGC EU H2020 EUROVOLC EU FP7 MED-SUV | 4 k€/an | Missions (congrès, maintenance et upgrade instruments/logiciels) Fonctionnement (remplacement de composants, matériels spécifiques campagnes, R&D, frais publications) | ANR labEx ClerVolc Actions Incit. OPGC IRD ANR Exaedre Latmos | 40 k€ | Missions : Campagnes VOLDORAD-3 Stromboli 2015, Corse 2018, Sabancaya 2018 |
| TOTAL | 6 k€/an | | | 140 k€ | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

| Budget prévisionnel 2019-2023 | | |
|---------------------------------|-----------------|--|
| Nature ² | Montant (k€/an) | Commentaire |
| MISSIONS (M) | 3.5 | R&D, maintenance des 4 radars, congrès |
| FONCTIONNEMENT (F) | 2.5 | R&D, jouvence acquisition VOLDORAD-2, maintenance des 4 radars, développements logiciels/matériels VOLDORAD-3, frais publication |
| TOTAL BESOINS RECURRENTS | 6 K€/an | |
| M+F : ERC (K. Sellegri LaMP) | 3 | Adaptations matérielle VOLDORAD-3 campagne bateau SEA2CLOUD ; mission F. Peyrin |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

D'autres aspects pourront être évoqués tels que la stratégie de communication, les programmes de formation et d'enseignements associés, ainsi que la diffusion de la connaissance.

Relations éventuelles avec la « société civile » : la nature des liens devra être clairement explicitée et les objectifs du partenariat bien identifiés. Les données sont-elles utilisées dans d'autres contextes que la recherche (bureau d'études, contrats de partenariat ou prestations basées sur les données de l'IN...) ?

A. Production scientifique des **ACTEURS** de l'INE (publications de rang A, conférences, thèses)

Publications rang A utilisant la base de données VOLDORAD:

- Freret-Lorgeril V., Gilchrist J., Donnadieu F., Jellinek A.M., Delanoë J., Latchimy T., Vinson J.P., Caudoux C., Peyrin F., Hervier C., Valade S., 2019. Fingering and Sediment Thermals in Strombolian Ash Sedimentation. *Subm. Earth Planet. Sc. Lett.*
- Freret-Lorgeril V., Donnadieu F., Eychenne J., Soriaux C., Latchimy T., 2019. In situ terminal settling velocity measurements at Stromboli volcano: Input from physical characterization of ash. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 374, 62-79.
- Freret-Lorgeril V., Donnadieu F., Scollo S., Provost A., Fréville P., Guéhenneux Y., Hervier C., Prestifilippo M., Coltelli M., 2018. Mass eruption rates of tephra plumes during the 2011–2015 lava fountain paroxysms at Mt. Etna from Doppler radar retrievals. *Front. Earth Sci.* 6:73. doi: 10.3389/feart.2018.00073
- Donnadieu F., Freville P., Hervier C., Coltelli M., Scollo S., Prestifilippo M., Valade S., Rivet S., Cacault P., 2016. Near-source Doppler radar monitoring of tephra plumes at Etna. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 312:26-39, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2016.01.009.
- Chevalier L., Donnadieu F., 2015. Considerations on ejection velocity estimation from infrared radiometer data: a case study at Stromboli volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 302:130-140.

Bases de données VOLDORAD

- Donnadieu F., Freville P., Rivet S., Hervier C., Cacault P (2015) The Volcano Doppler radar data base of Etna (VOLDORAD 2B). Université Clermont Auvergne – CNRS. <http://www.obs.univ-bpclermont.fr/SO/televolc/voldorad/bddtr.php>, doi: 10.18145/VOLDORAD.ETNA.2009

HDR

- Donnadieu F., 2017. Explosive Volcanic eruptions : insights from transportable radars. Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Univ. Clermont Auvergne, 21 mars 2017, 164 pp.

THESES

- Gilchrit J., 2017-2021. Laboratory fluid dynamics experiments and in-situ Doppler radar measurements to investigate the dynamics of explosive eruption columns. Joint PhD thesis Univ. British Columbia (Vancouver, Canada) – Univ. Clermont Auvergne (France)
- Freret-Lorgeril V., 2018. The source term of tephra plumes: radar applications at Etna and Stromboli volcanoes (Italy). *PhD Thesis*, Université Clermont Auvergne, 268p.

Communications internationales

70 communications internationales dont 12 par des utilisateurs externes (<http://voldorad.opgc.fr/>)

B. Production scientifique des **UTILISATEURS** de l'INE (publications de rang A, conférences, thèses)

[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

Publications de rang A externes

- Mereu L., Marzano F.S., Scollo S., Donnadieu F. and Bonadonna C., *in prep.* Ground-based Radar Estimation of Mass Flow Rate during 2015 Etna Explosive Eruption.

- Marzano F.S., Mereu L., Scollo S., Donnadiu F. and Bonadonna C., 2019. Tephra Mass Eruption Rate from X-Band and L-Band Microwave Radars during the 2013 Etna Explosive Lava Fountain. *Subm. IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing*.
- Poret M., Corradini S., Merucci L., Costa A., Andronico D., Montopoli M., Vulpiani G., Freret-Lorgeril V., 2018. Reconstructing volcanic plume evolution integrating satellite and ground-based data: application to the 23 November 2013 Etna eruption. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 4695–4714, 2018.

Thèses externes utilisant les données VOLDORAD

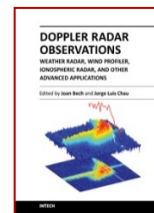
- Poret M, 2018. Modelling aggregation of ash particles in volcanic plumes and the effect on ash cloud dispersion. *PhD thesis*, INGV Bologna (ITALY).

Communications internationales d'utilisateurs externes:

- Defer E. et al., 2019. The EXAEDRE Data Catalog. **EXAEDRE Science Meeting, 14-15 May 2019.**
- Delanoë J., et al. 2019. The LATMOS and OPGC contribution to the EXAEDRE campaign. **EXAEDRE Science Meeting, 14-15 May 2019.**
- Mereu L., Scollo S., Corradini S., Bonadonna C., Donnadiu F., Marzano F., 2019. Ground-based Radar Estimation of Mass Flow Rate during 2015 Etna Explosive Eruption. EGU2019-13553.
- Poret et al., ...
- Mereu L., Marzano F.S., Scollo S., Bonadonna C., 2018. Retrieving near-source volcanic plumes: exploitation of ground-based microwave radar measurements during Etna 2013 explosive eruption. *COV10*, Naples, IT, 3-7 Sept 2018.
- Falsaperla S., Apuani T., Coltelli M., Donnadiu F., Langer H., Privitera E., Puglisi G., 2015. MED-SUV project: New results and ongoing activities of WP 5 – Task 5.1: Characterization of the threatening phenomena from space and ground. EU-FP7 MEDSUV meeting, Naples, 6-9 July 2015.
- Andronico et al., 2014. Multiparametric experiment at Mt. Etna: investigation on both degassing and eruptive dynamics. AGU Fall Meeting, San Francisco, 15-19 dec. 2014.
- Cannata A., Privitera E., Andronico D., Barnie T., Bonforte A., Burton M., Caltabiano T., Carbone D., Ciancitto F., Chiarugi A., Contrafatto D., Corradini S., D'Amato F., Del Bello E., Donnadiu F., et al. (2014). Multiparametric experiment at the North-East Crater (Mt. Etna): motivation, planning and time schedule. AGU Fall Meeting 11645, San Francisco, 15-19 dec. 2014.
- Cannata A, Privitera E. and Scientific Team of NEC multi-parametric experiment, 2014. Multiparametric Experiment at Mt. Etna: Investigation on Both Degassing and Eruptive Dynamics AGU Fall Meeting, San Francisco, 15-19 dec. 2014.
- Privitera E. et al., 2014. Multiparametric experiment at the North-East Crater (Mt. Etna): motivation, planning and time schedule *MED-SUV 1st year meeting*, Nicolosi, 7-9 July 2014.
- Falsaperla S., Apuani T., Coltelli M., Donnadiu F., Langer H., Privitera E., Puglisi G., 2014. MED-SUV project: First results and ongoing activities of WP 5 – Task 5.1: Characterization of the threatening phenomena from space and ground. *MED-SUV 1st year meeting*, Nicolosi, 7-9 July 2014.
- Coltelli M., Andronico D, Boselli A, Corradini S., Costa A., Donnadiu F., et al., 2014. Improvement of ash plume monitoring, modeling and hazard assessment in the MED-SUV project. *Geophysical Research Abstracts*, vol. 16, EGU2014-15306, EGU General Assembly 2014.

C. Diffusion de la connaissance

- 8 séminaires dans différents instituts internationaux
- Vidal N., Donnadiu F., Van Baelen J., 2019. Histoire de radars, entre ciel et terre : l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand. *E-phaistos*. <https://journals.openedition.org/ephaistos/>
- Book chapter: Donnadiu et al., 2016. Des radars pour sonder l'intérieur des panaches volcaniques (VOLDORAD), *Revue d'Auvergne* 23p.
- Online book chapter: Donnadiu F., 2012. Volcanological applications of Doppler radars: A review and examples from a transportable pulse radar in L-band. *In* Bech J. & Chau J.L. (Eds.), ISBN: 978-953-51-0496-4, *InTech*, 409-446.
- VOLDORAD website pages on radar measurements of volcanic activity
- Vulgarisation: Donnadiu F., 2003 (*Eruption 2*, p.41-43), *Microscop*, 13, p.26-27, 2004; *Journal du CNRS* 178, p.12, 2004; 7 articles *Bull Assoc. Vulcano* (1992-1996)
- Conférences grand public (Université ouverte 2017, Musée Lecoq 2008) and expositions
- Contribution cours IUT en ligne (<http://public.iutenligne.net/electronique/Nardi/Doppler/>)
- Supervision de travaux de TIPE d'élèves de lycée
- Medias : web INGEMMET (<http://ovi.ingemmet.gob.pe/?p=4895>) *Alpine-Mag* 2019 ; fb INGEMMET, TV (Sciences et Vie TV 2017 'Les Volcanologues 3.0'; TV8 03/01/06, FR3 2012 Puy-de-Dôme ; Teletica 7 Costa Rica Arenal 2009) ; Radio (France Bleue Auvergne 31/10/2005, 2009) ; Presse (*InfoMag* 63 2009; *La Montagne* (28/3/2004); *Info journal* 16/6/2008, *INSU news* 18/11/2011)



D. FORMATION

- Formation doctorale (4) et post-doctorale (2) ; encadrement de 33 projets de recherches d'étudiants
- Formation des professeurs: Maison de la Science 2013-2014, Conf. Assoc. Prof. Biol-Géol. 2016
- Formation radar des personnels d'observatoires (INGV-OE Etna, CENAPRED/UNAM Mexique, RSN Univ. Costa Rica)

E. Contrats de partenariat

1. Contrat de partenariat UBP-CNRS-INGV pour la construction du radar VOLDORAD-2B
2. Contrat de recherche associé INGV-CNRS-UBP pour l'exploitation des données du radar VOLDORAD-2B par l'INGV-OE pour la surveillance temps-réel de l'Etna
 - ⇒ Utilisation des données du radar VOLDORAD-2B de l'OPGC pour la **surveillance de l'Etna** par l'INGV-OE, sezione di Catania, depuis 2009
3. Contrat de recherche en collaboration UCA-UVSQ-CNRS pour le développement du radar VOLDORAD-3
 - ⇒ Développement du radar panache scannant VOLDORAD-3 pour les applications volcanologiques et **mutualisation interdisciplinaire** pour les campagnes de mesures atmosphériques

 - ⇒ Utilisation des données du radar VOLDORAD-1 par le CENAPRED (Mexique) pour la surveillance du Popocatépetl depuis 2013

| |
|---|
| Type de service : Instrument Nom du service : VOLCADRONE - Géophysique aéroportée – (SNOV TS ANO-1) Adresse URL du site web du service : http://volcadrone.opgc.fr/ |
|---|

Résumé du service :

L'imagerie de la structure interne et de la dynamique temporelle des volcans est un véritable défi pour comprendre les processus qui régissent leur évolution, notamment les précurseurs éruptifs. Les méthodes géophysiques, du fait de la grande variabilité des propriétés physiques des fluides et des magmas au sein d'un édifice volcanique, permettent d'apporter des contraintes cruciales à différentes problématiques majeures pour la compréhension des systèmes volcaniques et des mécanismes mis en jeu (*e.g. géométrie, évolution des zones de stockages magmatiques et des systèmes hydrothermaux, zones de faiblesse et instabilités, transferts de fluides, redistribution de masses et déformation*).

Les mesures géophysiques au sol, en perpétuelle évolution, ont déjà fait leurs preuves et sont désormais complétées par des mesures satellites pour des études à plus grande échelle. Il existe en parallèle un champ d'investigation prometteur en plein développement : la mise en place d'une composante géophysique aéroportée à haute résolution spatio-temporelle. L'utilisation de drones comme vecteurs d'instruments géophysiques constitue une avancée incontournable pour améliorer notre compréhension des systèmes volcaniques et rendre plus efficace leur surveillance (couverture homogène, suivi régulier, interventions rapides et sécurisées sur des zones ciblées autrement inaccessibles).

Développer et pérenniser la géophysique aéroportée pour l'étude des édifices volcaniques est donc un enjeu majeur pour la prochaine décennie, en complète adéquation avec les motivations de la prospective INSU "Les défis transverses des sciences de la planète, de l'Univers et de l'environnement".

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

Philippe Labazuy, Physicien adjoint ; P.Labazuy@opgc.fr

laboratoire : Laboratoire Magmas et Volcans LMV – UMR 6524

OSU ou établissement/organisme de rattachement : Observatoire de Physique du Globe de Clermont, OPGC – UMS 833

Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer le nom, et donner en deux lignes maximum, la nature de l'implication dans le service, hors exploitation scientifique) :

Le présent document vise à fournir les bases d'une réflexion sur la création d'un futur IN basé sur les acquisitions géophysiques aéroportées par drones, le service VOLCADRONE. Notre objectif est de continuer à développer activement, en collaboration avec les laboratoires et structures de recherche françaises et internationales, des instruments de géophysique aéroportée à bord de drones. Le tableau ci-dessous présente une liste non exhaustive des laboratoires et OSU potentiellement impliqués dans cette initiative. Des collaborations effectives ont déjà été initiées, depuis 2018, dans le cadre d'actions de recherche et d'observation (ANR Volcamesh –soumis-, ANR SlideVolc, projet européen EUROVOLC, etc.).

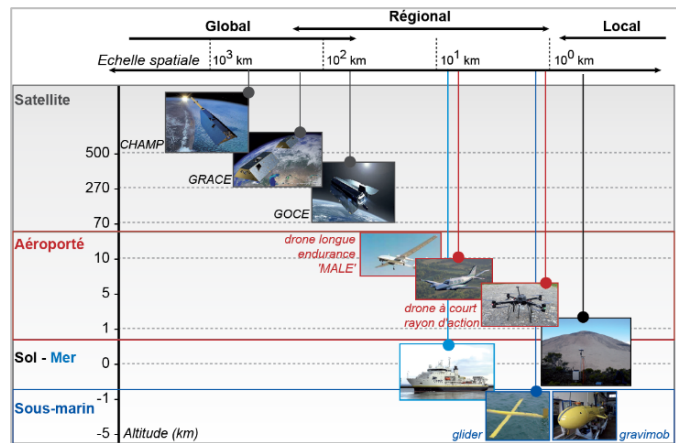
| Laboratoire | Equipe associée | Nom responsable | Nature de l'implication et/ou exploitation scientifique |
|--------------|-----------------|--------------------|---|
| IPGP | | J.C. Komorowski | Acquisitions géophysiques aéroportées (VIS, IR, Multigas, etc.) |
| OVPF-IPGP | | A. Peltier (Dir.) | Acquisitions géophysiques aéroportées (VIS, IR, Multigas, etc.) |
| OVSG-IPGP | | R. Moretti (Dir.) | Acquisitions géophysiques aéroportées (VIS, IR, Multigas, etc.) |
| LAMP-OPGC | | | Mesures Atmosphère |
| ISTERRE-OSUG | | C. Bouligand (McF) | Magnétisme aéroporté |
| CEREMA | | R. Antoine (CR) | Développement gravimétrie aéroportée |
| BRGM | | G. Martelet (CR) | Développements géophysiques aéroportées (e.g. gravimétrie) |

- **Lien avec une IR ou TGIR (oui/non/prévu) :** prévu

VOLCADRONE pourrait être intégré au Service National d'Observation en Volcanologie (SNO-V) et, dans un deuxième temps, venir compléter les observables mis à disposition au sein de la Plateforme Européenne d'Observations de la Terre EPOS.

- **Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial**

Un des objectifs de ce futur service est le développement des activités scientifiques autour des drones, en complément des missions satellites et ballons. Un des chantiers prioritaires concerne les levés magnétiques par drones, couplés à des mesures hyperspectrales par drone et à l'analyse des données hyperspectrales satellite. Il constitue un enjeu majeur pour la prochaine décennie, dont les avancées permettront de combler la lacune entre les dispositifs embarqués sur satellites (e.g CHAMP, GRACE, GOCE, etc.) et les méthodes d'acquisition classique au sol.



Le CNES soutient depuis 2016 (projet VOLCADRONE, 2016-2019) les développements techniques et méthodologiques des activités de CAL/VAL des données satellites par les mesures géophysiques aéroportées dédiées à l'observation des émissions volcaniques au moyens de vecteurs aéroportés légers (drones). Les résultats notamment autour des levés magnétiques à bord de drone se sont avérés particulièrement prometteurs.

- **Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) :** non

Le service proposé relève-t-il

- d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, OA ou AA (oui/non) ? et le(s)quel(s) ? oui
OA (campagnes de mesures atmosphériques) – en projet ;
- d'autres instituts du CNRS (oui/non) ? et le(s)quel(s) ? non

- **Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) :** oui (prévu)

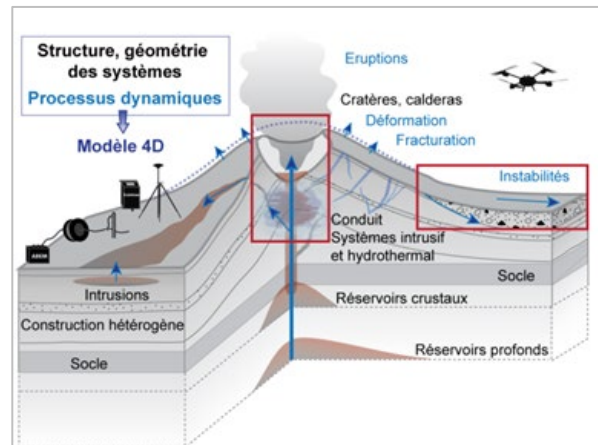
Si oui, préciser le/les quel(s) :

Les mesures volcanologiques du SNOV ont vocation à être intégrées au Pôle de données et services ForM@Ter. En parallèle, elles sont et seront progressivement proposées au sein de la plateforme européenne EPOS, par le biais du Thematic Core Service 'Volcano Observation'.

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Les processus scientifiques étudiés devront être décrits, ainsi que les progrès apportés par l'activité de l'IN. Justifier la nécessité des observations (observables, sites) sur la durée de la labellisation (5 ans) ou plus.

La compréhension du fonctionnement d'un édifice volcanique dépend directement de notre connaissance des systèmes statiques (*structure interne, géométrie des systèmes magmatiques et hydrothermaux*) et des processus dynamiques (*évolution des structures, redistribution de masses, instabilités*). Parmi les nombreuses questions que l'on peut aborder, celles de la stabilité des édifices, des systèmes magmatiques et hydrothermaux, sont particulièrement importantes, notamment pour l'estimation du risque associé. En parallèle, caractériser l'évolution spatio-temporelle des zones de stockage magmatiques et hydrothermales, ainsi que les modalités de transfert des magmas est fondamental pour préciser leurs relations avec la dynamique éruptive. Le renforcement du panel d'instruments de télédétection est fondamental pour compléter et améliorer significativement notre compréhension de ces phénomènes.



Le renforcement du panel d'instruments de télédétection est fondamental pour compléter et améliorer significativement notre compréhension de ces phénomènes.

Les méthodes géophysiques sont particulièrement pertinentes face à ces problématiques, car les propriétés physiques des magmas et des formations volcaniques (e.g. densité, résistivité, aimantation, vitesse sismique) montrent une grande variabilité au sein des édifices, permettant ainsi leur discrimination. La recherche en volcanologie a considérablement évolué au cours des dernières décennies, notamment grâce à ces méthodes géophysiques. Si les mesures au sol ont déjà fait leurs preuves et restent en perpétuelle évolution, elles sont désormais complétées par des mesures satellites pour des études à plus grande échelle. Il existe donc un champ d'investigation ouvert et prometteur: la mise en place et la pérennisation d'une composante géophysique aéroportée à haute résolution spatio-temporelle à bord de drone.

En complément de l'étude des gaz, aérosols et particules au sein des émissions volcaniques (panaches volcaniques, fumerolles, etc.), notre ambition pour les années à venir est de renforcer notre expertise dans le domaine de la géophysique aéroportée au moyen de vecteurs légers (drones), en collaboration avec les équipes d'Isterre (OSUG, Univ. Grenoble), de l'IPG Paris et des Observatoires Volcanologiques et sismologiques français (notamment, OVPF et OVSG). Le développement de cette technologie innovante, dédiée à l'acquisition de mesures géophysiques, est un enjeu majeur pour l'étude et la quantification des phénomènes volcaniques. Ces activités scientifiques sont proposées dans le cadre de plusieurs projets, dont le projet ANR VOLCAMESH (« Building a multiparameter numerical MESH for modeling dynamic VOLCANic systems » ; PI : Jean-Christophe Komorowski) soumis fin mars 2019 (AAPG ANR 2019) et dans la continuité de l'ANR SlideVolc (« Les déstabilisation volcaniques : de l'observation à un modèle des déformations actives » ; PI : Aline Peltier).

Mission d'observation/d'expérimentation

Description exhaustive du service en termes de grandeurs géophysiques, biogéochimiques ou biologiques (dans le périmètre défini par la prospective OA) et de la durée des séries préexistantes à la demande de labellisation. Justification du choix du type d'IN (communautaire -INC- ou d'excellence -INE) par rapport aux objectifs scientifiques.

Les missions d'observation de l'IN VOLCADRONE doivent être précisément évaluées, d'une part en interne au sein de l'OPGC, et d'autre part au niveau national, en étroite synergie avec les actions scientifiques proposées par l'IPGP et les observatoires volcanologiques et sismologiques. D'ici la fin de l'année 2019, la structuration des actions scientifiques proposées devront être formalisées entre les différentes infrastructures de recherche et d'observation en volcanologie. Une mission scientifique d'échange et de collaboration est programmée début septembre 2019 à La Réunion, avec l'ensemble des acteurs impliqués.

Le tableau ci-dessous présente l'état actuel de la liste des mesures envisagées au sein de l'IN VOLCADRONE, sur la base des missions d'acquisitions programmées en 2019 et prévues au cours des années suivantes. Cette liste préfigure la structure possible de l'IN et les objectifs scientifiques définis pour chaque type de mesure.

| Grandeurs mesurées | Mission/campagne | Type d'expérimentation | Effectuée/prévues | Objectif scientifique |
|-------------------------|--|----------------------------|---|---|
| Champ magnétique | - Piton de la Fournaise - Soufrière de Guadeloupe | Mesures sol et aéroportées | Fin d'année 2019 Réitérations 2020-21-22 | 1. Caractérisation des systèmes magmatiques et hydrothermaux 2. Imagerie et évolution des zones d'instabilités |
| Température | - Piton de la Fournaise - Soufrière de Guadeloupe | Mesures sol et aéroportées | Fin d'année 2019 Réitérations 2020-21-22 | 1. Quantification des flux, état thermique de surface |
| Chimie des gaz | - Soufrière de Guadeloupe | Mesures sol et aéroportées | Fin d'année 2019 Réitérations 2020-21-22 | 1. Mesure des compositions chimiques des émissions volcaniques (e.g. fumerolles). |

Description de l'équipement disponible (caractérisation, spécificité) et justification vis-à-vis de l'état de l'art pour les thématiques considérées ainsi que du panorama des instruments comparables à l'échelle mondiale.

Les principaux objectifs de VOLCADRONE sont multiples :

(1) La validation des mesures des caractéristiques physiques et chimiques des émissions volcaniques en général, notamment les fumerolles et panaches de gaz et aérosols, ainsi que les nuages de cendres (concentration, taille, nature des cendres et propriétés optiques).

→ Équipement disponible et/ou en développement : systèmes MultiGas miniaturisés, collecteur de cendres radiocommandé.

(2) L'étude de la structure et de l'évolution des systèmes magmatiques superficiels sur les volcans actifs, grâce à l'acquisition de données géophysiques aéroportées par drones (magnétisme, gravimétrie aéroportées pour la compréhension des processus superficiels) et de données d'imagerie (VIS, IR), notamment.

La faisabilité des mesures aéroportées ne nécessitant que des charges légères (levés photogrammétriques, IR...) est déjà éprouvée et l'implémentation d'autres types de capteurs est également en plein développement. Des expériences de mesures magnétiques par drone (e.g. Caron et al., 2014 ; Gordon, 2016 ; Parshin et al., 2018) et électromagnétiques hélicoptées (VTEM, ZTEM, RESOLVE ; Ball et al., 2011) sont en cours. Les réflexions autour de la gravimétrie mobile sont également en marche avec le système Limo-G (De Saint Jean, 2008). Une miniaturisation prometteuse de capteurs gravimétriques a également été proposée avec les systèmes micro-électro mécaniques (MEMS ; Middlemiss et al., 2016), avec également la mise en place récente du projet Newton-g (D. Carbone).

Le service se focalisera notamment sur les mesures rapides du champ magnétique, particulièrement pertinentes pour imager les anomalies thermiques, en raison de la forte influence de la température sur les mesures magnétiques (*perte d'aimantation liée aux transferts de chaleur, altération hydrothermale ; Gailler et Kauahikaua, 2017*). Enregistrer simplement l'évolution du champ magnétique brut va permettre donc de mettre en évidence ses variations rapides liées aux phénomènes dynamiques. L'avantage est de pouvoir détecter des transferts de chaleur à faible profondeur et de suivre l'évolution de ces transferts au cours du temps grâce à la réitération des mesures.

→ Équipement disponible ou à acquérir (capteurs du commerce) : capteurs magnétiques (scalaire et vectoriel), caméra IR, caméra multispectrale et/ou hyperspectrale, capteurs gravimétriques miniaturisés (contribution au développement)

Préciser si l'IN a vocation à conduire des activités d'enseignement et de formation. Privilégier une présentation concise (tableau, carte).

- Des interventions sont envisageables dans le cadre du futur Master Risques (Ecole de l'OPGC, I-Site CAP2025).
- Des actions de partage d'expérience et de formation des équipes des infrastructures de recherche et observatoires volcanologiques européens pour l'échantillonnage de gaz et particules fines dans les fumerolles et panaches dilués sont prévues dans le cadre du projet EUROVOLC (Horizon 2020 INFRAIA ; Integrating Activities for Starting Communities).

Ouverture et Insertion de l'IN, lien avec les IR/TGIR

VOLCADRONE étant encore à l'état de projet en terme d'instrument national, ces informations ne sont actuellement pas disponibles et devront faire l'objet de discussions entre les différents partenaires impliqués, notamment sur les aspects de ressources support, de formation et de mise à disposition des moyens, ainsi que sur les coûts récurrents induits, en terme de fonctionnement, missions et transport, par exemple.

- SNO-Volcanologie
- Intégration des observations au sein du Thematic core Service 'Volcano Observations' d'EPOS.
- Intégration envisagée au Pôle FORM@TER, à terme.

Protocoles de mesure

1- Observables 'magnétisme'

Du point de vue instrumentation, différents types de capteurs magnétiques sont disponibles dans le commerce. Nous avons notamment contribué à la validation d'un capteur de type vectoriel avec le groupe InfoGeoDrones pour mieux quantifier la sensibilité et la résolution de ces capteurs (développement du code de calibration), ainsi que les conditions optimales d'acquisition (déport du capteur par rapport au drone, vitesse optimale d'acquisition). Les différentes expériences menées ont également permis d'orienter le choix du type de capteur face aux problématiques abordées. Dans le cadre des expérimentations prévues à l'échelle du Piton de la Fournaise et de la Soufrière de Guadeloupe, l'achat d'un capteur magnétique de type scalaire (champ magnétique total selon une direction : QuSpin) a été réalisé au printemps 2019 (Labex ClerVolc).

L'objectif au cours des différentes missions de validation programmées au cours du deuxième semestre 2019 sera de coupler l'utilisation de ce capteur scalaire avec un capteur de type vectoriel en location (Fluxgate 3 directions Sensys MagDrone R3). Pour chaque levé aéroporté, nous mesurerons également les variations diurnes du champ magnétique à l'aide d'un magnétomètre Overhauser (GEM System GSM-19W ; LMV-OPGC) positionné en base fixe. Les mesures magnétiques seront ensuite corrigées des effets magnétiques du drone selon la méthode de Munsch et al. (2007) ainsi que des variations diurnes.

1.1- Pour l'étude de l'évolution et de la dynamique des systèmes magmatiques et hydrothermaux, les mesures magnétiques aéroportées seront répétées avec une fréquence annuelle à biannuelle, selon les sites, en période calme, avec une fréquence plus importante (mensuelle, hebdomadaire) en cas d'évolution de l'activité (amplification de l'activité sismique, intensification des phénomènes de dégazage). En complément des réseaux de mesures et d'observation déjà en place, le couplage avec des mesures infrarouges thermiques permettra dès lors de mieux quantifier les signaux précurseurs. Les données issues de ces levés seront interprétées par l'intermédiaire de modélisations 2D et 3D directes, dans un premier temps.

1.2- Le deuxième objectif de ces mesures magnétiques aéroportées est de quantifier les phénomènes d'instabilités, souvent liés à l'activité intrusive et hydrothermale, ainsi qu'à la présence d'hétérogénéités mécaniques au sein des édifices. La détection de surfaces de glissement et la quantification de leur évolution temporelle sont proposées avec ce nouveau type de surveillance sous la forme de répétitions d'acquisitions magnétiques à bord de drones, à différentes altitudes. L'objectif est de traiter ces différents jeux de données par inter-corrélation ou méthode inter-spectrale, les signaux étant très semblables et perturbés par un bruit dé-corrélé. Une telle approche est beaucoup

plus précise que la différence entre deux modèles absolus : elle permet d'atteindre directement le décalage spatial entre signaux consécutifs, ainsi que la fonction de transfert entre ces signaux. Ceci permet d'accéder aux variations physiques (i.e. différence d'extension de la zone altérée).

1.3- En complément des levés magnétiques aéroportés par drones, seront réalisées des mesures des propriétés magnétiques (susceptibilité magnétique et aimantation rémanente naturelle) d'échantillons frais et altérés prélevés sur différentes zones des édifices, en collaboration avec le laboratoire IsTerre (C. Bouligand) et l'IPGP (J. Carlut). Ces échantillons seront soumis en laboratoire à des températures croissantes, afin d'évaluer l'effet de la température sur l'aimantation rémanente et induite. Cela permettra également de faire la distinction entre les aimantations, primaire et secondaires, et les possibles ré-aimantations. Enfin, une autre série de mesures visera à décrire la minéralogie magnétique : courbe d'acquisition d'aimantation rémanente isotherme, estimation de la température de Curie, caractérisation des oxydes (microscope optique en réflexion et microscope électronique à balayage).

2- Mesures thermiques

En complément des mesures de gradients thermiques (stations de mesures installées dans le sol) et des mesures thermiques sur les zones fumeroliennes grâce à une caméra infrarouge thermique au sol, des cartes thermiques ortho-rectifiées (méthode Structure From Motion) seront réalisées à partir d'images aériennes acquises par mini-caméra IR embarquée sur drone.

Couplées aux mesures de géochimie et de flux de gaz, ces données thermiques permettront d'établir des cartes précises de flux de gaz et de chaleur, cruciales pour définir et caractériser les structures importantes de dégazage (systèmes de failles, fractures).

3- Géochimie et flux des gaz

Les capteurs MultiGas miniaturisés ($H_2/H_2O/HCl/H_2S/SO_2$) embarqués sur drones, fourniront des mesures de gaz des panaches, combinées aux mesures des réseaux existants de stations MultiGas au sol. Les variations spatiales et temporelles de composition et de flux de gaz seront mesurées en opérant simultanément deux capteurs MultiGas à différentes hauteurs, afin d'obtenir des proportions chimiques intégrées ainsi que des distributions spatiales étalonnées par rapport à la vitesse du vent.

4- Perspectives à court terme - gravimétrie

La perspective de levés gravimétriques aéroportés pour des mesures plus homogènes et plus rapides est un véritable challenge pour renforcer le suivi et l'étude de la dynamique des édifices (transferts de masse, déformations). Les études récentes sont particulièrement prometteuses (De Saint Jean, 2008 ; MEMS ; Middlemiss et al., 2016 ; projet Newton-g, D. Carbone) et appellent à une mutualisation des développements. Une collaboration est notamment envisagée avec le CEREMA (R. Antoine), dans le but également de coupler plusieurs observables géophysiques et mieux contraindre les modélisations numériques.

Archivage des données et leur mise à disposition

Les données brutes et les produits élaborés (séries temporelles, cartes, etc.) seront archivés et disponibles en accès libre sur un portail dédié à l'IN Volcadrone, lorsqu'il sera opérationnel, et via les portails des différents partenaires : centre de données Volobsis de l'IPGP, Observatoire Virtuel de l'OPGC (<http://opgc.fr/vobs/>), et, à moyen terme, après validation de la structure des métadonnées et du format des bases de données, via les pôles et centres de données ForM@Ter et EPOS (via le TCS 'Volcano Observation').

Diffusion et rayonnement scientifique

La finalité du projet de création d'un IN VOLCADRONE est de déployer les systèmes d'acquisitions géophysiques aéroportés sur des sites volcaniques actifs d'intérêt prioritaire, notamment les volcans français, en coordination avec les activités du SNOV et en synergie avec les travaux proposés dans le cadre de plusieurs projets ANR, financés ou soumis. Une application majeure est proposée à la Soufrière de Guadeloupe dans le cadre de l'ANR VOLCAMESH (PI : J.C. Komorowski, soumis en 2019), dont l'objectif est de développer des modèles 3D expérimentaux et théoriques multi-paramètres des signaux transitoires géophysiques et géochimiques enregistrés sur La Soufrière de Guadeloupe, afin

d'anticiper son réveil et suivre sa dynamique. Les mesures aéroportées, magnétiques, MultiGas, infrarouges, notamment, viendront compléter les tomographies géophysiques et géochimiques afin d'imager précisément le système hydrothermal, qui contrôle l'instabilité et la surpression de l'édifice. Au Piton de la Fournaise, dans la continuité de l'ANR SLIDEVOLC (PI : A. Peltier), la mise en œuvre de mesures géophysiques aéroportées est également primordiale pour renforcer le réseau d'étude et de surveillance actuellement en place à l'OVPF. Des levés géophysiques, magnétiques dans un premier temps, avec une couverture homogène et la perspective de répétitions rapides, seront dédiés au suivi de l'évolution spatio-temporelle de l'état interne de l'édifice (détection des zones magmatiques et hydrothermales, instabilité de l'édifice notamment au niveau du flanc est).

En parallèle, des méthodes électriques et électromagnétiques au sol viendront compléter ce réseau. La résistivité électrique étant très sensible à la présence de fluides contenus dans les structures actives, fracturées et perméables (Gailler et al., 2019), est particulièrement intéressante pour évaluer l'endommagement d'une structure. Récemment, les progrès techniques en tomographie de résistivité électrique (équipement Full Waver-Iris instruments) ont permis d'atteindre des profondeurs de l'ordre d'un kilomètre, et permettent d'envisager d'atteindre 1.5 à 2 km avec un déploiement optimal. Plus en profondeur (> 2 km), il est pertinent d'utiliser la méthode magnéto-tellurique (MT ; Gailler et al., 2018). De telles méthodes permettront d'imager les structures actives (zones de stockage, sources de pression et surface de glissement potentielles) et apporter des contraintes pour l'estimation de leur stabilité. Ce volet implique une collaboration majeure entre l'OPGC, l'OVPF, l'IPGC et IsTerre (Chambéry).

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

L'organigramme de Volcadrone doit être au préalable discuté et validé par les organismes participants. Les discussions concerneront en parallèle les ressources instrumentales et humaines qui seront mises à disposition pour les activités identifiées.

Le tableau fournit les informations préliminaires envisagées au sein de l'OPGC (côté Terre Solide).

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans l'IN | pm |
|------------------|--------------------------------|---|----|
| LABAZUY Philippe | UCA/LMV-OPGC/Phy-Adj | Responsable scientifique (drones, capteurs, R&D) | 2 |
| GAILLER Lydie | UCA/LMV-OPGC/Phy-Adj (09/2019) | Personnel scientifique (méthodologie, acquisition des données géophysiques) | 4 |
| REGIS Edouard | UCA/OPGC/IE | Responsable technique (R&D drones et capteurs) | 2 |
| BONTEMPS Martial | UCA/OPGC/AI | Personnel technique (R&D drones et capteurs) | 1 |
| MOUNE Séverine | IPGP/OVSG/Phy-Adj. | Personnel scientifique (volet Multigas) | 2 |
| JESSOP David | IPGP/OVSG/Phy-Adj. | Personnel scientifique (volet IR, mesures thermiques) | 2 |

Budget

Dans la phase actuelle il n'existe pas de ressources récurrentes. Toutefois, le projet a bénéficié, entre 2016 et 2019, de soutiens financiers et humains, sur appels à projets, du CNES (35 k€ ; 12 mois de Post-doc ; 12 mois de CDD) et du Labex ClerVolc (65 k€, 6 mois de CDD). Le tableau ci-dessous liste plusieurs sources de financement potentielles, dans la phase de R&D, avant la mise en place opérationnelle de l'IN.

Pour 2021, les besoins en fonctionnement et en équipement concerneront essentiellement les missions (transport et frais de mission) sur les différents sites d'observation sur volcans français (Réunion et Guadeloupe), sous la forme de réponse à Appels à Projets nationaux ou internes.

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles à prévoir | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | type |
| | | | AAP CNES | 5-10 | R&D – CAL/VAL |
| | | | Interne OSU | 5 | R&D / Capteurs et Missions |
| | | | Interne UMR | 2 | R&D |
| | | | TOTAL | 12-17 | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

D'autres aspects pourront être évoqués tels que la stratégie de communication, les programmes de formation et d'enseignements associés, ainsi que la diffusion de la connaissance.

Relations éventuelles avec la « société civile » : la nature des liens devra être clairement explicitée et les objectifs du partenariat bien identifiés. Les données sont-elles utilisées dans d'autres contextes que la recherche (bureau d'études, contrats de partenariat ou prestations basées sur les données de l'IN...)
?

- Atelier « Des volcans et des drones », manifestation « Un chercheur, une manip » à Vulcania (Lydie Gailler, juin 2018) : présentation des activités drones et acquisitions aéroportées au LMV et à l'OPGC.

- Film « Les volcanologues 3.0 » (CRESTAR Production, 2016). Diffusion sur Sciences & Vie TV depuis décembre 2017.

Ce documentaire scientifique présente les actions innovantes d'étude des volcans menées au LMV et à l'OPGC. Les expérimentations avec drones sont présentées, sur les sites de l'Etna et du Piton de la Fournaise. Le CNES est mentionné dans la liste des organismes soutenant nos activités de recherche.

- Film de « valorisation et communication grand public » (2019, ANR STRAP, étude des panaches volcaniques pour une meilleure compréhension de leurs évolutions dynamiques ou chimiques). Un volet du film est consacré aux expérimentations par drone - Réalisation assurée par la DUN (Direction de Usages du Numériques) de l'université de la Réunion).

- contributions à la mise en place de l'animation 'VOLCANODRONE' de Vulcania pour la saison 2019-2020.

Production scientifique des acteurs (publications de rang A, conférences, thèses)

- Gailler L.S., Kauahikaua J., Lénat J.F., Revil A., Gresse M., Soueid Ahmed A., Cluzel N., Mantilake G., Gurioli L., Johnson T., Delcher E., Finizola A. (2019) – 3D electrical conductivity imaging of Halemaumau lava lake. JVGR, in press.
- Gailler L.S., Marti A., Lénat J.F. (2018) – High resolution 3D modeling of the resistivity data of Plaine des Sables, Piton de la Fournaise (Réunion Island). JVGR, 356, 200–210, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.03.006>.
- Gailler L.S., Kauahikaua J. (2018) – The Gravity signature of basaltic fill in Kīlauea caldera, Island of Hawai'i. GSA Books.
- Gailler L.S., Kauahikaua J., (2017) – Monitoring the freezing of the 1959 Kilauea Iki lava lake using surface magnetic measurements. Bull. Volc. <https://doi.org/10.1007/s00445-017-1119-7>.
- Gailler L.S., Arcay D., Münch P., Martelet G., Thimon I., (2017) – Depth to Curie temperature or magnetic sources bottom in the Lesser Antilles Arc volcanic area. Tectonophysics. 2017, 706-707, pp.71-90. <10.1016/j.tecto.2017.03.014>.
- Gailler L.S., Lénat J.F., Blakely R., (2016) – Depth to Curie temperature or magnetic sources bottom in the volcanic zone of La Réunion hot spot. JVGR, 324, p. 169-178; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.06.005>.
- Labazuy P., Paris R., Donnadiou F., 2015. Drone-based remote sensing applications for studying and monitoring volcanic environments: a case study on Mount Etna. EU-FP7 MEDSUV meeting, Naples, Italy, 6-9 July 2015.
- Labazuy P., Paris R., Donnadiou F., Gruffat S., 2015. Experiment at Etna to survey proximal products of eruptive activity using ground- and drone-based multiview photogrammetry. EU-FP7 MEDSUV meeting, Catania, 15 Feb. 2015.

Type de service : Code numérique

Nom du code numérique : DEFVOLC

Adresse URL du site web du service : <http://www.opgc.fr/defvolc>

Résumé du service (1/2 page maximum) :

DefVolc est un ensemble de codes permettant la modélisation inverse de déplacements de volcans, que ceux-ci résultent de la déformation de fractures (failles ou intrusions remplies de magma) ou de réservoirs massifs. DefVolc a pour vocation principale d'aider à l'exploitation rapide des déformations InSAR dont le flux connaît une croissance rapide, notamment grâce aux satellites Sentinel-1. Les inversions [Fukushima et al., JGR, 2005] reposent sur la combinaison de modèles de déformation par éléments frontières 3D [Cayol et Cornet, JGR, 1998] et d'algorithmes d'inversions par proches voisins [Sambridge, GJI, 1999a ; JGI, 1999b]. Les géométries, localisations, contraintes cisailantes et pressions sont déterminées, ainsi que les incertitudes associées. Les données inversées sont des données InSAR, GNSS, dilatométrie ou autre. Une interface permet la préparation rapide et le lancement des inversions même pour des non experts, grâce à l'imbrication implicite des étapes de préparation des calculs et à l'utilisation de règles d'or de mécanique des roches ou d'inversions. Les calculs sont ensuite lancés au choix sur la machine de l'utilisateur ou sur des clusters, tel que ceux de l'Université Clermont-Auvergne pour les participants du projet d'infrastructure Eurovolc.

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) :

Valérie Cayol, Chargée de Recherches, valerie.cayol@uca.fr

Laboratoire : Laboratoire Magmas et Volcans

OSU ou établissement/organisme de rattachement :

Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC)

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial (oui/non) : oui

Si oui, préciser la (les) mission(s) : Sentinel-1

- **Lien avec un pôle ou un centre de données pôle** Form@ter

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Les nouvelles acquisitions des satellites (Sentinel 1A et 1B) apportent des données libres et fréquentes permettant d'imager les déplacements crustaux avec une répétition et une rapidité de mise à disposition jamais égalées. Ces données demandent pour leur exploitation des outils rapides et précis. Or, la plupart des outils actuels de modélisation des déplacements reposent sur des solutions analytiques [Battaglia et al, JVGR, 2013 ; Bagnardi and Hooper, G³, 2018] qui négligent les topographies, les interactions mécaniques entre sources, et les hétérogénéités du milieu. En outre ces méthodes supposent que les sources ont des géométries simples. Defvolc est un outil qui permet une interprétation rapide et précise de ces mesures, grâce à des calculs véritablement tri-dimensionnels, la prise en compte intrinsèques des interactions entre sources et des sources de géométries complexes [Cayol et Cornet, JGR, 1998 ; Fukushima et al, JGR, 2005]. Actuellement, grâce au Labex ClerVolc, des développements numériques, sont en cours afin de prendre en compte les milieux hétérogènes [Bodart et al, SIAM JSC, 2016].

Cet outil est actuellement utilisé pour exploiter les données InSAR issues du Service National d'Observation en Volcanologie (OI²) labellisé, porté par l'OPGC. Il a vocation à être mis à disposition de l'ensemble des chercheurs travaillant avec des données InSAR. Il peut aussi être utilisé pour l'exploitation d'autres données de déplacements mesurées par satellites (GNSS) ou pour des données de terrain (inclinomètres, dilatomètres). En contexte volcanique, defvolc permet l'interprétation de données de déplacement afin de déterminer le parcours du magma [Wauthier et al., JGR, 2012 ; GSL, 2013 ; Smittarello et al., JGR, 2019], et d'estimer comment les édifices volcaniques répondent aux injections répétées de magma par des alternances dans la répartition des intrusions [Wauthier et al., Rem. Sens., 2015] ou par des glissements de failles [Tridon et al., JGR, 2016], pouvant générer séismes et tsunamis. Des outils numériques sont actuellement en développement afin de permettre l'interprétation des

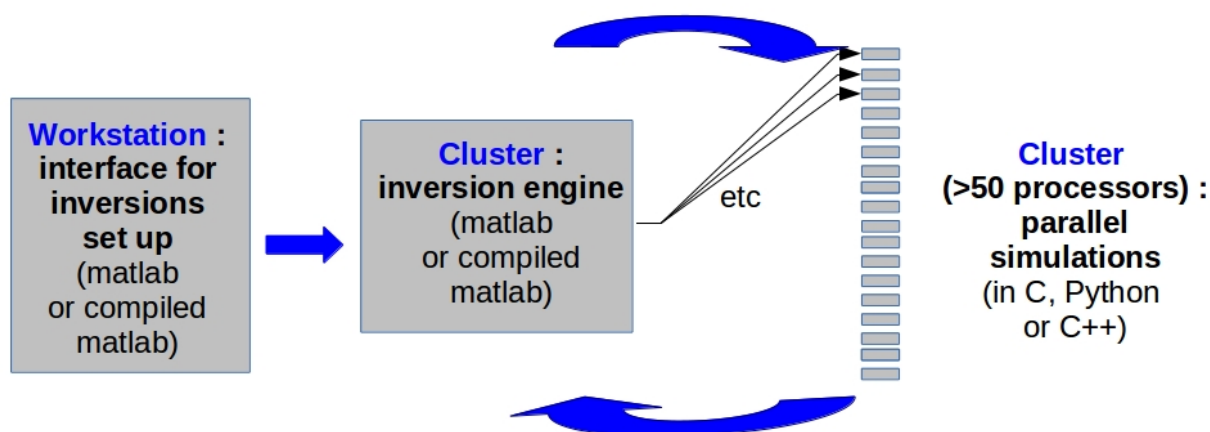
déplacements de failles en contexte volcanique ou tectonique, et de localiser les zones de blocage et de glissements lents, et ainsi d'estimer l'aléas sismique [Bodart et al., DD conf., 2019].

Mission communautaire

Description : Cet outil [Fukushima et al., JGR, 2005] combine des modélisations éléments frontières 3D et des inversions (qui minimisent l'écart entre simulation et données) par méthodes de proches voisins [Sambridge, GJI, 1999]. Les modélisations [Cayol et Cornet, JGR, 1998] supposent que les milieux sont homogène élastiques et 3D. Or, négliger les hétérogénéités de propriétés mécaniques induit des erreurs dans les localisations de sources et dans les estimations de contraintes [Montgomery-Brown et al., JGR, 2009 ; Currenti et al., EPSL, 2011]. Ainsi, dans le cadre du Labex ClerVolc, une méthode de domaines fictifs, basée sur un formalisme éléments finis a été développée [Bodart et al, SIAM, JSC, 2016 ; DD Conf. 2019], afin de permettre des modélisations pour des milieux hétérogènes, et d'amener à des évaluation plus précises. Cette nouvelle méthode s'appuie sur la librairie élément frontières libre et collaborative, getfem, développée à l'Institut Camille Jourdan à l'Université de Lyon. Elle devrait être intégrée dans defvolc. Enfin, une post-doctorante titulaire d'une Bourse CNES (2019-2021) développe actuellement les outils permettant de calculer les variations de gravité, simultanément aux déplacements engendrés par des mouvements de fluides, qu'ils soient magmatiques ou hydrothermaux. Ces calculs seront intégrés à des inversions afin de localiser simultanément les sources d'activité volcanique et de préciser leur nature.

Un outil évolutif : Cet outil numérique a servi de base à une dizaine de thèses parfois menées au laboratoire en collaboration avec Jean-Luc Froger, porteur d'OI², parfois menées en collaborations avec d'autres laboratoires, telles que la thèse de C. Wauthier au Muséum d'Afrique Centrale et à l'Université de Liège (2008-2011), la thèse de D. Smittarello au Laboratoire ISTERRE à Grenoble (2016-), la thèse de T. Shreve en collaboration avec l'IPGP (2018-). Il sert actuellement de base au post-doctorat d'Anne Barnoud sur le modélisation conjointe des déformations et de la gravité.

L'interface et les inversions sont programmées en matlab. A partir du module d'inversion, des simulations éléments frontières (en C) ou par domaines fictifs (en Python ou C++) sont lancées, parfois en parallèle sur des clusters. Ces outils est conçu de façon à ce que chaque thèse, chaque post-doctorat apporte de nouvelles briques et améliore les possibilités d'analyses offertes à la communauté.



Formation : Une interface est en cours de finalisation grâce au recrutement d'un ingénieur (pour 6 mois) dans le cadre du projet Européen d'Infrastructure Eurovolc afin de permettre la mise au point rapide des inversions, et leur lancement sur une machine ou un cluster. Cette interface sera accessible sur le site de l'OPGC (<http://www.opgc.fr/defvolc>). Une formation à l'utilisation de defvolc est prévue dans le cadre d'un école d'automne donnée en marge du workshop MDIS, consacré à la Mesure de la Déformation par Imagerie Satellite, qui se tiendra à Strasbourg en octobre 2019. Ce workshop est en lien avec le pôle de données [Form@ter](http://form@ter). D'autres formations seront données dans le cadre du projet Eurovolc ou dans le cadre des activités de la section géodésie de l'IAVCEI. Cet outil, simple à mettre en œuvre, pourrait être utilisé pour former les étudiants à la modélisation et à l'inversion des déplacements crustaux.

Ouverture et insertion du CC, lien avec les IR/TGIR

Actuellement, la maintenance, l'intégration des nouvelles fonctionnalités est faire par la Chargée de Recherche, porteuse de ces développements. Une aide d'un Ingénieur de Recherche est souhaitable pour améliorer les fonctionnalités de ces codes, les mettre à jour et fournir une assistance aux utilisateurs. Un guide d'utilisateur est en cours d'élaboration dans le cadre du programme Eurovolc. Plusieurs développements sont envisagés, mais ils ne pourront être menés à bien sans le recrutement d'un IR,

(1) le code par domaine fictifs actuellement en développement devra permettre de déterminer les distributions de contraintes sur les fractures, que celles ci soient des intrusions ou des failles. En contexte volcanique, les distributions de pressions des intrusions dépendent de l'état de contraintes de l'édifice, de la résistance à la fracturation, et de la viscosité. Ainsi, cette détermination permettra de comprendre les facteurs qui guident la propagation du magma et de mieux anticiper le parcours du magma et les vitesses de propagation. En contexte de faille, les distributions de contraintes dépendent du relâchement des contraintes par les glissements précédents et donc de la friction des failles. Cette friction est intrinsèque aux propriétés géométriques et mécaniques des différentes parties des failles. La détermination des distributions de contraintes permettra de mieux estimer l'aléa sismique.

(2) Ce code permet actuellement de localiser les sources grâce à des inversions de type Monte Carlo. Ce type de recherche, partiellement aléatoire, est très coûteux numériquement. Il serait souhaitable de permettre la localisations de sources par d'autres méthode plus efficaces. Ainsi, les mathématiciens ont développé des méthodes dites d'optimisation topologique. Il serait souhaitable d'introduire ce type de développement dans les outils proposés à la communauté.

Lien avec les SNO : L'utilisation de cet outil est intimement lié au SNOV OI² labellisé, porté par l'OPGC. Il est fréquemment utilisé pour l'analyse de données InSAR (13 publications), sensibles à la topographie [Cayol et Cornet, GRL, 1998 ; Fukushima et al., JGR, 2005]. Etant donné le flux et la précision croissants de ces données, les codes sont développés et optimisés afin de permettre leur interprétation rapide. Cet outil est fréquemment utilisé en liens avec l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise pour analyser les données GNSS de campagnes ou continues [Peltier et al., GRL, 2006 ; JGR, 2007 ; EPSL, 2008, JVGR, 2009 ; Smittarello et al., JGR, 2016]. Il a aussi été utilisé au Mérapu [Beauducel et Cornet, JGR, 1999 ; Beauducel et al., JGR, 2000], à l'Etna [Beauducel et Carbone, GJI, 2005] et à Montserrat [Green et al., GRL, 2006] pour interpréter des données inclinométriques, dont il a été démontré grâce à ces codes qu'elles sont particulièrement sensibles à la topographie. Enfin, il a été utilisé pour interpréter des données de distancemétrie à Hawaii [Cayol et al., Science, 2000 ; Dieterich et al., Nature, 2000 ; USGS Prof. Pap., 2003].

Insertion Européenne et internationale : Defvolc est utilisé à l'IPGP, et à l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise. Il a été utilisé pour des projets impliquant des collaborations européennes au Royaume Uni (Université de Leeds), en Belgique (Museum d'Afrique centrale de Tervuren et l'université de Liège en Belgique), et au Luxembourg (European Center for Geodynamics and Seismology). Il sera utilisé par les observatoires volcanologiques Européens dans le cadre du projet d'infrastructure Eurovolc. Il est utilisé aux USA (Cargenie, Penn State), et au Japon (Université de Tohoku). Au total, on compte une douzaine d'utilisateurs en France et une dizaine d'utilisateurs à l'étranger.

Qualité de la mise en commun

Les modélisations par éléments frontières ont été validées par des comparaisons avec des solutions analytiques et numériques utilisées en volcanologie [Cayol et Cornet, IJRMMS, 1997 ; Fukushima et al., JGR, 2005]. L'historique des versions est traité artisanalement, et c'est la chargée de recherche qui assure l'intégration des nouvelles fonctionnalités au code final. Les modélisations par domaines fictifs sont testées par comparaison avec des solutions analytiques et aux résultats du code éléments frontières. Afin de permettre le développement collaboratif de l'interface avec l'ingénieur recruté dans le cadre du projet Eurovolc, la plateforme gitlab est utilisée depuis quelques mois.

Mise à disposition du code

Les codes de l'interface et des inversions sous matlab sont mis à disposition. Les codes éléments frontières sont en partie basés sur un code propriétaire, Examine, actuellement vendu par Rocscience (<https://www.rocscience.com/>). Cette méthode a été adaptée aux problèmes de volcanologie, par

l'ajout de sources de type fractures, de topographies et par l'ajout de pressions. Étant propriétaires d'une licence, nous pouvons les utiliser mais nous ne pouvons les distribuer. Aussi, l'utilisation de ces codes est restreinte à des calculs effectués sur nos clusters.

En parallèle, nous développons une nouvelle génération de codes basés sur une méthode de domaine fictifs, qui utilisent une librairie éléments finis libre et collaborative. Ces codes s'intégreront à defvolc et pourront à terme être distribués via l'interface mise en place sur le site de l'OPGC.

Parce qu'ils apportent des outils permettant la valorisation des données Ces codes s'intègrent dans les objectifs pôle de données [Form@ter](#) puisqu'ils visent à apporter des outils permettant la valorisation des données spatiales et in-situ de mesures de la forme de la terre.

Diffusion et rayonnement scientifique

Collaborations nationales :

IPGP, Paris et **OVPF**, La Réunion : François Beauducel , Raphael Grandin, Tara Shreve, et Aline Peltier,
Cibles : Merapi (Indonésie), Etna (Italie)

Isterre, Université de Savoie, Chambéry, Delphine Smittarello et Virginie Pinel
Cible : Piton de la Fournaise

Université P. Sabatier, Toulouse : D. Remy
Cible : Lastaria

Collaborations Européennes :

Belgique : Museum d'Afrique Centrale, Université de Liège, Christelle Wauthier, François Kervyn

Luxembourg : European Center for Geodynamics and Seismology (ECGS), Nicolas d'Oreye, Halldor Geirson.

Cibles : Nyiragongo et Nyamuragira (République démocratique du Congo).

Royaume Uni : University of Leeds, Yurgen Neuberg et David Green

Cible : Soufriere Hills à Montserrat (Caraïbes)

Observatoires volcanologiques Européens grâce à Eurovolc.

Collaborations internationales :

Etats Unis : Carnegie et Penn State, Christelle Wauthier, Judit Fernandez Santana

Cibles : Kilauea (Etats Unis), Pacaya (Nicaragua)

Japon : Kyoto Center for Disaster Prevention, International Research Institute of Disaster Science : Yo Fukushima.

Cibles : Volcans de Honshu (Japon)

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Fournir un organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du service et de **ses ressources numériques et humaines**. L'organigramme doit s'accompagner d'un engagement de l'unité hôte (OSU, UMR, UMS) à l'inscrire dans ses priorités d'attribution de moyens en cas de labellisation (*lettres d'engagement à fournir en annexe*).

Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission du CC (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique). Les ressources humaines seront comptabilisées en *personnes mois* (pm) sur la base du temps réel effectué. Les organismes d'appartenance et les corps des personnels seront précisés à l'aide d'un tableau du type suivant :

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le CC | pm |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| Cayol Valérie | CNRS, LMV, UCA, CR | Coordination, développement | 6 |
| Bodart Olivier | ICJ, UdL, MdC | Développement Domaines fictifs | 0.2 |
| Koko Jonas | LIMOS, UCA, MdC | Développement domaines fictifs | 0.1 |

Gouvernance

Les participants actuels à defvolc sont les suivants :

Valérie Cayol (LMV, UCA) : Coordination des modèles, inversions et de l'interface.

Olivier Bodart (ICJ, UdL) : développement du code éléments frontières, formation en encadrement des post-doctorants participant à son développement.

Jonas Koko (LIMOS, UCA) : Développement du code éléments frontières.

Budget

Les ressources financières de toutes origines doivent être prises en compte dans le tableau suivant, en distinguant les ressources récurrentes sur les 4 dernières années et occasionnelles. Indiquer également le budget prévisionnel pour la période 2021-2025.

| Ressources récurrentes sur 2014-2018 | | | Ressources occasionnelles sur 2014-2018 | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------|---|---------------|-----------------------------------|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | Commentaire |
| | | | ClerVolc | 180 k€ | 2 post-doctorants de 2 ans chacun |
| | | | Eurovolc | 22 k€ | 6 mois ingénieur |
| | | | | 2 k€ | Stage 3 mois |
| TOTAL | | | TOTAL | 204 k€ | |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

Production scientifique des développeurs du Code (publications de rang A, conférences, thèses)

Publications de Rang A (4 publications par ordre chronologique)

1. Cayol V., T. Catry, L. Michon, M. Chaput, V. Famin, O. Bodart, J. L. Froger, C. Romagnoli, Sheared sheet intrusions as mechanism for lateral flank displacement on basaltic volcanoes: Application to Réunion Island volcanoes, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2014JB011139, 2014
2. Froger J.-L., V. Famin V., V. Cayol, A. Augier, L. Michon; J-F Lénat, Time-dependent displacements during and after the April 2007 eruption of Piton de la Fournaise, revealed by interferometric data, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 296, p.55-68, doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.02.014, 2015.
3. Froger J. L., V. Cayol, V. Famin, The March-April 2007 eruption of Piton de la Fournaise as recorded by interferometric data, In: P. Bachèlery, Lénat, J.-F., Di Muro, A., Michon, L. (Editors), *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean: Piton de la Fournaise and Karthala. Active Volcanoes of the World*. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg, 428p., ISBN 978-3-642-31394-3, 2016.
4. Tridon, M., V. Cayol, J.-L. Froger, A. Augier, and P. Bachèlery, Inversion of coeval shear and normal stress of Piton de la Fournaise flank displacement, *Journal of Geophysical Research:Solid Earth*, doi: 10.1002/2016JB013330, 2016.

Conférences (22 interventions par ordre chronologique)

5. Tridon, M., V. Cayol, J.-L. Froger, A. Augier, Magma propagation and atypical eruptions at Piton de la Fournaise volcano (Réunion Island) : the april 2007 eruption", *Nemoh school "Inverse methods in geophysics and volcanology"*, Dublin, August 31 to September 5, 2014
6. Cayol, V. T. Catry, L. Michon, M. Chaput, V. Famin, O. Bodart, J. L. Froger, C. Romagnoli, Sheared sheet intrusions as mechanism for lateral flank displacement on basaltic volcanoes: Application to Réunion Island volcanoes, *American Geophysical Union, San Francisco, U.S.A., décembre 2014*.
7. Cayol V., Invitée, Tracking intrusions from deformations with applications to Piton de la Fournaise and Nyiragongo, *MEMOVOLC meeting, Anticipating volcanic eruptions*, Pisa, Feb. 2015.
8. Tridon, M., V. Cayol and J.L. Froger, Modeling the eastern flank displacement of Piton de la Fournaise volcano (Réunion Island) observed by InSAR after the April 2007 eruption, *Fringe 2015 workshop "Advances in the science and applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop"*, Frascati, Italie, Mars 2015.
9. Bato M. G., J.L. Froger, M. Tridon, V. Cayol, A. Harris, N. Villeneuve, InSAR Mapping of displacements and lava flows related to recent eruptions (2010-2014) at Piton de la Fournaise, *Fringe 2015 workshop "Advances in the science and applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop"*, Frascati, Italie, Mars 2015.
10. Cayol, V. C. Cattelain, C. Gouinaud, J. L. Froger, Interface for the joint inversion of sources geometries, locations and stress changes, *Fringe 2015 workshop "Advances in the science and applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop"*, Frascati, Italie, Mars 2015.
11. Cayol V., Interface pour la préparation rapide d'inversions et application à l'éruption du Piton de la Fournaise d'octobre 2010, *Journée thématique sur l'île de la Réunion du Service National des Observatoires Volcanologiques*, Paris, Avril 2015.
12. Tridon M., V. Cayol, J.-L. Froger et P. Bachèlery, Modélisation du glissement du flanc Est du Piton de la Fournaise observé par InSAR après l'éruption d'avril 2007, *Journée thématique sur l'île de la Réunion du Service National des Observatoires Volcanologiques*, Paris, Avril 2015.

13. Cayol V., Sill as a trigger for lateral flank displacements, *Workshop Université Blaise Pascal - University of British Columbia - Simon Fraser University*, Juin 2015.
14. Tridon, M., V. Cayol, J.-L. Froger, A. Augier, Modelling the Eastern Flank displacement of Piton de la Fournaise volcano (Réunion Island) observed by InSAR after the April 2007 eruption, *Atelier ForM@Ter MDIS (Mesure de Déformations par Imagerie Spatiale)*, Autrans, Oct. 2015.
15. Tridon, M., V. Cayol, J.-L. Froger, A. Augier, Sheared Sill Triggers Large Flank Displacements at Piton de la Fournaise Volcano (Réunion Island), *American Geophysical Union, San Francisco, U.S.A., décembre 2015*.
16. Augier A., Cayol V., Froger J.-L., Menassian S., Improved Cluster Method Applied to the InSAR data of the 2007 Piton de la Fournaise eruption, *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, U.S.A., Dec 2016.
17. Cayol V., M. Tridon, J.-L. Froger, A. Augier, P. Bachelery, *Inversion of Coeval Shear and Normal Stress of Piton de la Fournaise Flank Displacement*, *American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, Calif. U.S.A., 12-16 Dec 2016*.
18. Froger J.-L., V. Cayol, M. Tridon, M. G. Bato, D. Remy, Y. Chen, D. Smittarello, V. Pinel, J.-M. Prival, N. Villeneuve, A. Peltier, A. Augier, S. Rivet, Y. Guehenneux, *Indian Ocean InSAR OBSERVATORY (oi²) – Routine Interferometric Monitoring of a VOLCANIC ISLAND, Fringe 2017 workshop “Advances in the science and applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop Helsinki, juin 2017*.
19. Cayol, V., A. Augier, S. Court, J.-L. Froger, S. Menassian, *Invited, Improved Cluster of Volume Strain Method Applied to Volcano Deformation, IAVCEI Scientific Assembly, Portland, Oregon, USA, August 2017*.
20. Cayol, V., M. Tridon, J.-L. Froger, A. Augier, *Inversion of Coeval Shear and Normal Stress of Piton de la Fournaise Flank Displacement, IAVCEI Scientific Assembly, Portland, Oregon, USA, August 2017*.
21. Froger J.-L., V. Cayol, M. Tridon, M. G. Bato, D. Remy, Y. Chen, D. Smittarello, V. Pinel, A. Hrysiwicz, J.-M. Prival, N. Villeneuve, A. Peltier, A. Augier, S. Rivet, Y. Guehenneux, *Indian Ocean InSAR Observatory (OI2) – Routine Interferometric Monitoring of a Volcanic Island, the Piton de la Fournaise, MDIS-Form@ter-Workshop MDIS-Form@ter Workshop, Besse en Chandesse, Octobre 2017*.
22. Tridon M., V. Cayol, J.-L. Froger, K. Richards-Dinger, J. Dieterich, *Piton de la Fournaise Flank Displacement during the March-April 2007 eruption, MDIS-Form@ter Workshop, Besse en Chandesse, Octobre 2017*.
23. Cayol V., M. Tridon, J.-L. Froger, K. Richards-Dinger, J. Dieterich, *Piton de la Fournaise Flank Displacement following the March 2007 eruption, Cities of Volcanoes, Naples, Italie, Sept. 2018*.
24. Cayol V., M. Tridon, Froger J.-L., K. Richards-Dinger, J. Dieterich, and A. Augier, *Piton de la Fournaise Flank Displacement following the March 2007 eruption, 19th General assembly of Wegener, Grenoble, France. Sept., 2018*.
25. Dumont. Q., V. Cayol et J.-L. Froger, *Link between flank slip and eruptions at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion), 19th General assembly of Wegener, Grenoble, France. Sept., 2018*.
26. V. Cayol, D. Smittarello, V. Pinel, A. Peltier, J.-L. Froger, *Invitée, Propagation of magma associated to Piton de la Fournaise eruptions from joint inversion of InSAR and GNSS data, 26^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, Lille, France. Nov., 2018*.

Thèses (2 thèses par ordre chronologique)

1. Marine Tridon “Analyse des glissements de flanc liés à l’éruption du Piton de la Fournaise de 2007”, *Marine est décédée sans avoir pu soutenir sa thèse*.
2. Quentin Dumont “Modélisation du lien entre éruptions et glissements de flancs au Piton de la Fournaise grâce aux lois de friction « rate and state », thèse débutée depuis septembre 2018

Production scientifique des utilisateurs du Code

Publications de Rang A (6 publications. Ces publications sont indiquées par ordre chronologique)

1. Remy, D., Froger, J. L., Perfettini, H., Bonvalot, S., Gabalda, G., Albino, F., Cayol, V., Legrand, D., De Saint Blanquat, M., *Persistent uplift of the Lazufre volcanic complex (Central Andes): New insights from PCAIM inversion of InSAR time series and GPS data. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 15, DOI: 10.1002/2014GC005370, 2014*.
2. Beauducel F., and D. Carbone, 2015. *A strategy to explore the topography-driven distortions in the tilt field induced by a spherical pressure source. The case of Mt. Etna, Geophys. J. Int., 201(3), 1471-1481, doi: 10.1093/gji/ggv076*
3. Wauthier, C., V. Cayol, B. Smets, N. d’Oreye, F. Kervyn, *Magma pathways and their interactions inferred from InSAR and stress modeling at Nyamulagira Volcano, D.R. Congo, Remote Sensing, 7, 15179-15202, doi:10.3390/rs71115179, 2015*.
4. Wauthier, C., Smets, B., & Keir, D. (2015). *Diking-induced moderate-magnitude earthquakes on a youthful rift border fault: The 2002 Nyiragongo-Kalehe sequence, DR Congo. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 16(12), 4280-4291*.
5. Conway, S., Wauthier, C., Fukushima, Y., & Poland, M. *A retrospective look at the February 1993 east rift zone intrusion at Kīlauea volcano, Hawaii. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 358, 241-251, 2018*.
6. Smittarello, D., Cayol, V., Pinel, V., Peltier, A., Froger, J.-L., & Ferrazzini, V. *Magma propagation at Piton de la Fournaise from joint inversion of InSAR and GNSS. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124, 1361–1387. https://doi.org/10.1029/2018JB016856, 2019*

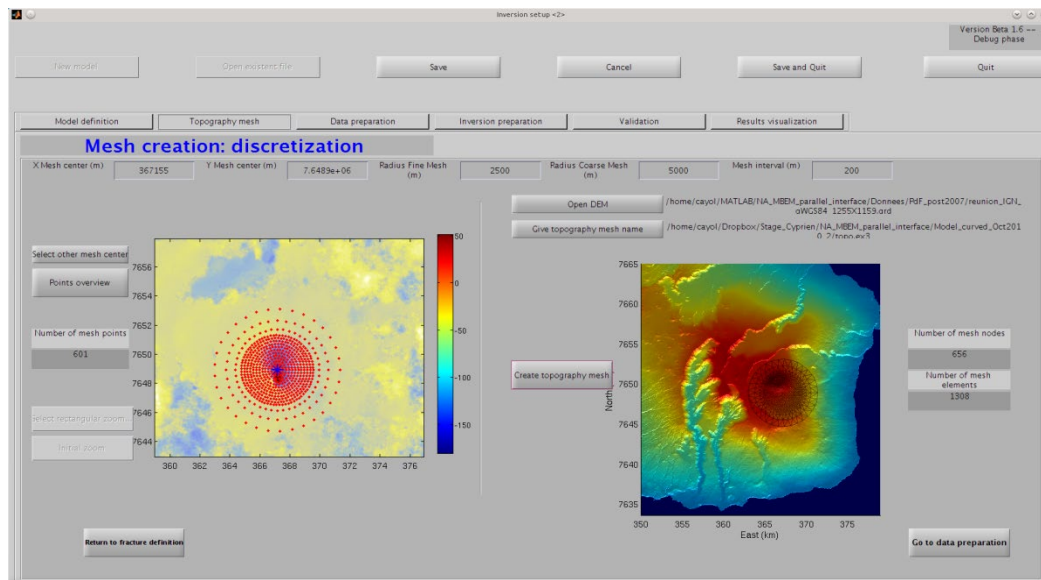
Conférences (13 intervention dans des conférences, par ordre chronologique)

1. Court S., Bodart O., Cayol V. and J. Koko, *Finite element methods for imposing jump boundary conditions with a fictitious domain approach, Congrès National d’Analyse Numérique, Carry-Le-Rouet, Avril 2014*.

2. Court S., Bodart O., **Cayol V.** and J. Koko, Fictitious domain methods for fracture models in elasticity, *European Conference on Mathematics for Industry*, Taormine, Italie, June 2014.
3. Wauthier, C., D. Roman, M. Poland, A. Miklius, A. Hooper, Y. Fukushima, **V. Cayol**, Deformation Sources in Kīlauea’s Southwest Rift Zone Inferred from the Modeling of Geodetic and Seismic Data, *American Geophysical Union, San Francisco, U.S.A., décembre 2014*.
4. *Court S., O. Bodart, V. Cayol and J. Koko, Fictitious Domain Methods for Fracture Models in Elasticity, American Geophysical Union, San Francisco, U.S.A., décembre 2014.*
5. Wauthier, C. D. Roman, M. Poland, A. Miklius, A. Hooper, Y. Fukushima, V. Cayol, *Magma-Tectonic Processes in Kīlauea’s Upper Rift Zones Revealed by the Modeling of Geodetic and Volcano-Tectonic Seismic Datasets, Fringe 2015 workshop “Advances in the science and applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop”, Frascati, Italie, Mars 2015.*
6. Kervyn F., d’Oreye N., Albino F., Derauw D., Cayol V., Arjon A., Nobile A., *Ten years of InSAR in the Virunga: results and perspectives, Fringe 2015 workshop “Advances in the science and applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop”, Frascati, Italie, Mars 2015.*
7. Bodart O., S. Court, **V. Cayol** and J. Koko, Moving interfaces in Finite Element Methods: A fictitious domain approach, *13th US National Congress on Computational Mechanics*, San Diego, CA, 26-30 juillet 2015.
8. Bodart O., **V. Cayol**, S. Court, J. Koko, Méthode de domaines fictifs pour l’inversion des déformations en milieu hétérogène, *Atelier ForM@Ter MDIS (Mesure de Déformations par Imagerie Spatiale)*, Autrans, Oct. 2015.
9. Geirsson, H., B. Smets, N. D’Oreye, **V. Cayol**, S. Samsonov, F. Kervyn, *S (4 thèses, dans d’autres universités, par ordre chronologique)ource processes of near-field deformation accompanying recent lava lake level decrease at Nyiragongo, DR. Congo, European Geophysical Society, Avril 2016.*
10. Smittarello D., V. Cayol, V. Pinel, A. Peltier, J.-L. Froger, *Basaltic intrusions propagation modeling based on InSAR and GNSS data, application to the May 2016 eruption of Piton de la Fournaise Volcano (La Réunion Island), MDIS-Form@ter Workshop, Besse en Chandesse, Octobre 2017.*
11. *Bodart O., F. Dabaghi, V. Cayol and J. Koko, An optimal control problem based on a fictitious domain method for inversion of the pressure contribution on the crack in the volcanic concepts, 25th International Domain Decomposition Methods Conference, St Johns, Newfoundland, Canada, Autriche, July 2018.*
12. Smittarello D., **V. Cayol**, V. Pinel, A. Peltier, J.-L. Froger, *Basaltic Magma Propagation: Insight from Inversion of InSAR and GNSS data of the May 2016 Piton de la Fournaise eruption, Cities of Volcanoes, Naples, Italie, Sept. 2018.*
13. **Smittarello D., V. Cayol, V. Pinel, A. Peltier, J.-L. Froger, Propagation of magma associated to Piton de la Fournaise eruptions from joint inversion of InSAR and GNSS data, 19th General assembly of Wegener, Grenoble, France. Sept., 2018.**

Thèses (2 thèses, dans d’autres universités, par ordre chronologique)

1. *Delphine Smittarello : “Propagation des intrusions basaltiques: modélisation et suivi temporel par inversion des données de déformation, application au Piton de la Fournaise”, ISTERRE de l’Université de Savoie, 2016*
2. *Tara Shreve “InSAR applied to the study of sub-surface processes at equatorial volcanoes”, Institut de Physique du Globe de Paris, 2017.*



Interface DEFVOLC : Onglet de présentant la mise au point du maillage de la topographie

| |
|--|
| Type de service : Code numérique Nom du code numérique : VOLCFLOW Adresse URL du site web du service : http://lmv.uca.fr/volcflow/ |
|--|

Résumé du service:

Le code VolcFlow a été développé pour la modélisation des écoulements volcaniques. Il a été utilisé pour reproduire les avalanches de débris, les écoulements pyroclastiques et les lahars. Une option thermique permet de simuler la mise en place des coulées de lave. Des options à deux fluides simulent la mise en place de la partie dense et de la partie diluée des écoulements pyroclastiques, le tsunami créé par l'entrée en mer d'une avalanche de débris et l'effet d'une rivière sur le refroidissement des coulées de lave.

Le code est écrit sous Matlab. Sa grande souplesse réside dans les scripts programmables par l'utilisateur lui permettant de choisir les conditions initiales, sources et aux limites voulues ainsi que la rhéologie et la représentation souhaitées. La capacité d'intégrer de nombreuses rhéologies le rend particulièrement performant pour simuler les phénomènes naturels aux rhéologies complexes et non encore comprises.

Hors du domaine de la volcanologie, il a été utilisé pour simuler les glissements de terrain au Groenland et les tsunamis martiens.

Nom du responsable : Karim Kelfoun

Dr, Maître de conférences
karim.kelfoun@uca.fr

Laboratoire : Laboratoire Magmas et Volcans

OSU ou établissement/organisme de rattachement : Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC)

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le CC | pm |
|-----------------|--------------------------------|---------------------|-----|
| KELFOUN Karim | UCA, LMV, MCF | Resp. VOLCFLOW | 0.5 |
| DELAGE Emmanuel | UCA, OPGC, IE | Calcul scientifique | 0.5 |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

- Gueugneau V., Kelfoun K., Druitt T. (2019). Investigation of surge-derived pyroclastic flow formation by numerical modelling of the 25 June 1997 dome collapse at Soufrière Hills Volcano, Montserrat. Bulletin of Volcanology vol.81, p.25, DOI:10.1007/s00445-019-1284-y .
- Benjamin J., Rosser N.J., Dunning S.A., Hardy R.J., Kelfoun K., Szczuciński W. (2018). Transferability of a calibrated numerical model of rock avalanche run-out: Application to 20 rock avalanches on the Nuussuaq Peninsula, West Greenland. Earth Surface Processes and Landforms DOI:10.1002/esp.4469 .
- Costard F., Séjourné A., Kelfoun K., Clifford S., Lavigne F., Di Pietro I., Bouley S. (2017). Modeling tsunami propagation and the emplacement of thumbprint terrain in an early Mars ocean. Journal of Geophysical Research - Planets vol.122, DOI:10.1002/2016JE005230 .
- Gueugneau V., Kelfoun K., Roche O., Chupin L. (2017). Effects of pore pressure in pyroclastic flows: Numerical simulation and experimental validation. Geophysical Research Letters vol.44, DOI:10.1002/2017GL072591 .
- Kelfoun K. (2017). A two-layer depth-averaged model for both the dilute and the concentrated parts of pyroclastic currents. Journal of Geophysical Research - Solid Earth vol.122, DOI:10.1002/2017JB014013 .
- Kelfoun K., Gueugneau V., Komorowski J.C., Aisyah N., Cholikh N., Merciecca C. (2017). Simulation of block-and-ash flows and ash-cloud surges of the 2010 eruption of Merapi volcano with a two-layer model. Journal of Geophysical Research - Solid Earth vol.122, DOI:10.1002/2017JB013981 .
- Paris R., Coello Bravo J.J., Martin Gonzalez M.E., Kelfoun K., Nauret F. (2017). Explosive eruption, flank collapse and megatsunami at Tenerife ca. 170 ka. Nature Communications vol.8, p.15246, DOI:10.1038/ncomms15246 .

8. Harris A., Carn S., Dehn J., Del Negro C., Gudmundsson M.T., Cordonnier B., Barnie T., Chahi E., Calvari S., Catry T., De Groeve T., Coppola D., Davies A., Favalli M., Ferrucci F., Fujita E., Ganci G., Garel F., Huet P., Kauahikaua J., Kelfoun K., Lombardo V., Macedonio G., Pacheco J., Patrick M., Pergola N., Ramsey M., Rongo R., Sahy F., Smith K., Tarquini S., Thordarson T., Villeneuve N., Webley P., Wright R., Zaksek K. (2016). Conclusion: recommendations and findings of the RED SEED working group. p.567-648, *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*. Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F. & Carn, S. A. (eds), Geological Society, London, Special Publications, 426, The Geological Society of London (ed.), DOI:10.1144/SP426.11 .
9. Latutrie B., Andredakis I., De Groeve T., Harris A., Langlois E., Van Wyk De Vries B., Saubin E., Bilotta G., Cappello A., Crisci G.M., D'Ambrosio D., Del Negro C., Favalli M., Fujita E., Iovine G., Kelfoun K., Rongo R., Spataro W., Tarquini S., Coppola D., Ganci G., Marchese F., Pergola N., Tramutoli V. (2016). Testing a geographical information system for damage and evacuation assessment during an effusive volcanic crisis. p.649-672, *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*. Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F. & Carn, S. A. (eds), Geological Society, London, Special Publications, 426, The Geological Society of London, DOI:10.1144/SP426.19 .
10. Nomikou P., Druitt T., Hübscher C., Mather T.A., Paulatto M., Kalnins L.M., Kelfoun K., Papanikolaou D., Bejelou K., LaMPridou D., Pyle D.M., Carey S., Watts A.B., Weis B., Parks M.M. (2016). Post-eruptive flooding of Santorini caldera and implications for tsunami generation. *Nature Communications* vol.7, DOI:10.1038/ncomms13332 .
11. Ulvrova M., Paris R., Nomikou P., Kelfoun K., Leibrandt S., Tappin D.R., McCoy F.W. (2016). Source of the tsunami generated by the 1650 AD eruption of Kolumbo submarine volcano (Aegean Sea, Greece). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* vol.321, p.125-139, DOI:10.1016/j.jvolgeores.2016.04.034 .
12. Özdemir Y., Akkaya I., Oyan U., Kelfoun K. (2016). A debris avalanche at Süphan stratovolcano (Turkey) and implications for hazard evaluation. *Bulletin of Volcanology* vol.78, p.9, DOI:10.1007/s00445-016-1007-6 .
13. Brothelande E., Lénat J.F., Normier A., Bacri C., Peltier A., Paris R., Kelfoun K., Merle O., Finizola A., Garaebiti E. (2015). Insights into the evolution of the Yenkahe resurgent dome (Siwi caldera, Tanna Island, Vanuatu) inferred from aerial high-resolution photogrammetry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* vol.299, p.78-90, DOI:10.1016/j.jvolgeores.2015.04.006 .
14. Kelfoun K., Vallejo Vargas S. (2015). VolcFlow capabilities and potential development for the simulation of lava flows. Testing a GIS for damage and evacuation assessment during an effusive crisis. vol.426, In : Harris, A., De Groeve, T., Garel, F., & Carn, S.A. (eds) *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society, London, Special Publications.
15. Latutrie B., Andredakis I., De Groeve T., Harris A., Langlois E., Van Wyk De Vries B., Saubin E., Bilotta G., Cappello A., Crisci G., D'Ambrosio D., Del Negro C., Favalli M., Fujita E., Iovine G., Kelfoun K., Rongo R., Spataro W., Tarquini S., Coppola D., Ganci G., Marchese F., Pergola N., Tramutoli V. (2015). Testing a GIS for damage and evacuation assessment during an effusive crisis. vol.426, In: Harris, A., De Groeve, T., Garel, F., & Carn, S.A. (eds) *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society, London, Special Publications.
16. Bernard J., Kelfoun K., Le Pennec J.L., Vallejo Vargas S. (2014). Pyroclastic flow erosion and bulking processes: comparing field-based vs. modeling results at Tungurahua volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology* vol.76, p.858, DOI:10.1007/s00445-014-0858-y .
17. Doucelance R., Kelfoun K., Labazuy P., Bosq C. (2014). Geochemical insights into the internal dynamics of debris avalanches. A case study: the Socompa avalanche, Chile. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem* 15, 2282-2300. DOI:10.1002/2014GC005235 .
18. Ulvrová M., Paris R., Kelfoun K., Nomikou P. (2014). Numerical simulations of tsunami generated by underwater volcanic explosions at Karymskoye Lake (Kamchatka, Russia) and Kolumbo volcano (Aegean Sea, Greece). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14, 401-412. .

Appartenance du service (ANO 1-> 5) : ANO-1

Adresse URL du site web du service :

<https://www.actris.fr/clap/>

Résumé du service :

L'objectif de CLAP est le suivi de paramètres climatiques essentiels (essential climate variables – ECV-) liés à l'aérosol atmosphérique et définis comme tels par GCOS (Global Climate Observing System) et GAW (Global Atmosphere Watch), à partir de sites d'observation. Ces mesures doivent permettre d'évaluer, dans un contexte de changement climatique (1) l'évolution long terme de certaines sources importantes de l'aérosol, (2) l'évolution long terme de la charge en aérosol pour différentes classes de taille et pour différentes espèces chimiques, et (3) les rétroactions éventuelles de l'aérosol vers le climat à travers ses propriétés optiques et de noyau de condensation nuageuse (CCN). Le SNO CLAP a donc pour objectif de fournir des données de qualité sur la variabilité spatiale et temporelle des propriétés physico-chimiques de l'aérosol atmosphérique, à partir de sites d'observation entièrement ou partiellement gérés par des observatoires français (5 sites français et 2 sites partiellement gérés par des laboratoires français). La grande variabilité spatio-temporelle des sources et des mécanismes de (trans-)formation de l'aérosol nécessite une observation depuis l'échelle horaire pour les études de processus, jusqu'à l'échelle multi-décennale pour en évaluer l'évolution à l'échelle climatique. Afin de couvrir la plus grande étendue possible de types de sources et de rétroactions possible, ces observations sont menées dans des environnements contrastés mais chacun représentatif d'une large zone géographique ou spécifique d'un environnement particulier. Le périmètre géographique du SNO concerne donc les sites de relevance régionale et globale représentant la Troposphère libre (sites d'altitude) en diverses zones du Globe (France, Amérique Latine, Himalaya, Afrique Australe) mais également la troposphère continentale plus ou moins directement influencée par les émissions anthropiques (site péri-urbain, site en zone agricole). Les variables observées sont actuellement au nombre de 7 réparties entre variables physiques, chimiques, et optiques intrinsèquement liées les unes aux autres (tailles, propriétés optiques, et chimiques, nombre de noyaux de condensation de nuage). Elles correspondent à celles pour lesquelles des procédures méthodologiques sont en place au niveau national et européen pour assurer tant la qualité de la mesure, et sa traçabilité, en lien avec les recommandations de l'IR ACTRIS européenne.

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique) : Sellegri Karine, DR2, K.Sellegri@opgc.cnrs.fr

Laboratoire : Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP), UMR 6016

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC, Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, UMS 833

Autres organismes associés : INERIS, ANDRA, IRD, UCA, UGA, UPS, Université de la Réunion, UVSQ

- Université Clermont Auvergne (UCA)
- Université Grenoble Alpes (UGA)
- Université de la Réunion
- Université Paul Sabatier (UPS)
- Université Versailles Saint Quentin (UVSQ)
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)
- Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA)
- IRD

Signature du responsable :



Signature du directeur OSU gestionnaire (ou établissement/organisme de rattachement) :

La Directrice de l'OPGC



Nathalie HURET

Autres laboratoires et OSU intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer le nom et l'adresse électronique du responsable, et donner en deux lignes maximum, la nature de l'implication dans le service, hors exploitation scientifique) :

- Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), l'observatoire de Versailles St Quentin et l'Institut Pierre-Simon-Laplace - Valérie Gros (valerie.gros@lsce.ipsl.fr), en charge des mesures d'aérosol in situ du SI du SIRTa
- L'Unité Mixte de Service de l'OSU-R (UMS 3365) à l'Université de La Réunion et Le Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones UMR 8105 de l'Université de la Réunion- Pierre Tulet (pierre.tulet@univ-reunion.fr) - Responsabilité et co-responsabilité scientifique des instruments de mesure in situ à l'OPAR
- Laboratoire d'Aérodynamique et Observatoire Midi Pyrénées - Véronique Pont (Veronique.Pont@aero.obs-mip.fr) - Responsabilité des instruments de mesures in situ de la station P20A/Pic du Midi
- Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) et l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG) – Paolo Laj (paolo.laj@univ-grenoble-alpes.fr) en charge d'une partie des mesures des stations GAW Chacaltaya, Bolivie, N-COP, Népal

Le service proposé consiste en une demande de labellisation dans la continuité d'une labellisation existante.

Nous ne proposons pas d'évolution structurelle importante du SNO, mais des aménagements à la marge.

Le cas échéant, décrire l'évolution du service (si pertinent, sinon indiquer 'pas d'évolution') :

Lien avec une IR ou TGIR (oui/non) : oui

Si oui, préciser la (les) IR/TGIR (inclure une lettre de soutien de la ou des IR/TGIR en annexe au dossier) :
IR ACTRIS-Fr

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial (oui/non) :

Se reporter à l'annexe 'lien avec le domaine spatial et les activités du CNES'

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

Il existe un besoin croissant de validation des paramètres aérosols mesurés en télédétection sol et spatiale, pour s'assurer de leur qualité, et compte-tenu de la mise à disposition de plus en plus de nouveaux produits élaborés issus d'algorithmes de restitution complexes basés sur de nombreuses hypothèses et approximations. La mise en place d'un suivi continu de paramètres aérosols répond à une demande très clairement exprimée dans le cadre de la mise en place des services atmosphériques et climatiques de Copernicus et de la stratégie IGACO du réseau GAW.

Un exemple d'utilisation des données CLAP pour la validation satellite est donné en annexe D

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) :

Pas pour l'instant, mais une réflexion est en cours sur l'intégration du site AMS (Ile d'Amsterdam)

Se reporter à l'annexe 'lien avec le domaine polaire et les activités de l'IPEV'

Le service proposé relève-t-il

- d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (oui/non) ? non
- d'autres instituts du CNRS (oui/non) ? non

Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) :

Si oui, préciser le(s)quel(s) (*inclure une preuve d'appartenance ou d'adhésion en annexe au dossier*) :
Pole Atmosphère AERIS

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Les processus scientifiques étudiés devront être décrits, ainsi que les progrès apportés par l'activité du SNO. Justifier la nécessité des observations (observables, sites) sur des durées de 10 ans ou plus.

Contexte, et Objectifs scientifiques

Les aérosols atmosphériques jouent un rôle important sur le bilan radiatif de la terre mais les mécanismes par lesquels ils sont formés puis influencent le climat sont extrêmement complexes et mal appréhendés. Le forçage radiatif effectif du aux interactions aérosol-rayonnement (ERF-ari) et aux interactions aérosol-nuage (ERF-aci) est estimé, avec un degré de confiance moyen, à -0.9 W m^{-2} (-1.9 à -0.1) en moyenne globale annuelle (IPCC, 2013). Ces valeurs moyennes masquent une très grande variabilité régionale pouvant dans certains environnements atteindre des valeurs de forçage radiatif bien supérieures. Les dernières simulations multi-modèles menées dans le cadre d'AEROCOM simulent un effet direct de l'aérosol anthropique variant de -0.58 W m^{-2} à -0.02 W m^{-2} , i.e. globalement un effet refroidissant (Myrhe et al. 2013). Cette même étude montre toutefois que le carbone suie (issu de la combustion de fuel fossiles et de biomasse) a un effet réchauffant de $+0.23 \text{ W m}^{-2}$ (cet effet va jusqu'à $+1.1 \text{ W m}^{-2}$ dans l'étude de Bond et al 2013). Il est donc très important, lorsque l'on s'intéresse à l'évolution de l'impact climatique de l'aérosol dans les années futures, d'avoir les moyens de suivre l'évolution de la nature de cet aérosol.

Les effets des aérosols et le forçage radiatif associé dépendent de leurs propriétés intrinsèques (taille, nombre, composition chimique), elles-mêmes dépendantes des émissions et des transformations de l'aérosol dans l'atmosphère. Les sources d'aérosol sont en particulier extrêmement variables : aérosols primaires marins, désertiques, issus de combustion de fuel ou de biomasse, aérosol secondaire formé par réactions photochimiques au sein de l'atmosphère, à partir de précurseurs biogéniques ou anthropiques. L'intensité de la plupart de ces sources est encore mal quantifiée, qu'elles soient primaires (i.e. émises directement sous forme d'aérosol dans l'atmosphère) ou secondaires (i.e. formées par conversion gaz-particule). Notre capacité de prédiction des propriétés de l'aérosol dans un climat changeant dépend donc non seulement de la compréhension des facteurs déterminant l'intensité des sources et leur évolution, mais aussi d'une bonne compréhension de mécanismes de formation de l'aérosol au sein de l'atmosphère même par nucléation ou condensation de composés gazeux peu volatiles. En particulier, la formation de nouvelles particules de taille nanométrique à partir de précurseurs gazeux par nucléation est un vrai challenge pour la communauté scientifique. Malgré l'ubiquité de ce processus observé dans une multitude d'environnements (Kulmala et al. 2004) et le constat que les particules issues des phénomènes de nucléation contribuent significativement aux concentrations globales en nombre d'aérosols (CN) (Spracklen et al. 2006) et de noyaux de condensation nuageuse (CCN) (Spracklen et al. 2009, Makkonen et al. 2009), ces mécanismes sont encore extrêmement mal connus.

La conséquence de ces incertitudes est que les modèles méso-échelle et grande échelle sous-estiment la fraction d'aérosol secondaire, en particulier la fraction organique, d'un facteur variant de 8 à 100 (Langmann et al. 2013 ; Carlton et al., 2010; Knote et al., 2011; Yu et al., 2007) et que ces limitations ne permettant pas aujourd'hui de prévoir avec un niveau de confiance suffisant l'impact des aérosols dans un environnement changeant où les variations de température, d'humidité ou la présence de concentrations modifiées de précurseurs gazeux affecteront les propriétés des aérosols.

L'observation long-terme vient compléter les études de processus de laboratoire ou les campagnes de mesure spécifiques dédiées à l'étude de certains processus. Il est établi que la mise en évidence de tendances pour les aérosols atmosphériques requiert des séries d'observation >10 ans compte tenu de la variabilité naturelle (voir Asmi et al., 2013). Le temps de vie court et la multiplicité des sources primaires et secondaires induisent une grande variabilité spatiale et temporelle des propriétés des aérosols et de fait, la densité de point d'observation est aussi un élément limitant, notamment pour la validation de modèles chimie-climat.

En conséquence, à travers une stratégie basée sur l'observation long-terme de variables aérosols ECV, le SNO CLAP a pour objectifs de contribuer à trois questionnements scientifiques majeurs, qui le structurent en trois grandes tâches :

T1 : Quels sont les conditions environnementales qui favorisent la formation de l'aérosol secondaire dans l'atmosphère et comment évoluent-elles sur le long terme?

L'évolution future de la fréquence et de l'intensité des événements de formation de nouvelles particules par nucléation dépendent de l'évolution des sources de composés gazeux dans l'atmosphère, elles-mêmes fortement liées à la température (émissions biogéniques issues de la végétation, liées à la biogéochimie marine, et anthropiques liées aux modifications des habitudes de chauffage domestique, etc.). Il est donc primordial de suivre l'évolution dans le temps de ces événements de nucléation, en réponse au changement climatique. De même, la formation de composés organiques secondaires à la surface des particules préexistantes dans l'atmosphère dépend également des sources de composés gazeux précurseurs et de leurs oxydants eux-mêmes liés à la température. Le suivi des paramètres CLAP permettra de quantifier l'évolution de la fraction secondaire de l'aérosol.

T2 : Quelle est l'évolution de la charge en aérosol dans l'atmosphère dans des environnements contrastés, en termes de concentration par classe de taille et en termes de classe de composés chimiques ?

La charge en aérosol dans l'atmosphère dépend des sources primaires et secondaires (appréhendées en T1), ainsi que des puits par dépôt sec et humide. L'évolution, dans un contexte de changement climatique, des sources d'aérosol peut également s'accompagner de changements dans leur transport (par exemple vers les hautes altitudes, ou inter-hémisphérique) et de changements dans leurs puits (induites par exemple par un changement de régimes de précipitation). Il est donc important de suivre l'évolution sur le long terme de la concentration en aérosols dans des environnements contrastés, plus ou moins sensibles à ces modifications dues au changement climatique

T3 : Comment l'évolution des propriétés de l'aérosol dans un climat changeant peut en retour agir sur le climat ?

L'aérosol étant lui-même un acteur de régulation du bilan radiatif terrestre, ayant un effet global de refroidissement, il s'agit d'être capable d'estimer cet impact radiatif et son évolution dans le temps. Les deux effets radiatifs relatifs à l'aérosol que CLAP doit être en mesure d'évaluer sont l'effet direct sur la l'interaction de l'aérosol avec les rayonnements solaire et tellurique, et l'effet sur la couverture nuageuse.

Les objectifs scientifiques énoncés ci-dessus ne pourront être pleinement adressés que grâce à l'utilisation des données CLAP sur les variations long-terme et multi-Sites des propriétés de l'aérosol pour :

L'amélioration des modèles numériques depuis l'échelle du processus jusqu'à l'échelle du climat en passant par la méso-échelle : des informations fiables sont nécessaires pour évaluer la justesse et la complétude des cadastres d'émission et tester les paramétrisations de processus simulés. Par exemple, l'ensemble des études sur les sources de pollution particulaire montre la prévalence de la formation secondaire de particules loin des sources de pollution et en particulier en été. Les modèles actuels ne reproduisent pas correctement ces mécanismes. Il est donc nécessaire d'avoir une caractérisation avancée des propriétés physico-chimiques et optiques des particules pour mieux évaluer la contribution des sources primaires et comprendre les processus physico-chimiques à l'origine de la formation d'aérosols secondaires.

La validation de mesures de télédétection sol et satellitaires à partir des stations sol fixes. Il existe un besoin croissant de validation des paramètres aérosols mesurés en télédétection sol et spatiale, pour s'assurer de leur qualité, et compte-tenu de la mise à disposition de plus en plus de nouveaux produits élaborés issus d'algorithmes de restitution complexes basés sur de nombreuses hypothèses et approximations. La mise à disposition des mesures CLAP pourra permettre la mise en place d'une stratégie de validation, avec une distribution sur plusieurs sites de mesures, des algorithmes d'inversion performants et des méthodologies de validation optimales.

Avancées scientifiques liées à CLAP

Lors des 4 années d'existence du SNO CLAP, de nombreuses avancées scientifiques ont été faites relativement à ces objectifs, tel que décrit ci-après.

Utilisation des données CLAP par les équipes de recherche locales (acteurs du SNO)

Les données CLAP ont été utilisées localement durant la période 2016-2019 par les équipes de recherche qui les produisent pour apporter des éléments de réponse aux trois thématiques de CLAP.

T1. Etude des sources d'aérosol secondaire

L'étude de Foucart et al. (2018) évalue la fréquence et l'intensité des événements de formation de nouvelles particules sur le site du Maido et montre que cet environnement à la fois d'altitude et marin sous influences biogénique et anthropique est propice à l'une des fréquences de formation de nouvelles particules les plus élevées reportées dans la littérature. L'étude de Rose et al. (2019) montre à partir des mesures de distribution en taille de l'aérosol sur le site du Maido lors de l'année 2015 que la présence du panache volcanique du piton de la Fournaise augmente la fréquence de nucléation de nouvelles particules de 71% des jours d'observation à 86%. La nucléation est le processus prédominant dans l'apport du nombre de particules à l'atmosphère et représente 96% du nombre de particules émises, 4% seulement étant d'origine primaire. Une paramétrisation du nombre de particules formées à partir du précurseur acide sulfurique a pu être dérivée des mesures (**Figure 1**) et pourra être insérée dans les modèles pour cette source spécifique d'aérosols.

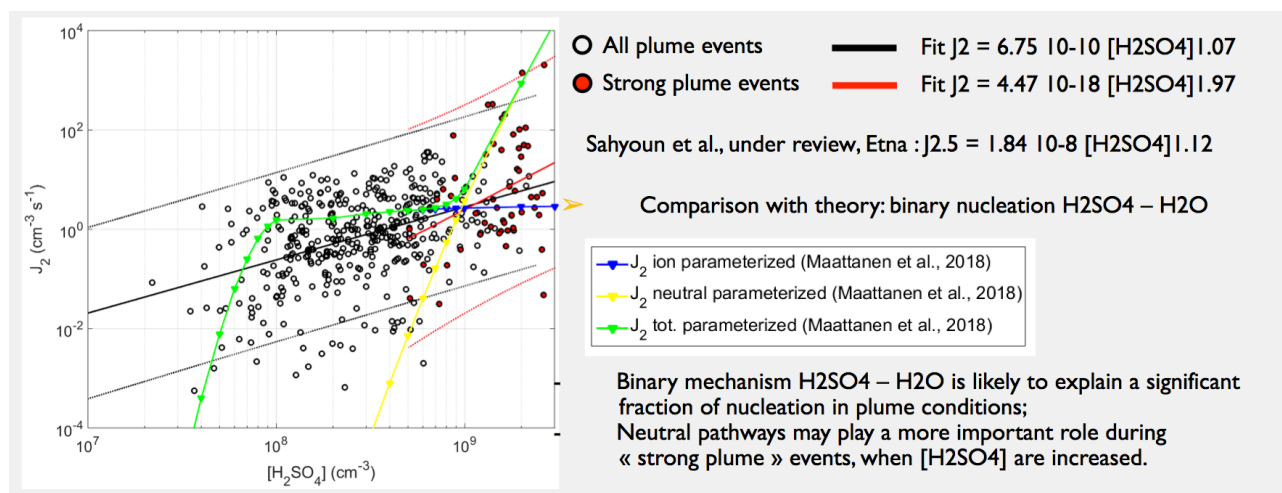


Figure 1 : Taux de formation de nouvelles particules de 2 nm en fonction de la concentration en acide sulfurique calculée partir des mesures en SO_2 , mesurées pendant le passage du panache du piton de la Fournaise sur l'observatoire du Maido au cours de l'année 2015. Meilleures paramétrisations dérivées des mesures comparées à la théorie de la nucléation homogène binaire (acide sulfurique-eau) issue de Matannen et al 2018 (Rose et al. 2019).

Par ailleurs, les travaux de thèse de Jean-Eudes Petit et de Yunjiang Zhang sur les mesures de chimie au SIRTA ont permis une analyse détaillée d'épisodes de pollution typiques, ainsi que la compréhension des origines des principales familles de l'aérosol organique (AO) sur la période 2011-2018 (Petit et al., 2015, Dupont et al., 2016 ; Petit et al., 2017 ; Zhang et al., in prep.). Les résultats obtenus indiquent notamment que l'AO primaire, provenant essentiellement de la combustion de biomasse et du transport routier, est prépondérant sur la période froide (de novembre à février), alors que le reste de l'année est dominé par des aérosols organiques secondaires (AOS). Parmi ces derniers, une fraction relativement peu oxydée, provenant probablement de façon majeure de précurseurs biogéniques, est prépondérante en été (60% de l'AO en moyenne estivale). Les études de tendance ont montré une légère diminution des concentrations (de l'ordre de $0.05-0.20 \mu g/m^3$ par an) de toutes les fractions d'AO identifiées au cours de la période étudiée, hormis pour cette fraction d'AO moins oxydée qui ne présente pas de tendance significative.

T2. Evolution de la charge en aérosol

Les activités de recherche menées au SIRTA/LSCE permettent aujourd'hui de disposer de la plus longue série mondiale d'observation par spectrométrie de masse des espèces majeures submicroniques non réfractaires (dont aérosols organiques, sulfate, nitrate, ammonium), couplée à la mesure du carbone suie (sous ses formes EC et eBC) et des propriétés physiques (concentrations massiques, granulométrie, propriétés optiques) des particules fines. Au cours des 5 dernières années, une analyse détaillée des variations temporelles de ces espèces (cycles journaliers, hebdomadaires, saisonniers et étude de tendances) a notamment pu être réalisée grâce aux travaux de thèse de Jean-Eudes Petit et de Yunjiang

Zhang. Par ailleurs, les travaux de thèse de Deepchandra Srivastava ont clairement illustré l'intérêt de l'analyse chimique de marqueurs moléculaires organiques et leur couplage avec les mesures en temps réel pour une meilleure compréhension des sources et processus de transformation mis en jeu (Srivastava et al., 2018 ; Srivastava et al. 2019a ; Srivastava et al., 2019b).

Farah et al. (2017) utilise une série de traceurs de la dynamique atmosphérique pour différencier sur le site du puy de Dôme les propriétés de l'aérosol de couche limite atmosphérique de celles de l'aérosol de troposphère libre. Les auteurs montrent que l'aérosol de troposphère libre garde une signature de son origine dans la couche limite, même lorsque la masse d'air de troposphère libre n'a pas eu de contact avec la couche limite depuis plus de 75h. Grâce à cette méthode, certains processus sont mis en évidence, tels que le transport direct d'aérosols de combustion vers la troposphère libre au printemps, ainsi que la présence du processus de nucléation qui semble favorisé en altitude durant toute l'année, confirmant des études passées sur le sujet (Boulon et al. 2011).

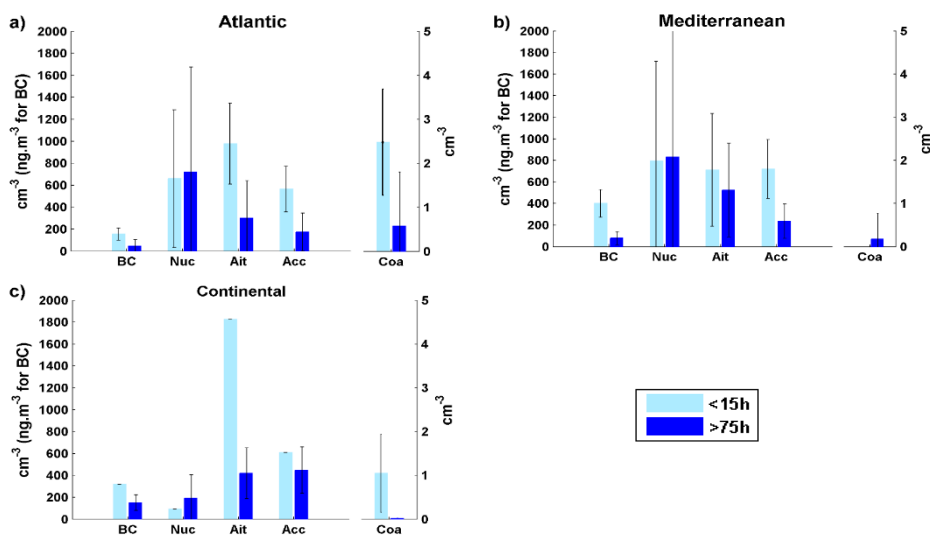


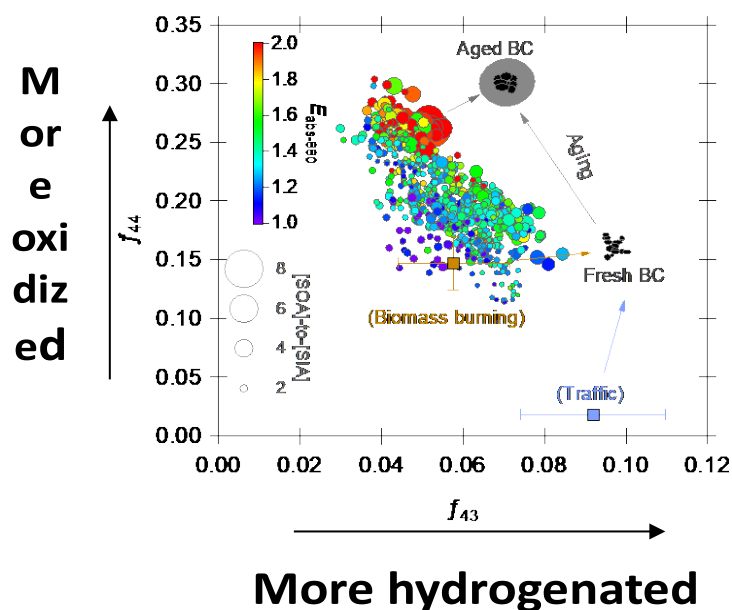
Figure 2. BC, Nucleation (Nuc), Aitken (Ait), Accumulation (Acc) and Coarse (Coa) concentrations as a function of air mass age (<15h (clear blue) and >75h (dark blue)) in the FT for: **a)** Atlantic, **b)** Mediterranean and **c)** Continental air masses.

Dans Rose et al. (2017), les auteurs utilisent les informations sur la dynamique atmosphérique pour quantifier la fréquence de nucléation en troposphère libre relativement à la couche limite atmosphérique sur l'observatoire de CHC. Les auteurs montrent que le processus a lieu avec une fréquence équivalente dans les deux couches de l'atmosphère, et suggèrent que le processus est préférentiellement initié à l'interface entre couche limite atmosphérique en troposphère libre. L'absence de mesure chimique à haute résolution ni de composés gazeux ne permet toutefois pas d'identifier la nature des précurseurs gazeux à l'origine de la nucléation et donc d'identifier les sources responsables de ce phénomène sur le site.

Dans Wiedensohler et al, 2019, les auteurs montrent à partir des données de l'observatoire CHC comment les polluants particulaires émis par l'agglomération urbaine de La Paz/ El Alto peuvent être exportés vers la troposphère libre à travers un mécanisme de transport vertical complexe.

T3. Impact climatique des aérosols

Concernant l'impact radiatif direct des aérosols, il a été démontré à partir des mesures effectuées au SIRTa que la présence d'aérosols organiques secondaires en mélange interne avec le carbone suie joue un rôle majeur sur l'augmentation des capacités d'absorption de ce dernier, en décuplant l'effet « lentille » (Zhang et al., 2018, Figure 3) .



Zhang et al., 2018

Figure 3 : Augmentation des propriétés d'absorption du carbone suie (E_{abs}) avec le degré d'oxydation de l'aérosol organique secondaire (SOA) et le ratio entre ce dernier et l'aérosol inorganique secondaire (SIA).

Pour ce qui concerne l'impact radiatif indirect, Rose et al. (2017) montrent que les aérosols formés par nucléation sur le site de CHC contribuent au nombre de CCN dès le jour de leur formation environ 60% des cas observés. Le nombre de CCN est augmenté de 250% lorsqu'il y a nucléation, comparé aux jours sans nucléation. Cette conclusion relative à l'importance des aérosols secondaires formés par nucléation dans le nombre de CCN dans l'atmosphère est également obtenue dans l'étude de Rose et al. (2019), où les auteurs mettent en évidence que la quantité d'aérosol émis par le volcan du piton de la Fournaise atteignent en majorité la taille de noyaux de condensation nuageuse .

En outre, les données in situ ont également été utilisées par les acteurs du SNO pour évaluer les produits de restitution de l'aérosol issus de la télédétection. Chauvigné et al. (2016) combinent les mesures in situ des propriétés optiques de l'aérosol mesurées au puy de Dôme avec des mesures de télédétection intégrées sur la colonne (photomètre) et discriminées en altitude (LIDAR) pour évaluer la pertinence des algorithmes d'inversion pour la restitution des spectres de taille de l'aérosol. Les résultats montrent un assez bon accord des spectres de taille restituées à partir des mesures photon avec celles mesurées au puy de dôme lorsque la structure de l'atmosphère est prise en compte. Cette étude montre l'intérêt des mesures CLAP pour des exercices de validation satellite, et dnc le lien avec les mesures spatiales et les activités du CNES.

Enfin, au sein de travaux de thèse portant sur l'estimation des forçages semi direct et indirect des aérosols et leur impact sur le régime de précipitations à l'échelle du massif pyrénéen, les séries de données microphysiques, chimiques et optiques de l'aérosol du Pic du Midi ont permis d'évaluer ponctuellement et sur des échelles de temps plus ou moins longues les outputs aérosol du modèle REGCM (REGional Climate Modeling) (poster Diaz et al., EGU Vienna April 2019).

Utilisation des données CLAP par les utilisateurs extérieurs au SNO

T1. Etude des sources d'aérosol secondaire

La répartition spatiale et la dynamique du processus de formation de nouvelles particules par nucléation a été étudié au niveau européen en utilisant les mesures de distribution en taille de l'aérosol du puy de Dôme, parmi d'autres stations européennes par Nieminen et al. (2018) et Dal'Osto et al. (2018). Dans Dal'Osto et al. (2018), les auteurs montrent que le processus se comporte de manière similaire par groupe géographique de stations classées principalement par latitude (Nord, Centre, Sud de l'Europe) (Figure 4),

mais dans chacune de ces zones géographiques les composés organiques dominent la croissance des particules nouvellement formées.

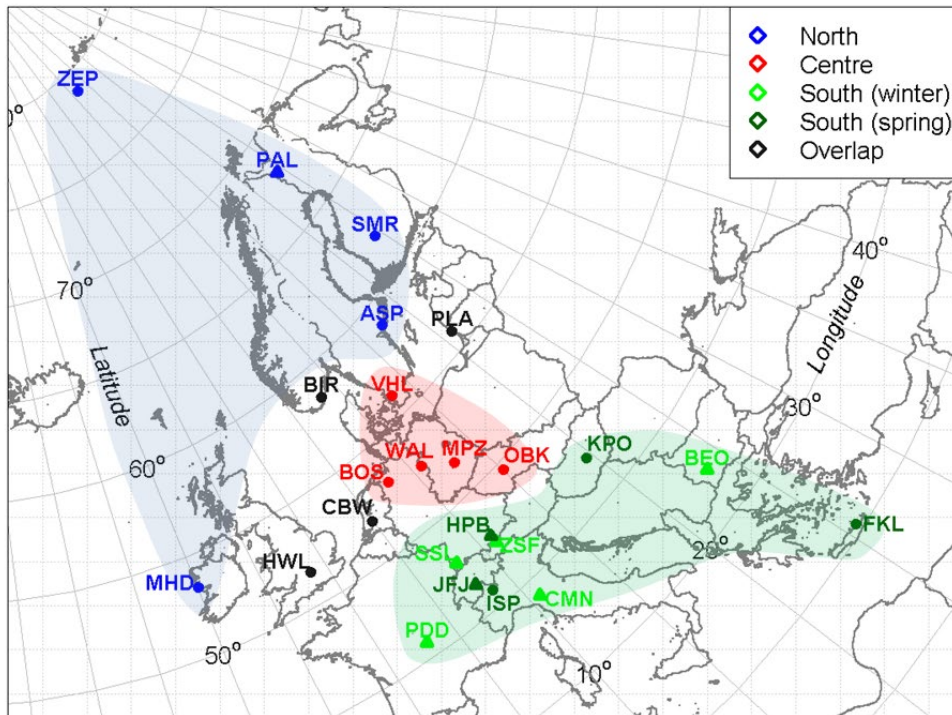


Figure 4 : Distribution spatiale des différents types d'événements de formation de nouvelles particules. D'après Dal Maso et al. (2018)

T2. Evolution de la charge en aérosols

Les données permettant de caractériser les propriétés chimiques et optiques des aérosols des sites d'altitude du puy de Dôme et du Pic du Midi ont été exploitées au sein d'études internationales considérant des proxy signant une dynamique atmosphérique de plus ou moins grande échelle. Ainsi les données de mesures optiques du Carbone Suie (Black Carbon), de diffusion et de concentration en nombre ont permis de caractériser l'influence de la topographie sur les intrusions de basse couche sur les sites d'altitude au travers de la création d'un PBL-TopoIndex (Collaud Coen et al., 2018).

A partir des données du Pic du Midi, les évolutions des distributions granulométriques en nombre associées aux concentrations de calcium et magnésium ont contribué à caractériser le transport grande échelle d'épisodes de poussières désertiques (Bessagnet et al., 2017) et en évaluer leur simulation à échelle hémisphérique. A échelle dynamique plus fine, les évolutions journalières sur de longues périodes d'observation des concentrations en Carbone Suie (BC) et du nombre total de particules ont permis de singulariser les jours de circulation de brise sur le massif comparativement aux autres approches dynamiques (Hulin et al., 2019).

T3. Impact climatique des aérosols

Les données de diffusion de l'aérosol de plusieurs stations CLAP (PUY, SIRTA, OPE, CHC) ont été utilisées pour une étude phénoménologique à l'échelle mondiale (Figure 5). Pandolfi et al. (2018) montrent, notamment que la tendance générale est une tendance de décroissance significative du coefficient de diffusion de l'aérosol lorsque des séries temporelles d'au moins 7 ans de certaines stations sont utilisées (13 stations parmi les 26 stations dont l'étude a fait l'objet). Cette tendance est en accord avec les observations de décroissance de la masse d'aérosols (PM) observée à l'échelle européenne, en lien avec les régulations sur les émissions de SO₂.

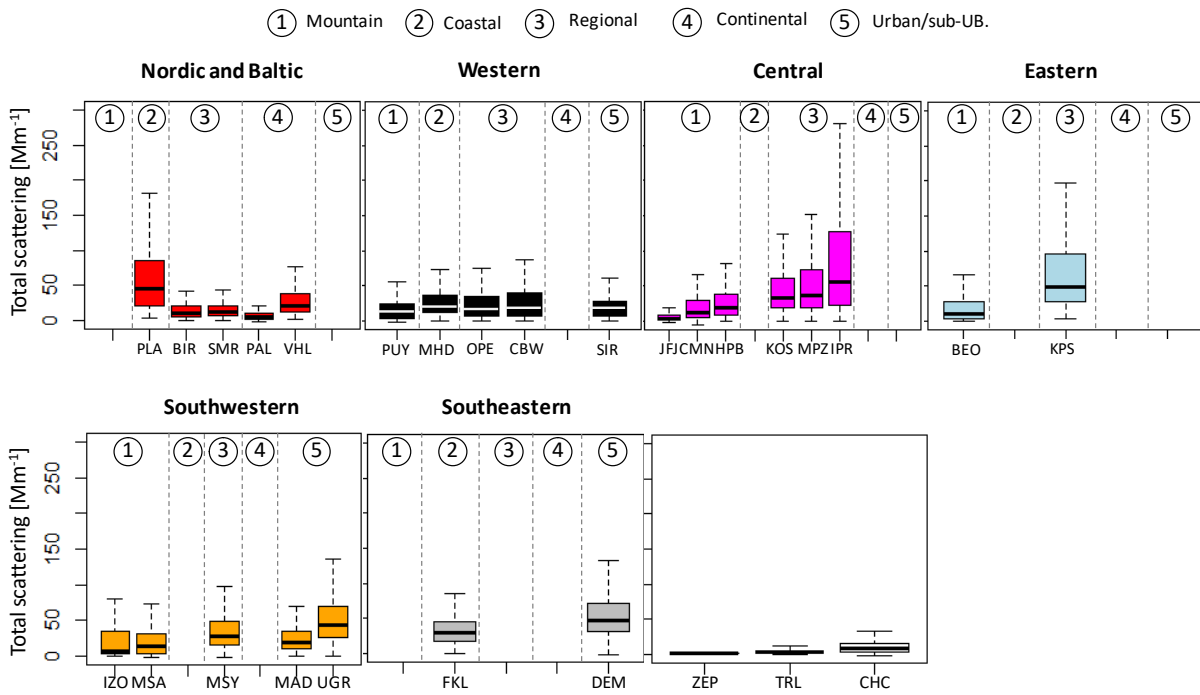


Figure 5: Coefficients de diffusion mesurés dans les classes par zones géographiques. Trois des stations CLAP sont représentées dans cette étude (SIRTA, PUY et OPE. D'après Pandolfi et al. (2018))

Les propriétés d'absorption ont également fait l'objet d'une étude à l'échelle européenne, montrant une relative homogénéité du coefficient d'absorption par unité de masse d'aérosol (MAC) à travers l'Europe (Zanatta et al. 2016, Figure 6).

Il est clair, d'après les études telles que celle de Pandolfi et al (2018) et Zanatta et al. (2016), que la longueur des séries temporelles des propriétés de l'aérosol doit être de plus de 10 ans pour un maximum de stations de mesures afin d'être capables de calculer des tendances fiables et ainsi mieux appréhender l'impact des politiques de réduction des émissions de polluants dans l'atmosphère.

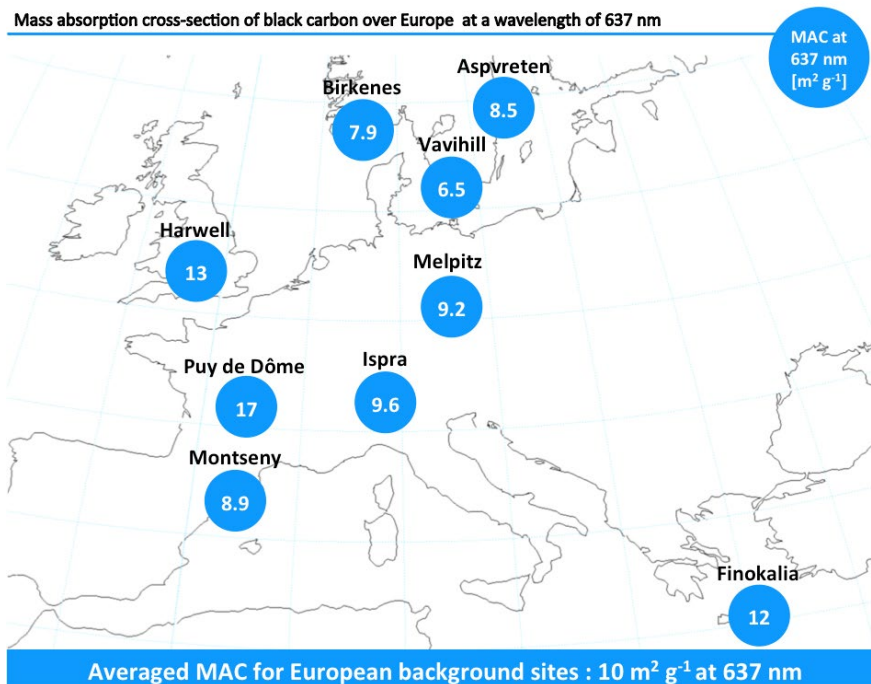


Figure 6 : Valeurs moyennes du coefficient d'absorption par unité de masse d'aérosol (MAC) pour les différents sites européens étudiés dans Zanatta et al. (2016).

En terme d'impact climatique des aérosol en lien avec les propriétés des nuages, l'étude de Schmale et al. (2018) montre à partir de 12 sites situés sur trois continents (dont la station PUY), que le modèle de prédiction du nombre de CCN à partir de la distribution en taille de l'aérosol et un facteur hygroscopique moyen varie seulement de 0,87 à 1,4 selon le paramètre d'hygroscopicité choisi (κ), et que le modèle reproduit bien les variations saisonnières de CCN si la concentration en CN est connue. Cela montre une assez bonne connaissance des processus mis en jeu, pour un ensemble de site situés loin des sources d'émission de particules, et confirme l'étude de Asmi et al. (2012) menée à partir de mesures du puy de Dôme.

Enfin, différentes collaborations scientifiques ont été réalisées individuellement au sein de chaque observatoire afin de combiner les mesures aérosols in situ avec des mesures par télédétection ou des sorties de modèles, par exemple pour le SIRTA (Fortems-Cheiney et al., 2016 ; Drinovec et al., 2017 ; Sartelet et al., 2018 ; Jiang et al., 2019 ; Boichu et al., 2019 ; Bedoya-Velasquez et al., 2019) pour mieux contraindre les programmes d'inversion employés en télédétection avec des approximations ou afin de mieux contraindre les processus inclus dans les modèles .

Mission d'observation

Description exhaustive du service en termes de sites et de grandeurs géophysiques, biogéochimiques ou biologiques (dans le périmètre défini par la prospective OA) et de la durée des séries préexistantes à la demande de labellisation. Justification des sites/paramètres par rapport aux objectifs. Préciser si le SNO a vocation à conduire des activités d'enseignement et de formation. Privilégier une présentation concise (tableau, carte).

Paramètres CLAP

Les paramètres suivis par CLAP permettent de fournir aux 3 tâches identifiées précédemment les informations pertinentes permettant de répondre aux questionnements scientifiques :

T1 : Etude des sources de l'aérosol secondaire

Les aérosols formés par nucléation apparaissent sous forme de concentrations élevées de particules aux plus petites tailles détectables. La **granulométrie** de l'aérosol, ou **spectre dimensionnel**, mesuré entre quelques nm et quelques dizaines de nanomètres par SMPS/DMPS, permet de déterminer le nombre de particules formées par nucléation. En effet, le nombre de particules présentes aux tailles les plus faibles permet de quantifier la fréquence et l'intensité de ce processus. Une climatologie du processus de nucléation effectuée sur des périodes allant de 1 à 5 ans ont été menées sur les mesures de la station du puy de Dôme (Venzac et al. 2007, Boulon et al. 2012, Rose et al. 2013), et de Chacaltaya en Bolivie (Rose et al. 2015), documentant de manière unique l'extension verticale du processus, et mettant en évidence l'existence d'une source propre à la haute altitude. L'évolution de ces particules nouvellement formées dans l'atmosphère peut ensuite être déterminée à partir de l'étude de leur taux de croissance vers des tailles de l'ordre de 50 nm, déterminés également à partir du spectre dimensionnel des particules. Cette grandeur dérivée des mesures est primordiale pour déterminer la survie des nanoparticules dans l'atmosphère.

La formation d'aérosol organique secondaire par condensation sur des particules préexistantes lors de son transport dans l'atmosphère est abordée à partir de la mesure de la **composition chimique** de l'aérosol (carbone élémentaire et carbone organique (EC/OC) et composés inorganiques majeurs). En effet, le nitrate, le sulfate et l'ammonium se retrouvent principalement dans la phase particulaire au terme d'une conversion depuis la phase gazeuse. A l'opposé, le carbone suie permet d'évaluer la quantité d'aérosol directement émis par des processus de combustion. La question de l'aérosol organique est plus délicate, car il peut être d'origine anthropique ou biogénique, primaire ou secondaire. Sur deux des sites CLAP, la mesure de la chimie de l'aérosol est effectuée en continu et en ligne par spectrométrie de masse, et permet à l'aide de méthodes statistiques de séparer les contributions primaire et secondaire de l'aérosol organique. Pour les sites effectuant une mesure sur filtres, seule l'information sur le carbone élémentaire et les composés inorganiques permettent une évaluation de certaines sources, et les observations doivent être couplées à la modélisation pour extraire l'information sur l'origine de la fraction organique de l'aérosol.

T2 : Etude des variations spatiales et temporelles de la charge en aérosol dans l'atmosphère

Il est important que l'évolution de la charge en aérosols soit évaluée par gamme de taille car à la fois les sources, le transport et le dépôt dépendent de la taille de l'aérosol. Ces concentrations sont donc

mesurées à partir du **spectre de taille** SMPS/DMPS pour la partie submicronique entre une dizaine de nanomètres et quelques centaines de nanomètres, couplée à la technique OPC/OPS pour la partie supermicronique. Le nombre de particules présentes dans le mode accumulation (de l'ordre d'une centaine de nanomètres) est un indicateur de la quantité de particules émises dans l'atmosphère directement sous forme de particules (particules primaires), mais qui peuvent avoir subi des transformations importantes dans l'atmosphère puisqu'elles sont les moins sensibles au dépôt par sédimentation et par diffusion brownienne, et constituent une grande surface de condensation. Le nombre de particules présentes dans le mode supermicronique permet d'évaluer la contribution à la concentration en particules des primaires naturelles (marines ou désertiques). D'autre part, l'évolution de la **nature chimique des particules d'aérosol** sur le long terme est de toute première importance, tant en lien avec la T1 qu'avec la T3. La composition chimique de l'aérosol est historiquement mesurée sur les sites d'observation de l'atmosphère à partir d'un prélèvement hebdomadaire intégré en général sur une journée sur filtre suivi d'une analyse en laboratoire de sa fraction inorganiques d'une part (par chromatographie ionique) et de sa fraction carbonée d'autre part (par méthode d'analyse thermo-optique). Ce type de variable, bien que non résolue à l'échelle horaire, donne une information importante de la composition chimique globale de l'aérosol pour un coût moindre sur le long terme pour l'ensemble des stations. Comme mentionné précédemment deux sites opèrent à présent une méthode d'analyse en ligne par spectrométrie de masse permettant d'atteindre la résolution horaire et permettant une analyse plus fine des processus de transport du aux échanges verticaux comme le montre l'étude de Freney et al (2016).

T3 : Etude de l'évolution de l'impact radiatif de l'aérosol dans un contexte de changement climatique

L'impact radiatif de l'aérosol sur le climat peut s'évaluer directement à partir de mesures de ses **propriétés optiques** (**diffusion** par nephelomètre, **absorption** par aethalometre/MAAP, extinction par CAPS ou combinaison de la diffusion et de l'absorption) pour l'effet direct sur l'interaction avec le rayonnement solaire, ou hygroscopiques (**nombre de** noyaux de condensation nuageuse (**CCN**) à une sursaturation donnée par chambre CCN), pour les effets semi directs et indirect sur la formation nuageuse et son temps de vie. Si une tendance à long terme est détectée, il sera possible à l'aide des autres variables CLAP de **distribution en taille** et **composition chimique** de déterminer à quoi on peut attribuer cette tendance, et d'identifier des lacunes dans notre compréhension des interactions aérosol-rayonnement et aérosol-nuage en utilisant un code de mie pour l'impact direct (précédemment utilisé dans Hervo et al 2015 pour le puy de Dôme) et la théorie de koehler pour l'impact indirect (précédemment utilisé par Asmi et al. 2012 pour le puy de Dôme).

Il faut noter que les variables suivies par CLAP sont identifiées dans GCOS comme variables essentielles pour le Climat (Essential Climate Variables- ECV) définies par les groupes d'experts de WMO (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/aerosol.html>). Ces variables sont donc celles suivies par l'ensemble du réseau GAW et dont les protocoles de mesure sont établis par GAW et ACTRIS (voir GAW report 153). Toutes les variables, à l'exception des mesures off-line sur filtre sont disponibles à une moyenne horaire, qui est celle requise par les utilisateurs. Pour des études particulières, des données sub-horaires peuvent éventuellement être mise à disposition des utilisateurs.

Sites CLAP

L'ensemble de la communauté scientifique s'accorde sur le fait que, à l'exclusion de l'AOD fourni par AERONET, les données disponibles sur les propriétés des aérosols sont encore trop peu nombreuses, notamment dans certaines régions du Globe (voir Laj et al., 2009) et de l'atmosphère. Les concentrations et les propriétés physiques et chimiques des aérosols étant extrêmement variables spatialement et temporellement, il est nécessaire de faire ces observations dans des environnements contrastés mais représentatifs d'une large zone géographique (« station footprint »). Le suivi des paramètres aérosols CLAP sur un site d'observation n'est pas trivial et demande des opérateurs formés à la maintenance de l'instrumentation et au suivi des protocoles. Les sites CLAP répondent donc à ces critères :

Grande représentativité du site (station footprint proche de la centaine de km), qui doit être éloigné de sources de pollution très locales et sans intérêt climatique, et qui permettent des études de tendances à long terme. De fait, les stations bénéficient d'ailleurs en général d'une reconnaissance internationale de type Global Atmosphere Watch (GAW) ou nationale de type site instrumenté (SI) pour leur représentativité d'un milieu donné.

Personnels compétents en mesure d'assurer le suivi des opérations suivant les protocoles définis par CLAP et donc sur la qualité des mesures et leur pérennité. Les sites CLAP doivent donc justifier d'un historique

de mesure de plusieurs années de 3 au moins des paramètres CLAP acquis selon les critères de qualité internationaux, et de leur mise à disposition à la communauté scientifique (voir section 4).

Le réseau d'observation pour les paramètres CLAP est organisé mondialement par GAW et s'appuie sur des initiatives comme celles de la NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aero/>) aux USA, ou ACTRIS (<http://www.actris.net/>) en Europe. La plupart des stations d'observation se situent donc dans l'hémisphère Nord et des zones entières sur d'autres continents sont donc dépourvues d'observations. Ceci pose évidemment des problèmes scientifiques pour la validation de modèles ou d'observations satellites, mais également des problèmes pour faire comprendre l'enjeu de ces observations lorsque les pays ne sont pas impliqués dans ces initiatives globales. Les sites répondent à une stratégie d'observation comme celle décrite dans le rapport GAW #207 :

(http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/Final_GAW_207_WEB.pdf)

Les mesures d'altitude permettent d'échantillonner des portions de l'atmosphère dont l'empreinte géographique est plus importante que pour les stations de basse altitude (Henne et al. 2010). Il existe trois stations d'altitude opérées en totalité par des équipes françaises qui bénéficient de cette représentativité (Puy de Dôme (PUY), Pic du Midi (P2OA) et Maito (OPAR). De plus, deux sites de haute altitude supplémentaires sont situés hors du territoire français mais sont partiellement opérés par des équipes françaises et mesurent d'ores et déjà les paramètres CLAP (Chacaltaya (CHC), en Bolivie, et Nepal Climate Observatory – Pyramid (NCO-P), au Népal). Si l'on s'en tient à ces stations d'altitude, le réseau CLAP permet de caractériser l'aérosol dans des environnements européens continentaux plus ou moins proches de l'Océan Atlantique et à diverses altitudes (PUY et P2OA), une station représentative du milieu marin de l'Océan Indien, pouvant également caractériser les émissions volcaniques (piton Maito), un site représentatif de la troposphère libre en zone tropicale d'Amérique du Sud et pouvant caractériser les émissions de la forêt amazonienne (CHC), et un site représentatif de l'Asie du sud (NCO-P) ayant montré un intérêt au niveau international pour l'étude du « nuage brun » (Brown Cloud) asiatique.

En complément des sites d'altitude évoqués ci-dessus, deux sites situés en plaine fournissent le suivi des paramètres CLAP de manière continue et contrôlée. Il s'agit du SIRTa et de l'OPE. Ces sites bénéficient de solides soutiens locaux, nationaux et internationaux pour assurer ces mesures. Le site du SIRTa est représentatif d'un milieu péri-urbain qui donne des informations pertinentes sur la nature et les sources de l'aérosol en région parisienne (Petit et al. 2015). Étant influencé à la fois par les émissions anthropiques régionales et par les phénomènes de transport à longue distance, ce site permet une étude approfondie des différents états de mélange de l'aérosol. Il a également vocation à fournir une tendance d'évolution sur le long-terme de la fréquence, de l'intensité et des causes des épisodes de pollution particuliers. Le site de l'OPE est un site rural, représentatif de la couche limite de fond en Europe de l'Ouest.

Cas du site népalais NCO-P : le site NCO-P est à l'arrêt depuis 2016 suite à un problème en Italie entre l'opérateur logistique du site (EVK2CNR) et le CNR, responsable scientifique. Les instruments sont toujours à la station mais ont été arrêtés faute d'en pouvoir assurer la maintenance. Il est très probable que le site sera de nouveau opérationnel en 2020 : <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06846-8>

Demandes d'entrée de sites dans le périmètre CLAP : Dans le cadre de la nouvelle vague de labellisation/demandes de re-labellisation actuelle, plusieurs sites ont envisagé d'intégrer le périmètre CLAP : le site de l'OHP ainsi que le site d'AMS dont les dossiers « Sites Instrumentés » seront envoyés à la CSOA. Ces deux sites ne sont pas encore équipés de l'instrumentation nécessaire au suivi des paramètres CLAP et ne répondent donc pas aux critères d'éligibilité énoncés plus haut. Toutefois, ces sites ont chacun un intérêt géographique spécifique d'une source d'aérosol en particulier. Le site de l'OHP a une longue expérience d'études de sources d'espèces atmosphériques biogéniques issues de la végétation typique du climat méditerranéen. Jusqu'à présent, le site s'est focalisé sur la mesure d'espèces gazeuses ou sur la colonne atmosphérique. Il sera pertinent à l'avenir d'envisager son intégration s'il s'avère que l'instrumentation peut être acquise et le personnel disponible pour soumettre des données aérosol in situ sur les bases de données internationales. Le site d'AMS est un site d'exception pour l'étude des aérosols marins produits dans l'hémisphère Sud. L'étude de l'aérosol marin dans cette partie du globe est primordiale dans l'évaluation du rôle de la biosphère marine sur le climat et des rétroactions qui pourraient en découler (hypothèse CLAW). L'île d'AMS bénéficie déjà d'une infrastructure pouvant héberger des mesures in situ, d'une série temporelle de mesures préexistantes qui ont généré de nombreuses publications en collaboration avec la communauté internationale, et le SNO CLAP bénéficierait indéniablement de l'intégration de ce site en terme de visibilité internationale, en y assurant des mesures de qualité contrôlée et diffusées à la communauté scientifique. Les acteurs du SNO s'associent donc à la dynamique de « remise en service » de ce site, également d'intérêt pour la recherche polaire, et souhaitent s'investir dans ce projet à l'avenir.

Le SNO CLAP regroupe donc à l'heure actuelle 5 sites d'altitude variant de 1465 m à 5240 m asl, et deux sites de plaine, situés sur 4 continents différents (Figure 7).

Les sites d'altitude peuvent se trouver soit en couche limite atmosphérique (CLA), soit en troposphère libre (TL) selon les conditions atmosphériques et l'altitude des stations. Outre la spécificité de chaque site qui permettra d'étudier les différentes sources et propriétés de l'aérosol mentionnés plus haut, la cohérence des mesures nous permettra de comparer les évolutions de l'aérosol entre les sites de mesure, et de partiellement étudier la variabilité de l'aérosol en plaine comparée à celle observée en basse troposphère libre (TL) en Europe, mais aussi à partir des stations d'altitude de documenter la composition de la TL, dans laquelle les aérosols sont transportés sur de très longues distances et ont un temps de vie accru, sur plusieurs continents. Les sites d'altitudes répondent par ailleurs, à un besoin du service atmosphère de COPERNICUS pour la validation et l'assimilation des données aérosols. Leurs positionnements hors couche limite pendant la nuit fournissent une représentation régionale de la nature physique et chimique des aérosols, paramètres aujourd'hui essentiels dans les modèles de chimie-transport.



Figure 7 : localisation des sites CLAP

Une description plus détaillée de chacun des sites est donnée ci-dessous :

La **station du puy de Dôme (PUY)** est située à 1465 m d'altitude, dans la chaîne des puys d'Auvergne. Située en Troposphère libre une partie du temps et loin de source locale de pollution, la station est idéalement placée pour recueillir des informations d'intérêt synoptique sur l'atmosphère et a été classée lors d'études statistiques menées sur l'ensemble des stations d'Europe comme station Régional Background (Henne et al. 2010, Asmi et al. 2011). La station PUY est labélisée SI de l'INSU depuis 2008 et GAW global depuis 2014.

L'observatoire atmosphérique du Maïdo (OPAR) à 2200 m d'altitude dans le Nord Ouest de l'île de la Réunion. Il est en opération depuis 2013 pour les paramètres relevant de ce SNO (Baray et al., AMT 2013). Il présente un intérêt majeur pour l'étude de l'atmosphère tropicale car sa position en latitude le rend représentatif des latitudes subtropicales en hiver austral et tropicales en été austral. Son altitude lui permet, comme la station du puy de Dôme, d'échantillonner à la fois les aérosols de couche limite et de troposphère libre. Au-dessus de la couche d'inversion des alizés, la Réunion est située sous le vent de l'Afrique australe et de Madagascar, sources importantes de poussière désertiques, d'aérosols de

combustion et de pollution humaine et industrielle. L'observatoire du Maïdo bénéficie de la labellisation GAW régional, et SI INSU.

La **station du Pic du midi**, (42.93720°N 0.14110°E, altitude 2877 m), est en opération depuis 2002 pour les paramètres relevant de ce SNO. Située en marge sud du territoire métropolitain et près de la côte atlantique, elle est le plus souvent soumise à l'influence de masses d'air océaniques, ou sinon subtropicales, et notamment sahariennes (en régime de « foehn » de sud du côté des Pyrénées françaises), et également sous influence méditerranéenne (situations dites de « retours d'est »). Le site est représentatif de la troposphère libre à grande échelle. Les remontées de couche limite ne sont observées que rarement (appartenance catégorie « mostly remote site » selon étude GeoMon par Henne et al., Atmos. Chem. Phys., 2010). Une majorité des paramètres CLAP sont mesurés depuis un peu plus d'une année. La station a été par ailleurs extensivement caractérisée pour sa représentativité à l'aide d'autres paramètres atmosphériques. La station est labélisée GAW régional depuis 2018.

La **station NCO-P** est située au Népal dans la vallée de Khumbu à 5079 m asl. Elle est en opération depuis 2006. Située entre les zones d'émission de la Chine et de l'Inde, elle apporte des informations fondamentales sur le transport longue distance depuis ces zones importantes d'émission, et notamment le Brown Cloud asiatique, d'impact climatique important (Bonasoni et al. 2010). Le LGGE et le LaMP ont la responsabilité des mesures SMPS, MAAP et Néphélomètre ainsi que du bon fonctionnement des inlets aérosols. La station NCO-P est labélisée GAW global.

La **station CHC** est située dans la cordillère des Andes bolivienne, à 5240 m asl. Il s'agit donc du point de mesure le plus élevé en fonctionnement actuellement. Elle est en opération depuis 2011 pour les paramètres relevant de ce SO. La station est l'un des rares points de mesures en continues du continent sud-américain, hors zones urbaines. Située entre les zones d'émission de la forêt Amazonienne et du Pacifique, elle apporte des informations fondamentales sur le transport longue distance depuis ces zones d'émission en fonction des saisons. Le LaMP et l'IGE ont la responsabilité des mesures SMPS, MAAP et Néphélomètre, des mesures chimiques ainsi que du bon fonctionnement des inlets aérosols pour l'ensemble des partenaires. La station bénéficie du label GAW Régional, et une demande de station Globale prévue en 2016. La station est labélisée par l'IRD et les partenaires du LFA opérant la station sont reconnus « Jeune Equipe IRD) depuis 2015.

Le **site d'expérimentation SIRTA** est situé sur le plateau de Saclay (48.7°N, 2.2°E ; 150m d'altitude) (Haeffelin et al., 2005) à 25 km au Sud/Sud-Ouest de Paris. Les flux d'Ouest, de Nord-Est et de Sud apportent une grande variété de couches d'aérosols sur l'ensemble de la colonne atmosphérique provenant alternativement de zones sources africaines, transatlantiques, ou d'Europe continentale, et des sources locales. La localisation du site à l'interface rural – urbain permet d'aborder des recherches sur des processus en milieu complexe, fortement hétérogène. Le projet Européen MEGAPOLI ainsi que les travaux de thèse de J-E Petit et Y. Zhang ont montré qu'il était possible de déconvoluer la contribution de l'agglomération parisienne des contributions régionales (voir publications en annexe 1). La station du SIRTA est un site instrumenté labélisé par l'INSU depuis 2007.

La station atmosphérique de l'**Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE)** (5°30'20"E, 48°33'44"N) est localisée sur un point haut à près de 395 m entre le centre du bassin parisien et les Vosges, en sommet de côte, dans une zone agricole découverte à plusieurs centaines de mètres des habitations et routes les plus proches. Elle est située sous les vents dominants de la zone d'observation de l'OPE et des zones d'intérêts pour le projet CIGEO de l'Andra. Sur une parcelle de 2 ha clôturée et électrifiée, elle possède deux locaux techniques modulaires de 18 m² et un pylône haubané de 120 m de hauteur permettant de réaliser des mesures météorologiques et des prélèvements d'échantillons à 10 m, 50 m et 120 m de hauteur permettant des mesures de flux. Les rapports scientifiques effectués sur plus de deux ans de mesures montrent que l'aérosol échantillonné est un aérosol typique de l'Europe de l'Ouest, très proche de l'aérosol échantillonné sur le site GAW de Melpitz. Le site permettra de mener des études lagrangiennes d'évolution de l'aérosol entre plusieurs sites de plaine, mais aussi d'étudier l'évolution de l'aérosol marin (primaire ou issu de la nucléation côtière, cf Beddows et al. 2014) au cours de son transport sur le continent. L'OPE est labélisé par l'ANDRA, qui finance en totalité les mesures aérosol qui y sont effectuées.

Intégration

Le Tableau 1 récapitule l'instrumentation présente sur les sites CLAP au moment de la première demande de labellisation en 2015, avec une actualisation en 2019 (en gras) en cas de jouvence ou achat. Un effort constant a été mené sur la période 2016-2019 en terme de jouvence d'instrumentation et pour homogénéiser le parc instrumental sur l'ensemble des sites CLAP (co-financement par une partie du SNO a

raison de 10k€ par an, co-financement par l'IR ACTRIS-fr, cofinancements propres). Il apparaît sur le tableau 1 que les Tache 1 et Tache 2 peuvent à présent être menée sur tous les sites, et la Tache 3 sur l'ensemble des sites sauf le Maïdo pour l'impact direct et au puy de Dôme et au Mado pour l'impact indirect.

Tableau

| Station | Code | Localisation | Altitude | Type | Sub-NSD | Sup-NSD | CN | CCN | Abs | Scat | INO | EC-OC | Online Chem. |
|--|-------|---------------------------|----------|---------------|--|-----------------------|-------------|-----------|----------------------------------|---|-----------------------|-------------|--------------|
| Puy du Dôme | PUY | France | 1465 m | High altitude | 2006- (2019 jouvenc e) | 2011- | 2003 - | 2013 - | 2001- | 2006- | 2003- | 2003- | 2015- |
| Pic du Midi | PdM | France | 2877 m | High altitude | 2019- | 2013- | 2003 - | | 2013- 2017- multiλ | 2002- 2018- multiλ | 2002- | 2002- | |
| Maido | OPAR | Océan Indien (La Réunion) | 2200 m | High altitude | 2013- | 2016- | 2016 | 2013 - | 2013- | 2019 (en prêt)IN ERIS- | 2013- | 2013- | |
| Nepal Climate Observatory-Pyramid | NCO-p | Nepal | 5079 m | High altitude | 2006-16 | 2006- 16 (ISAC) | 2006 - | - | 2006 - 16 (ISAC) | 2006- 16 | 2006- 16 (ISAC) | 2006- 16 | |
| Mt. Chacaltaya | CHC | Bolivia | 5240 m | High altitude | 2011 (TROPO S) | - | 2011 - | - | 2011 | 2011 | 2012 | 2012 | |
| Site instrumental de recherche par télédétection atmosphérique | SIRTA | France | 150 m | Flatland | 2011- | 2016 | 2013 - | - | 2011- | 2011- | 2011- | 2011- | 2012- |
| Observatoire Pérenne de l'Environnement | OPE | France | 395 m | Flatland | 2013 | 2013 | 2013 - | - | 2013 | 2013 | 2012 | 2012 | |

1 :

Instrumentation relative aux variables CLAP sur les sites CLAP au moment de la labellisation du SNO en 2015 et actualisation (en rouge pour les jouvences, et acquisition) pour 2019.

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

Liens avec d'autres SNO, insertion du SNO dans le dispositif de recherche français (régional, national), insertion européenne et internationale, appartenance à un réseau européen ou international d'observation (lettres de soutien à fournir en annexe). Le rattachement à une voire plusieurs IR/TGIR de référence, existantes ou en construction, est fortement encouragé, y compris pour les nouveaux services en demande de labellisation (lettres des porteurs d'IR/TGIR existantes ou en construction à fournir en annexe au dossier). Le cas échéant, décrire en quoi le SNO est stratégique pour le spatial ou le polaire (remplir également les annexes C et/ou D).

Insertion dans le dispositif français

CLAP est un service d'observations distribuées multi-Sites, et n'a pas d'insertion régionale particulière au sein de la région Auvergne, mais a une dimension nationale. CLAP est le SNO correspondant à la brique fondamentale de mesures des propriétés de l'aérosol in situ (Groupe de Travail ou GT 2) de l'IR ACTRIS-Fr. La structure de l'IR ACTRIS-Fr et la place de CLAP dans cette IR sera expliquée dans la lettre ACTRIS-Fr qui sera envoyée à la SCOA en même temps que ce dossier de demande de labellisation.

Insertion dans le dispositif international

Au niveau EU, CLAP est fortement lié à l'Infrastructure ACTRIS et à son outil de développement ACTRIS-2. CLAP contribue en particulier au WP 3 « Near surface observations of aerosols, clouds and trace gases ». Il contribue à l'élaboration des principes de mesure, adopte l'ensemble des recommandations formulées dans ce cadre et contribue à leur mise en œuvre. CLAP prend une part importante dans les décisions prises au niveau Européen et participe à la coordination ACTRIS.

Protocoles de mesure

L'ensemble des paramètres CLAP sont acquis avec une résolution plus élevée que la résolution horaire, afin de pouvoir fournir des informations à l'échelle des processus, à l'exception de la composition chimique sur certains sites qui est analysée sur filtres et donc accessible à l'échelle hebdomadaire. Une source d'incertitude dans la mesure des propriétés des aérosols provient d'erreurs instrumentales, qui incluent les erreurs systématiques induites inhérentes à la conception de l'instrument, la variabilité inter-instrumentale et les mauvaises conditions d'utilisations. Compte tenu du large éventail de techniques analytiques consacrées à la quantification des propriétés des aérosols, le risque de manque de comparabilité causé par un dysfonctionnement de l'instrument est faible. Les directives pour des mesures harmonisées ont été développées afin d'assurer le plus haut degré de comparabilité entre les instruments de mesure des aérosols et les sites d'observation dans le monde entier. Le choix des variables mesurées dans le SNO relève aussi du fait que des méthodes pour leur détermination (*standard operating procedures*- SOP) sont déjà adoptées par la communauté scientifique. Ces SOP ont été pour certaines mises au point dans le cadre des projets ACTRIS/EUSAAR et adoptés par les réseaux internationaux GAW et EMEP. Les méthodes de référence adoptées pour la mesure de ces paramètres sont les suivantes (Tableau 2) :

| Variable | Recommended Instrument | Unit / time integration | Reference SOP |
|------------------------------|--|--------------------------|---|
| Veine de prélèvement aérosol | Veine pour l'exclusion des précipitations, pertes par diffusion négligeables, humidité relative < 40%, pertes de la fraction volatile de l'aérosol négligeable | N/A | GAW – WCCAP recommendation for aerosol inlets and sampling tubes |
| light scattering coefficient | Multi-wavelength nephelometer | M ⁻¹ / 1 hour | GAW report No. 200 (Anderson et al., 1996; Anderson and Ogren, 1998) MG – ACTRIS Recommendation Integrating Nephelometers: Part I , Part II |

| | | | |
|---|--|---|--|
| light absorption coefficient (various wavelengths) | Multi-wavelength aethalometer or single-wavelength Multi-angle Aerosol Absorption Photometer | M ⁻¹ / 1 hour | GAW report No. 200 MG – Particle Soot Absorption Photometer (PSAP - Bond et al., 1999; Ogren, 2010) – Multi Angle Absorption Photometer (MAAP - Petzold and Schönlinner, 2004) – Aethalometer (Drinovec et al., 2015) |
| particle number concentration (size-integrated) | Particle counter CPC | cm ⁻³ / 1 hour | CEN/TC - 264 16976:2016 GAW Report No. 227 Wiedensohler et al., Atmos. Meas. Tech., 5, 657-685, 2012, doi:10.5194/amt-5-657-2012 |
| particle number size distribution (small fraction) | Scanning Mobility Particle Counter | dN/dlogD / 1h | GAW Report No. 227 GAW/WCCAP recommendation mobility particle size spectrometer: Part I , Part II , Part III Wiedensohler et al., Atmos. Meas. Tech., 5, 657-685, 2012, doi:10.5194/amt-5-657-2012 |
| particle number size distribution (coarse fraction) | Optical particle counter (OPC) | dN/dlogD / 1h | GAW Report No. 227 ACTRIS recommendations for coarse mode particle number size distribution measurements |
| Cloud Condensation Nuclei | Cloud Condensation Nuclei Chamber (CCNC) | cm ⁻³ / 1 hour | ACTRIS Standardized protocol for CCN measurements |
| Chemical composition (EC/OC) | -Off-line : filter based on PM10 and PM2,5 + thermo-optical instrument | µg m ⁻³ / 12h to 48h depending on sites, 1 time a week | CEN/TC - 264 16909:2017 Cavalli et al., Atmos. Meas. Tech., 3, 79-89, 2010, doi:10.5194/amt-3-79-2010 |
| Chemical composition (inorganic ions) | -Off-line : filter based on PM10 and PM2,5 + ion chromatography | µg m ⁻³ / 12h to 48h, 1 time a week | GAW report 153 and EMEP/CCC-Report 1/95 (2001) |
| Online Chemical composition (ACSM) | On-line mass spectrometer for non refractory PM1 chemical species | µg m ⁻³ / 1h | ACTRIS Standardized protocol for particle mass spectroscopy |

Tableau 2 : liste des paramètres et des SOP correspondantes suivis par l'ensemble des sites CLAP

La maîtrise de la qualité des données transmises par CLAP s'appuie en particulier sur le suivi des préconisations du *Topical Center for Aerosol In Situ* (CAIS/ECAC) d'ACTRIS, identifié au niveau international et constitué notamment des unités suivantes :

- le World Calibration Center for Aerosol Physics situé à TROPOS (DE)
- l' European Laboratory for Air Pollution (ERLAP) situé au JRC-Ispra (IT)
- l' Aerosol Chemical Monitor Calibration Centre (ACMCC) situé au SIRTA/LSCE et décrit de manière détaillée dans le dossier de labellisation relatif au SI SIRTA.

Ces centres ont pour mission :

- le développement de Procédures Standard d'Opération (SOP)

- les audits des stations d'observation
- l'organisation d'exercices d'intercomparaison
- la formation et le support technique au personnel de l'infrastructure
- le suivi de la qualité des mesures
- le développement de nouvelles méthodes et technologies pour de nouvelles mesures

Les travaux des centres sont donc notamment articulés autour d'exercices d'inter-comparaison destinés à évaluer les systèmes en opération sur les sites et de tests « round-robin » pour évaluer la qualité des mesures pour chacun des paramètres CLAP. En opération depuis plus de 5 ans, cette organisation permet de fournir, au niveau Européen, des informations homogènes et standardisées, de qualité inégalée pour les paramètres du tableau 2.

Les informations/procédures de calibrations de l'instrumentation pour les groupes/stations qui ne sont pas directement membres du projet ACTRIS sont relayés au sein de CLAP. Il est également prévu d'organiser au niveau national les intercomparaisons nécessaires aux instruments qui ne pourraient pas participer aux intercomparaisons internationales.

Des informations complémentaires sur le contrôle qualité des différents paramètres CLAP sont données ci-dessous :

Veines de prélèvement : Les veines de prélèvement doivent suivre les recommandations suivantes: entrée extérieure de aérosol, veine de prélèvement lisse, présence d'un assécheur si l'humidité relative de l'échantillon dépasse 40%, présence d'un séparateur de flux final pour distribuer l'aérosol, environnement de laboratoire propre et température ambiante comprise entre 15 et 30 ° C. L'objectif final est de minimiser les artefacts d'échantillonnage potentiellement présents sur les sites.

Composition chimique de l'aérosol : les stations CLAP suivent ce paramètre à l'aide de différentes méthodologies : échantillonnage sur filtre puis analyse off-line et/ou suivi continu par spectrométrie de masse (ACSM). Ces mesures sont réalisées selon les protocoles harmonisés définis au niveau Européen. Pour les prélèvements sur filtres, il est connu que l'échantillonnage de la fraction organique pose des problèmes d'artefacts positifs (condensation de composés organique semi-volatils (SVOC) sur le filtre) et négatifs (dégazage de SVOC depuis le filtre). Les mesures seront inter-comparées entre les sites afin d'appliquer d'homogénéiser cette mesure. Il est également à noter que le Laboratoire d'Aerologie a été doté d'un analyseur de carbone SUNSET 5L avec un passeur automatique d'échantillons en mars 2019. Ce nouvel instrument et protocoles associés ont immédiatement fait l'objet d'une intercomparaison internationale (ACTRIS, JRC Italie) afin de pouvoir servir, à moyen terme, de centre d'analyse commun pour les acteurs du SNO CLAP. Pour les mesures en ligne (ACSM), les instruments sont calibrés et mis en œuvre selon les préconisations du centre d'expertise ACMCC et participent régulièrement (2013, 2016, 2018) aux exercices d'intercomparaison organisés par ce centre d'expertise.

Mesures Optiques (Coeff. Diffusion / Coeff. Absorption) : le contrôle qualité des mesures optiques est effectué en assurant d'une part, que les manuels d'opération ACTRIS soient respectés et par calibrage régulier des campagnes via l'utilisation de néphélomètre et MAAP de référence (eux même calibrés dans le centre de référence ACTRIS du centre de calibration CAIS/ECAC). L'utilisation des anciennes versions d'Aethalomètres multi-longueurs d'onde (e.g., AE31) peut poser des problèmes de qualité de mesure liés à la correction d'artefacts de prélèvements et de mesure. Nous privilégions l'utilisation de nouvelles versions d'Aethalomètres (AE33) au sein de CLAP, et avons donc mis le réseau à niveau, notamment au pic du midi.

Qualité des mesures de granulométrie des aérosols SMPS/DMPS. Les procédures communes de calibrage et d'inversion des données sont appliquées, via la calibration régulière des DMA et des compteurs de particules et via l'utilisation d'un CPC de référence, calibré au centre CAIS/ECAC. Il faut noter que les appareils de mesure développés au LaMP ont passé le contrôle qualité imposé dans le cadre d'ACTRIS. Ces mêmes appareils ont été déployés sur les autres stations (NCO-P, Maida). Les CPC défectueux sont envoyés en révision ou en maintenance au LaMP pour un cout moindre, et afin de mettre a disposition les connaissances des membres du SNO CLAP pour l'ensemble de la communauté CLAP.

Qualité des mesures des concentrations en CCN. Nous suivons les recommandations ACTRIS de fréquence et procédure de calibrage des sursaturations en fonction des températures de colonne, de suivi de la mesure des débits et comparaison des concentrations en sursaturations maximales avec le nombre de particules totales mesurées par CPC.

Archivage des données et leur mise à disposition

Données brutes ou élaborées, structure, support, validation, archivage, séries disponibles, métadonnées, statut juridique, accessibilité, modes de distribution, traçabilité, intégration dans des bases de données nationales et internationales éventuelles, responsable technique.

Détailler le lien avec les Pôles de données de l'IR Système Terre et autres Pôles de données existants (inclure une preuve d'appartenance ou d'adhésion en annexe au dossier).

Archivage des données

Le SO CLAP bénéficie d'une longue expérience pour la définition des formats de données/métadonnées et des mécanismes de leur diffusion élaboré pour EUSAAR/ACTRIS et pour le SOERE ORAURE, puis l'IR ATMOS et enfin l'IR ACTRIS. La Figure 8 résume le flux de données, depuis la mesure jusqu'à leur diffusion

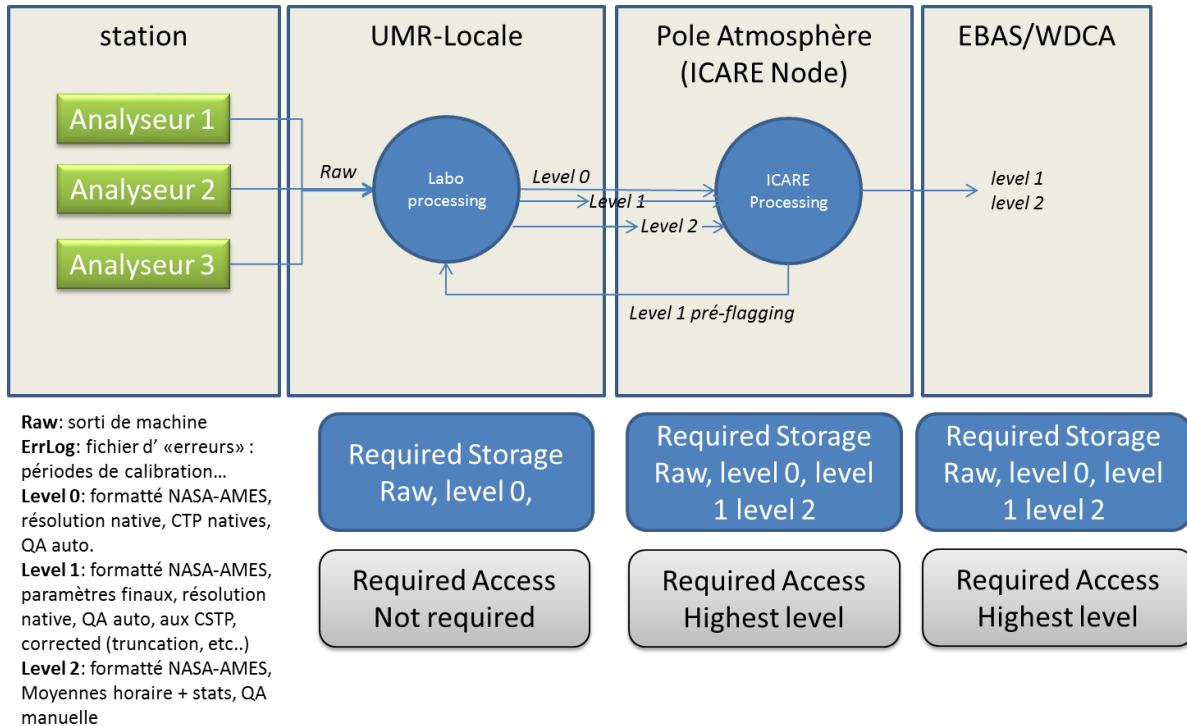


Figure 8 : schéma du flux de données dans CLAP

Pour chaque variable, la définition des niveaux peut être différente, mais d'une manière très générale :

- RAW : données sortant de la machine (sans unité)
- Level 0 : donnée formatée (NASA-AMES) en unité considérée (voir tableau 2)
- Level 1 : donnée formatée (NASA-AMES) en unité considérée, en résolution horaire considérée, intégrant les flags (voir <http://ebas-submit.nilu.no/>)
- Level 2 : donnée formatée (NASA-AMES) en unité pouvant être différente des autres niveaux, en résolution horaire considérée, intégrant les flags et corrigées suivant une méthode définie par les protocoles

Les centres de données identifiés sont :

- Au niveau local, les serveurs de l'UMR (UMS) considérée. Les données/métadonnées peuvent y être stockées (niveaux raw, 1,2) mais l'accès par les utilisateurs n'est pas nécessaire. La visualisation en temps réel peut être mise en place. Les transferts vers le national se fait en mode « push ».
- Au niveau National le pôle atmosphère et AERIS. Les données/métadonnées sont stockées (niveau 1, 2 et 3). Le Pôle Atmosphère transmet les données/métadonnées de l'ensemble des sites vers le niveau international
- Au niveau international, le centre identifié est le nœud EBAS du ACTRIS Data Center qui héberge également le World data Center for Aerosol de WMO. Les données/métadonnées niveaux 1, 2 et 3 sont stockées, le plus haut niveau étant le seul disponible aux utilisateurs (autres niveaux sur demande)

Une attention particulière est consacrée à ce que les données présentes sur la base de données ICARE sont l'image des données présentes sur la base de données EBAS.

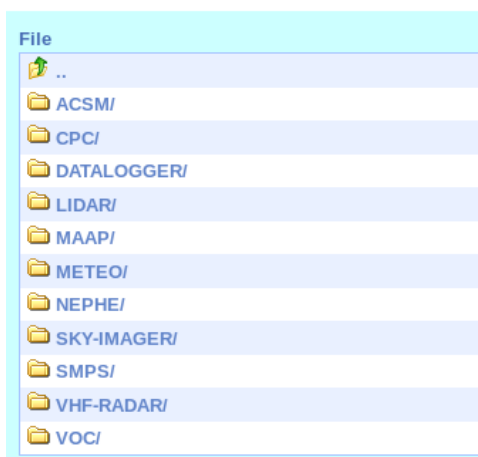
La soumission des informations se fait au plus tard le 31 mai de l'année N+1 pour les données de l'année N, au pôle national de données atmosphère AERIS. Les données brutes sont soumises à AERIS par les fournisseurs de données avec des flag de qualité référencés par le centre de données européen EBAS. Après la mise au format des fichiers de données à AERIS, une série d'aller-retour se met en place entre AERIS et les fournisseurs de données pour s'assurer que le contenu du fichier mis au format correspond aux données soumises, que les flags sont les bons etc. Certaines données (Aethalomètre, Néphélomètre, CPC) sont mises à disposition en « Near-Real-Time », c'est-à-dire avec un délai de 1 à 6h, sur le site EBAS. La figure 3 ci-dessous illustre le flux de données pour la fourniture NRT. La mise à disposition de données NRT vise à répondre à une demande de la communauté COPERNICUS de pouvoir disposer d'un flux de données sécurisé afin de procéder aux vérifications des résultats de modèles. Pour les opérateurs, ceci permet de mettre en œuvre des nouveaux systèmes de contrôle qualité temps réel permettant de vérifier l'état des instruments et d'alerter en cas de dysfonctionnement. L'envoi des données NRT ne requiert pas de financements spécifiques.

Dans le cours de la période 2015-2019, un effort important a été fait pour le formatage et l'envoi automatique quotidiens des données de l'ensemble des variables/stations CLAP vers le pôle AERIS.

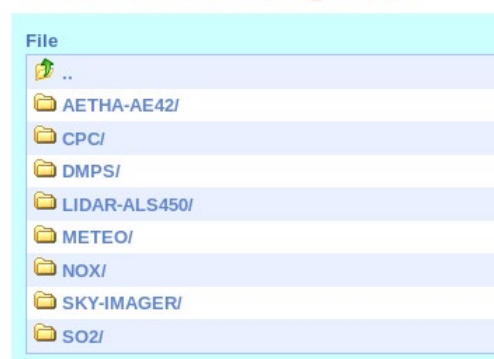
La capture d'écran suivante montre les différentes stations pour lesquelles les données sont disponibles à l'heure actuelle sur AERIS et accessibles en ligne via des moyens de diffusion standard (FTP, HTTP) ou via un cluster de calcul : (<http://www.icare.univ-lille1.fr/archive?dir=GROUND-BASED/>)

Pour ce qui concerne plus spécifiquement les sites du SNO CLAP, les données des instruments disponibles sont les suivants.

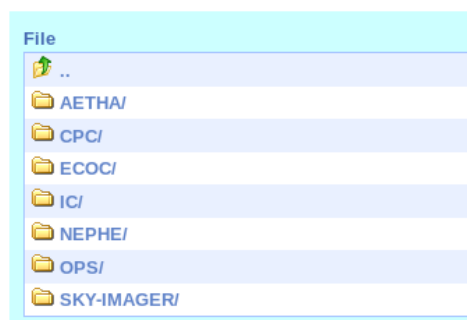
DATA > GROUND-BASED > COPDD_Puy-De-Dome



DATA > GROUND-BASED > OPAR_La-Reunion



DATA > GROUND-BASED > P2OA_Pic-Du-Midi



DATA > GROUND-BASED > SIRTA_Palaiseau

| File |
|-----------------|
| .. |
| ACSM/ |
| AETHA-AE33/ |
| AETHA/ |
| ECOC/ |
| LIDAR-ALS450/ |
| LIDAR-CHM15K/ |
| LIDAR-IPRAL/ |
| LIDAR-LNA/ |
| METEO/ |
| NEPHE-450/ |
| NEPHE-525/ |
| NOX/ |
| PTRMS/ |
| PYRANO/ |
| SKY-IMAGER-EKO/ |
| SKY-IMAGER/ |
| SMPS/ |
| TEOM1405/ |
| TEOM8500/ |
| UHF-RADAR/ |
| VOC/ |

DATA > GROUND-BASED > OPE_Houdelaincourt

| File |
|---------------|
| .. |
| AETHA/ |
| ECOC/ |
| INLET/ |
| LEVOGLUCOSAN/ |
| LIDAR/ |
| NEPHE/ |
| OPC/ |
| SMPS/ |

DATA > GROUND-BASED > Chacaltaya

| File |
|--------|
| .. |
| AETHA/ |
| NEPHE/ |

Le Tableau 3 montre l'évolution de la base de données disponibles sur les site ICARE entre 2015 et 2019.

| Station Code | type | manufacturer | model | Avail. 2015 | Avail. 2019 |
|--------------|--------------|-------------------------|---------------|-------------|-------------|
| CHC | Aethalometer | Magee Scientific | AE31 | x | x |
| | Nephelometer | Ecotech | Aurora 3000 | x | x |
| SIRTA | ACSM | Aerodyne | ACSM_140-113 | x | x |
| | Aethalometer | Magee Scientific | AE31 | x | x |
| | Aethalometer | Magee Scientific | AE33 | x | x |
| | ECOC | Partisol | - | | x |
| | Nephelometer | Ecotech | M9003 (450nm) | | x |
| | Nephelometer | Ecotech | M9003 (525nm) | | x |
| | SMPS | GRIMM Aerosol Technik | 5416 | x | x |
| | TEOM | Thermo Scientific | 1405 | x | x |
| | TEOM | Rupprecht & Pataschnick | 8500 | x | x |
| OPE | Aethalometer | Magee Scientific | AE31 | x | x |
| | ECOC | - | - | | x |
| | Nephelometer | Ecotech | Aurora 3000 | x | x |
| | OPC | GRIMM Aerosol Technik | GREDM180-F | | x |
| | SMPS | TSI | 3936L72-N | x | x |
| PDM | Aethalometer | Magee Scientific | AE16 | x | x |
| | CPC | TSI | 3010 | x | x |
| | ECOC | KNF | IP20-T | x | x |
| | IC | KNF | IP20-T | x | x |
| | Nephelometer | Ecotech | M9003 | x | x |
| | Nephelometer | Ecotech | Aurora 3000 | | x |
| | OPS | TSI | 3330 | x | x |
| PUY | ACSM | Aerodyne | TOF-ACSM | | x |
| | CPC | TSI | 3010 | x | x |
| | MAAP | Vaisala | 5012 | x | x |
| | Nephelometer | TSI | 3563 | x | x |
| | SMPS | OPGC | model1 | x | x |
| OPAR | Aethalometer | Magee Scientific | AE31 | | x |
| | CPC | TSI | 3772 | | x |
| | DMPS | CNRS-LaMP | Scanotron | | x |

Tableau 3 : Données soumises et stockées dans la base de données AERIS en 2015 (au moment de la première demande de labellisation du SNO CLAP) et à l'heure actuelle.

En 2015, beaucoup de données étaient déjà présentes sur AERIS, mais sous forme d'échantillons ou d'archive incomplète et les transferts étaient faits manuellement. De 2015 à 2019, l'accent a été mis sur la mise en place de transferts automatiques quotidiens des stations vers le centre de données (pour les instruments le permettant). La centralisation et la mise à disposition de l'historique complet des données a été mise en place. Enfin, le développement des outils de formatage, des procédures de qualification et le transfert vers la base de données européenne EBAS/WDCA ont été améliorés pour les flux existants en 2015, et développés pour les nouveaux flux. Ces procédures se sont concrétisées par une évolution significative du nombre de fichiers de données correspondant aux mesures CLAP dans la base de données AERIS entre 2015 et 2019 (Figure 9).

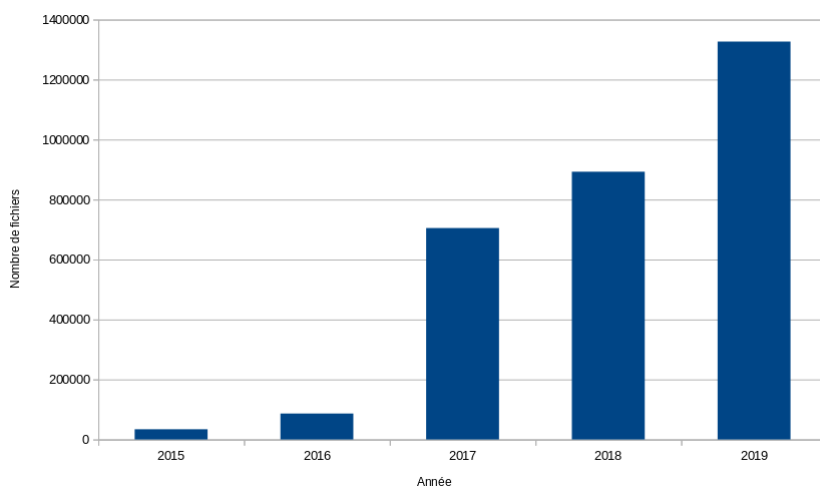


Figure 9 : Evolution du nombre de fichiers de données correspondants aux instruments du SNO CLAP dans la base de données AERIS entre 2015 et 2019

Diffusion et utilisation des données

Les données disponibles sur EBAS/WDCA sont accessibles via : <http://ebas.nilu.no>. La politique de diffusion des données est directement téléchargeable sur le site. Elle recommande une proposition de “co-authorship, whenever substantial use of the data is made”. Dans le cadre de la mise en place de l’IR ACTRIS, toute la politique d’accès aux données sera appréhendée dans un contexte européen via un protocole d’accord signé par le MESRI. AERIS est bien évidemment partie prenante des discussions.

Globalement, les statistiques d’utilisation des données CLAP déterminées à partir des accès à la base de données ACTRIS sont rapportées Tableau 3 (update 15 mars 2019) et pour la période Mars 2010 – 31 Décembre 2018, intégrant à la fois la visualisation des données (**Plotting of data** = Plotting in the web interface of EBAS) et leur téléchargement (**Download of data** = Download from EBAS web interface). **Les données sont définies en termes de nombre d’utilisateurs (Numbers of users (called distinct IP addresses in the plots):** base sur les adresses IP. Il s’agit donc d’une estimation basse du nombre d’utilisateurs compte tenu du fait que des utilisateurs d’un même organisme (i.e. NOAA) peuvent avoir une seule et même adresse IP.

| | 2010-2017 <i>Last year</i> | 2010-2018 <i>New updates</i> |
|--|-------------------------------|---------------------------------|
| Total years of French ACTRIS data plotted in EBAS | 3 695 | 4405 |
| Total years of French ACTRIS data downloaded from EBAS | 3 146 | 5189 |
| Number of different users IPs of French ACTRIS data | 321 | 403 |
| Number of countries accessing French ACTRIS data | 35 | 39 |
| Number of accesses performed from France | 31 | 41 |
| % download of French data within France | 10 | 10 |
| 5 Most intensive countries using French ACTRIS data, downloading most years | Germany | Germany |
| | Switzerland | Switzerland |
| | Finland | France |
| | France | Finland |
| | US | US |

Tableau 3: Statistiques d’utilisation des données aerosol insitu des sites francais (données CLAP) depuis la base de données européenne EBAS.

L'évolution du nombre d'accès aux données des sites français (labelisés CLAP depuis 2016 mais existantes et soumises CLAP depuis 2011) sont visibles sur les figures 10a et 10b.

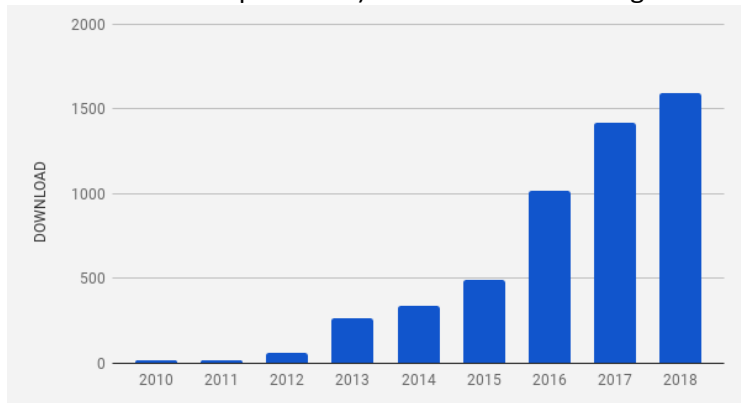


Figure 10a: Evolution temporelle du nombre d'années de données in situ aerosol françaises téléchargées ou visualées par an.

L'augmentation entre 2017 et 2018 est de 14%. En moyenne, cela correspond à 49 ans de données téléchargées par mois. Ce nombre est en constante augmentation, et la moyenne pour 2018 est de 132 ans de données par mois téléchargés.

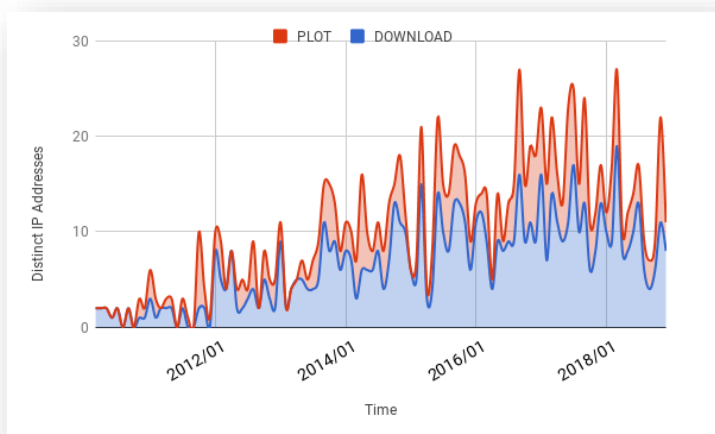


Figure 10b: Evolution temporelle du nombre d'utilisateurs des données aerosol in situ françaises (téléchargées ou visualées) par mois.

En moyenne, 9 utilisateurs par mois téléchargent les données CLAP.

La distribution géographique des utilisateurs des données CLAP en volume de données téléchargées (Figure 11a), et en nombre d'utilisateurs (Figure 11b) montre que l'Allemagne et la Suisse téléchargent les plus grands volumes de données, mais les Etats-Unis puis la France sont les utilisateurs les plus nombreux.

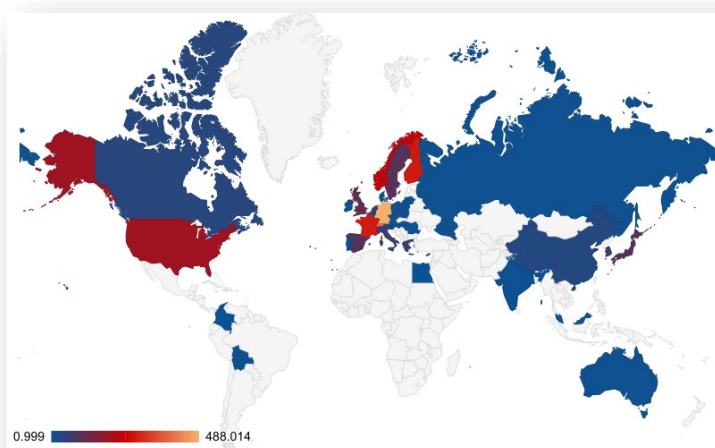


Figure 11a: Carte de la distribution géographique du volume de données aerosol in situ françaises téléchargée par pays.

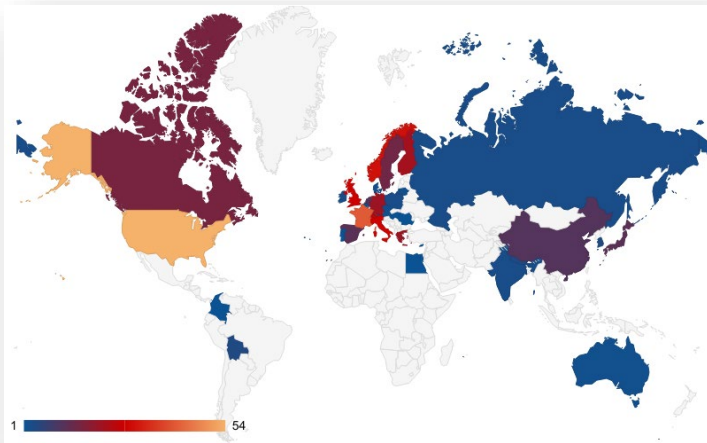


Figure 11b: Carte de la distribution géographique du nombre d'utilisateur ayant téléchargé des données aerosol in situ françaises par pays.

Diffusion et rayonnement scientifique

Les équipes ayant exploité les données CLAP sont nombreuses et nous n'avons pas toujours connaissance de l'utilisation des données. Les statistiques de téléchargement des données ont été fournies dans la section précédente. Ici, nous rapportons des exemples d'équipes utilisatrices dont nous avons connaissance (en réalité avec qui nous collaborons sur nos sites respectifs), et des projets dans lesquels les acteurs CLAP sont impliqués. Cela ne représente donc qu'une partie des utilisateurs.

Exemple d'Equipes ayant exploité les données CLAP (liste non exhaustive):

Au niveau National :

LMD, Laboratoire de Météorologie Dynamique, IPSL
 CERE, Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique
 LISA, Laboratoire Interuniversitaire des Sciences de l'Atmosphère
 LOA, Laboratoire d'Optique Atmosphérique

Au niveau International :

Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, CO, USA
 Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA
 Centro de Ciencias de la Atmosfera, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City, Mexico
 Leibniz Institute for Tropospheric Research, Leipzig, Germany
 Droplet measurement technologies, CO, USA
 School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, United Kingdom
 Department of Chemistry and Molecular Biology, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden
 Institut für Atmosphäre und Umwelt, Goethe-Universität, Germany
 Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich, Zürich, Switzerland
 Université d'Helsinki, Helsinki, Finland
 Université Libre de Belgique, Belgique
 Service d'Aéronomie, Bruxelles, Belgique
 TROPOS, Leipzig, Deutschland

Exemples de projets ayant utilisé les données CLAP (Liste non exhaustive)

Projet Saltena : Etude de la formation de nouvelles particules sur le site CHC
 Projets TNA- ACTRIS2 PICNIC et Projet ANR CHAIN : utilisation des mesures aérosol in situ de la station PUY pour campagnes d'intercomparaison de chambres IN

Projet ANR STRAP : mesures aérosol in situ récoltées sur le site MAIDO pour l'analyse des panaches volcaniques

Projet franco-belge OCTAVE : utilisation des mesures aérosol in situ du site MAIDO, en lien avec les mesures de gaz trace, pour l'analyse de la formation de la nucléation

Projet ANR BioMaido : Etude de la formation de SOA par voies aqueuse et sèche sur le site du MAIDO

Rayonnement

En terme de rayonnement international, nous signalons que certains sites ont obtenu une labellisation de dimension internationale (GAW) durant les 5 dernières années (Pic du Midi, 2018).

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

La structure du SNO CLAP répond aux objectifs suivants :

- Assurer que les mesures soient faites de manière cohérente avec la qualité requise par les réseaux internationaux (ACTRIS et GAW). Pour chaque variable du SNO, un responsable technique aura la responsabilité d'assurer que le contrôle qualité est respecté suivant les règles décrites dans les paragraphes successifs, pour l'ensemble du réseau CLAP. Le SNO centralisera l'expertise requise sur un responsable identifié pour l'ensemble du réseau, qui sera l'interlocuteur identifié avec les centres de calibrations européens d'ACTRIS.
- Assurer l'intégration des mesures et leur mise à disposition pour la communauté scientifique via des bases de données nationale et internationale. Un interlocuteur de CLAP aura la responsabilité d'assurer que la diffusion des données de l'ensemble du SNO est effective en juillet de l'année n+1 /l'année d'acquisition. Il fera le lien entre le SNO et le pôle de données.
- Assurer des sessions training/workshops techniques. Les responsables techniques de chaque variable (responsable de centre de calibration et responsables techniques CLAP) auront également la responsabilité de divulguer les informations sur les formations organisées au niveau européen, et d'organiser des workshops de formation des intervenants sur sites lorsque cela sera nécessaire.
- Assurer l'intégration des partenaires internationaux (Bolivie) dans le SNO et la formation des opérateurs du site.
- Maintenir une animation scientifique sous forme de journée scientifique annuelle lors de laquelle (1) les séries temporelles des variables CLAP de chaque observatoire obtenues sur l'année précédente seront présentées et commentées afin de corriger des biais éventuellement mis en évidence par comparaisons entre sites, et les orientations futures (2) les travaux de recherche autour des taches 1 à 3 seront présentées et discutées, individuellement pour chaque site, mais aussi en intégrant ces informations sur tous les sites. Toutefois, le travail d'intégration de l'ensemble des informations ne pourra être efficacement mis en place qu'à condition qu'un physicien adjoint soit associé au SNO spécifiquement pour cette tâche.

Le fonctionnement du SNO CLAP est basé sur des responsables de sites et des responsables instrumentaux, qui centralisent les questions relatives à ces deux catégories, selon le schéma suivant reporté Figure 12 :

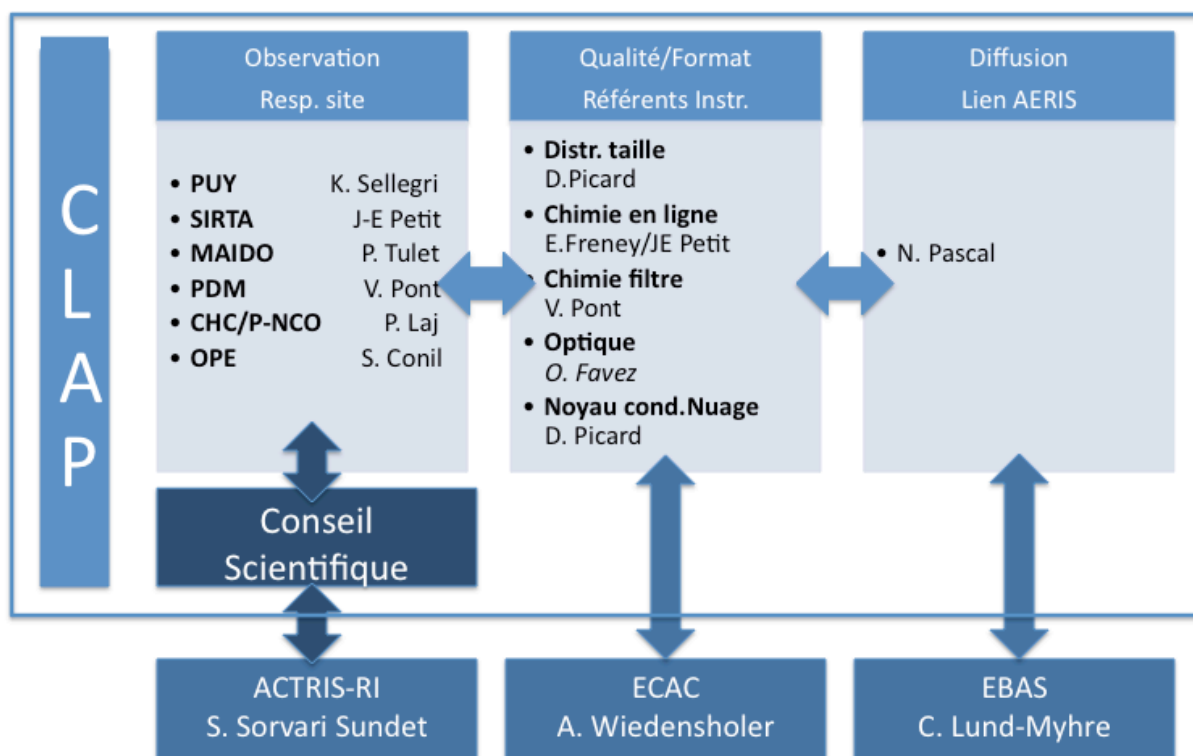


Figure 12 : organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du SNO CLAP. Les ressources présentes au niveau du personnel sont présentées tableau 4, les ressources présentes au niveau instrumentation sont présentées Tableau 1.

Le centre de calibration ACMCC, qui centralise le contrôle qualité des mesures de chimie en ligne de l'ensemble des sites européen, se situe en dehors du périmètre de CLAP, en raison de sa dimension européenne, et donc de la nécessité d'une gestion financière propre. Les ressources humaines relatives au SNO CLAP sont résumées dans le tableau suivant :

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | pm |
|-------------------|--------------------------------|--|-----|
| SELLEGRI Karine | CNRS, LaMP, DR2 | Coordination du SNO CLAP Resp. aérosol in situ PUY Co-PI SMPS et CPC MAIDO | 1,8 |
| PICARD David | CNRS, LaMP, IR2 | Correspondant mesures SMPS et CCNC CLAP Resp. techn. Aérosol PUY, SMPS et CCNC MAIDO | 1,8 |
| FRENEY Evelyn | CNRS, LaMP, CR1 | Chimie en ligne aérosol PUY Correspondant mesures chimie en ligne CLAP (avec J-E Petit) | 1,8 |
| ROSE Clémence | CNRS, LaMP, CR2 | Nanoparticules PUY, CHC | 1,8 |
| PICHON J-Marc | UCA, OPGC, IE | Resp. techn. Aérosol optique PUY | 1,8 |
| RIBEIRO Mickael | CNRS, LaMP, Tech | Resp. techn. OPC PUY, maintenance PUY | 2,4 |
| BOUVIER Laeticia | UCA, OPGC, Tech | Mesures chimie off-line PUY | 1,8 |
| LAJ Paolo | UJF, OSUG, Physicien | Coordination mesures CHC, NCO-P | 1,8 |
| GINOT Patrick | IRD, OSUG, DR | Suivi mesures CHC | 1,2 |
| JAFFREZO Jean-Luc | CNRS, IGE, DR1 | Mesures chimiques CHC | 0,6 |
| UZU Gaëlle | IRD, OSUG, IR | Mesures chimiques CHC | 1,2 |
| FAVEZ Olivier | INERIS, IR | Mesures aerosols SIRT Correspondant mesures optiques CLAP | 2 |
| AMODEO Tanguy | INERIS, IE | QA/QC ACSM SIRT | 1 |

| | | | |
|-------------------|------------------------|---|-----|
| AUJAY Robin | INERIS, Tech | QA/QC mesures physiques SIRTA | 2 |
| PETIT Jean-Eudes | CEA, LSCE, IR | Resp. scientifique mesures aérosol SIRTA Correspondant mesures chimie en ligne CLAP (avec E. Freney) PI mesures filtres et aethalomètre MAIDO | 0,6 |
| TRUONG François | CNRS, LSCE, IE | Resp. technique mesures aérosol SIRTA | 3 |
| BONNAIRE Nicolas | CNRS, LSCE, IE | Mesures chimiques off-line SIRTA | 0,6 |
| PONT Véronique | UPS, LA, MCF | Coordination mesures aérosol Pic du Midi | 3 |
| MEYERFIELD Yves | CNRS, LA, IE | Gestion base de données P2OA | 1,2 |
| GARDAT Eric | UPS, LA, IE | Analyses chimiques off-line Pic du Midi | 1,2 |
| DIAS ALVEZ Maria | CNRS, LA, CDD | Analyses chimiques off-line Pic du Midi | 2,4 |
| LECLERC Emmanuel | CNRS, LA, AI | Maintenance instrumentale | 1,2 |
| METZGER Jean-Marc | Univ Réunion, OSUR, IE | Resp. technique Maido | 4 |
| MOTTET Louis | CNRS, OSUR, Tech | Assistance technique Maido | 0,6 |
| GABAROT Franck | CNRS, OSUR, IE | Base de données Maido | 0,6 |
| TULET Pierre | CNRS, LA, DR2 | Coord. Mesures aérosols Maido Co-PI CPC, SMPS, OPS Maido | 0,6 |
| CONIL Sébastien | ANDRA, IR | Coordination mesures aérosol OPE | 1,2 |
| PASCAL Nicolas | CNRS, AERIS/ICARE, IR | Base de données AERIS portion CLAP | 1,8 |

Tableau 4 : Ressources en personnel associées au SNO CLAP

Gouvernance

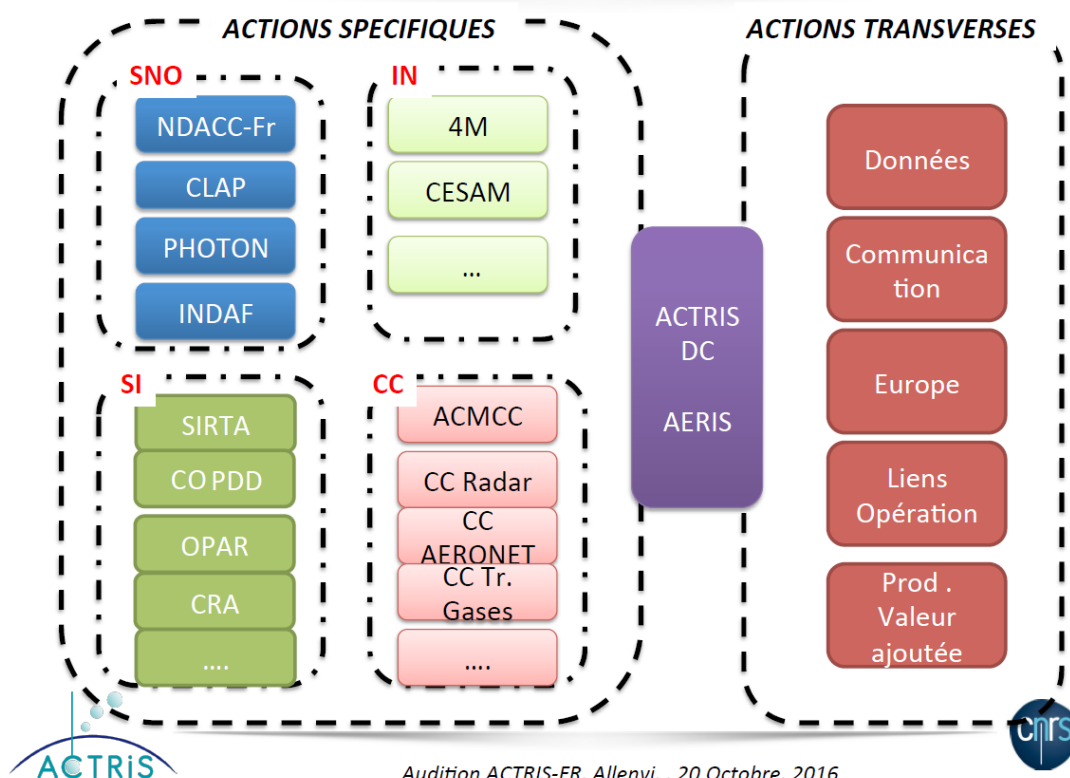
CLAP est un élément de l'IR ACTRIS-Fr et a donc vocation à fournir à l'IR les éléments nécessaires à l'élaboration de produits à valeur ajoutée, à partir des informations fournies par les différents SNO contribuant de l'IR. En interne (organigramme fonctionnel en B7), CLAP est géré par un conseil scientifique formé des représentants de chacun des partenaires, des responsables de centres de calibration nationaux, du coordinateur du projet, ainsi que les représentants ACTRIS et Pole Atmosphère. Plus spécifiquement, le conseil scientifique, à la charge :

- D'assurer le fonctionnement du projet en permettant les échanges d'information entre les participants et en particulier d'organiser une réunion scientifique annuelle d'une journée destinée à la discussion des avancées scientifique liée à l'observation
- D'organiser les demandes communes pour la jouvence de l'instrumentation sur l'un ou l'autre des sites de mesure.
- D'assurer la protection des fournisseurs de données CLAP (mises à disposition de la communauté au maximum 12 mois après la mesure)
- de la répartition des crédits annuels en fonction des besoins de chacun des partenaires.
- D'assurer la mise en place en collaboration avec le pôle de données de l'IR ACTRIS-Fr de la transmission/archivage/restitution des données à la communauté
- de fournir à l'INSU un rapport d'avancement annuel informant sur l'état des mesures, les personnels impliqués, et la mise à disposition de données
- d'organiser la représentativité de CLAP dans les initiatives scientifiques internationales et faire en sorte que l'action nationale intègre tous les projets en gestation de la manière la plus efficace.

De manière annuelle à bi-annuelle, le CS de CLAP se réunit pour décider des priorités en terme de besoins en instrumentation, en personnel, de la répartition financière annuelle, pour décider des demandes à faire remonter au niveau de l'IR ACTRIS-Fr (structure d'appels à projets représentée Figure XX) et pour faire un

bilan de la soumission de données. Ces réunions permettent à la coordinatrice de faire remonter un message clair et concerté au COMEX ACTRIS-Fr pour le GT2 lors de l’attribution des financements propres à l’IR ACTRIS-Fr. Le SNO CLAP échange également les informations nécessaires a son fonctionnement et relatives au contenu scientifique du SNO lors d’ateliers de travail du GT2 à l’occasion du workshop annuel ACTRIS-Fr.

Déclinaison nationale des éléments ACTRIS



Audition ACTRIS-FR, Allenvi, , 20 Octobre, 2016

Budget

Les coûts de fonctionnement de CLAP ont été sur la période 2016-2019 (3 ans) de 145,5 k€/an, et 77 k€/an en investissement dans l’instrumentation et jouvence, soit une dépense annuelle de 222,5 k€ (Tableau 6). Près de 170 k€/an ont été obtenus via les observatoires (OSU), les laboratoires, et les organismes (IRD, INERIS) ainsi que via le projet EU ACTRIS-2, sur la période 2016-2018 (Tableau 5). Une grande partie du coût du SNO est donc prise en charge (la totalité s’agissant du site de l’ANDRA). Le financement demandé pour CLAP à l’INSU consiste à un soutien direct aux stations, une contribution à la jouvence de l’instrumentation (Tableau 7), représentant 19% du coût total du SNO.

Note importante: en plus des besoins existants les 3 premières années du SNO : ACTRIS-Europe ne finance plus les campagnes d’intercomparaisons et de participation aux technical workshops. Les recommandations ACTRIS-RI à l’heure actuelle sont d’une calibration tous les deux ans par instrument (fréquence supérieure à celle préconisée ces trois dernières années). Nous devons donc puiser soit dans le financement récurrent du SNO (avec une augmentation du budget demandé à l’INSU de l’ordre de 4 kE par an (soit 4 missions pour une personne à l’ECAC, Leipzig par an) soit compter sur une aide de la part de l’IR ACTRIS-Fr pour assurer le fonctionnement du SNO aux standards européens.

| Ressources récurrentes sur 2016-2018 ¹ | | | Ressources occasionnelles sur 2016-2018 | | |
|---|--------------|--|---|--------------|--|
| Origine ² | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | Commentaire |
| Interne OSU | 26 | Contributions de OSUG, OPAR | CPER | 34,3 | |
| Interne UMR | 12 | Contribution LSCE | Interne OSU | 19 | Contributions de OSUG, OPAR, OPGC, OMP |
| Projet européen hors FEDER | 15 | Contributions ACTRIS-Eu sur fonds labos (LaCY, LA, LSCE, LaMP, LGGE) | Interne UMR | 51 | Contributions LA, LSCE |
| INERIS | 12 | | Projet Européen hors FEDER | 22 | Contributions ACTRIS-Eu sur fonds labos (LaCY, LA, LSCE, LaMP, LGGE) |
| IRD | 15 | Contribution site CHC | INERIS | 225,5 | |
| | | | IRD | 12 | Soutien campagne Saltena CHC |
| | | | ACTRIS-Fr | 25 | Co-financement jouvence SMPS PUY |
| | | | CNRS-INSU | 63 | Co-financement mi-lourd analyseur Sunset EC/OC LA |
| TOTAL | 80 | | TOTAL | 451,8 | |

²exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

Tableau 5 : Ressources du SNO CLAP

| Dépenses récurrentes sur 2016-2018 | | | Dépenses occasionnelles sur 2016-2018 | | |
|------------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------------|--------------|-------------|
| Nature ² | Montant (k€) | Commentaire | Nature | Montant (k€) | Commentaire |
| Fonctionnement et missions | 284,5 | | Équipement | 230,3 | |
| Salaires | 152 | | | | |
| TOTAL | 436,5 | | TOTAL | 230,3 | |

²CDD-stagiaires, équipement, fonctionnement, ou missions

Tableau 6 : Dépenses liées au SNO CLAP sur la période 2016-2018

| Demande de soutien sur 2019-2023 | | |
|----------------------------------|--------------|---|
| Nature ² | Montant (k€) | Commentaire |
| Fonctionnement | 43 | Consommables, maintenance et missions |
| Équipement | 10 | Contribution à l'équipement sous condition d'un co-financement extérieur |
| TOTAL | 53 | Ce besoin est augmenté de 4 k€ si l'IR ACTRIS-Fr ne prend pas le relais pour le financement des intercomparaisons d'instruments tous les deux ans comme préconisé par ACTRIS-Europe |

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

La communication et diffusion des connaissances vers le grand public est assurée au niveau de chaque observatoire individuellement. A titre d'exemple, les instruments CLAP sont présentés au puy de Dôme aux étudiants et au grand public régulièrement (une moyenne de 500 vi-Siteurs du chalet du puy de Dôme par an). De même, les instruments CLAP du Pic du Midi sont présentés, tous les ans, dans le cadre de stage de terrain aux étudiants des masters SOAC (Université Toulouse III), EGTP (Université

de Pau et Pays de l'Adour) et PEPS (Université Versailles Saint Quentin). Les thématiques de recherche portées par le SNO CLAP et plus spécifiquement au Pic du Midi intéressent aussi les médias nationaux, dans le contexte de changement climatique et de site d'altitude de surveillance des évolutions associées de l'atmosphère : ainsi, France 5 a réalisé un documentaire 'L'aventure Météo' (diffusion 23/05/2019) et France Inter réalisera début juin 2019 un reportage pour l'émission 'Le Temps d'un Bivouac' (partenariat France Inter- CNRS Le journal).

Difficultés rencontrées

Le SNO CLAP ne bénéficie pas de personnel CNAP pour assurer des services à la communauté de bonne qualité (en particulier au niveau de la stratégie de communication et la formation des personnels au sein de CLAP, et surtout au niveau de la possibilité de fournir un service de contrôle qualité de mesures qui effectuées par des acteurs extérieurs au SNO actuellement (campagnes ponctuelles, moyens mobiles..etc.). La direction du SNO, prise en charge par une DR CNRS, est une solution provisoire compte tenu de la charge de travail qu'elle assume par ailleurs. Des candidats, avec de très bons dossiers (certains ont été pris au CNRS), ont été présentés chaque année où un poste a été ouvert, sans succès à ce jour auprès de la commission.



Clermont-Ferrand, le 26 avril 2019

Lettre d'engagement de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC) sur le SNO CLAP-France-Atmosphère

Le service national d'observation CLAP a pour objectif le suivi à long terme des propriétés de l'aérosol pertinentes pour le climat. IL fournit à la communauté scientifique des données de haute qualité sur la variabilité spatiale et temporelle des propriétés de l'aérosol atmosphérique via le portail de données AERIS en France et ACTRIS en Europe. Ces données permettent de caractériser, suivre et comprendre l'évolution du contenu en aérosol atmosphérique afin et de quantifier sa contribution au système climatique (forçages radiatif direct et indirect).

Le SNO CLAP. Il contribue sur l'ensemble de son périmètre à l'IR ACTRIS-Fr, et l'infrastructure européenne ACTRIS-RI.

Ce SNO labellisé par l'INSU depuis 2016, sous responsabilité de l'OPGC s'articule autour 7 sites d'observation au niveau français issus de 5 observatoires (OPGC, OSUG, OSU-R, OMP, OVSQ/IPSL/SIRTA).

En particulier pour les mesures menées sur le site du puy de Dôme (PUY), l'OPGC met à disposition l'infrastructure de la station, et le personnel pour la maintenance des instruments de mesure.

Il est essentiel pour l'OPGC d'apparaître comme moteur au niveau national pour les aspects liés à la surveillance de l'aérosol in situ.

Par cette lettre L'OPGC s'engage à soutenir le SNO CLAP et sa coordination le site clermontois, que ce soit au niveau RH, financier ou logistique, et soutien sans réserve sa demande de renouvellement de labellisation national.



Université Clermont Auvergne
Bâtiment de l'OPGC
Campus Universitaire des Cézeaux
4 Avenue Blaise Pascal
TSA 60026 – CS 60026 – 63178 AUBIERE cedex – France
☎ 04 73 40 73 80 - 📠 04 73 40 73 82
✉ secretariat@opgc.univ-bpclermont.fr



Saint Denis, le 26 Avril 2019

Lettre de soutien de l'OSU-Réunion pour le SNO CLAP

Le service national d'observation CLAP (SNO CLAP, CLimate relevant Aerosol Properties from near surface observations) a pour objectifs le suivi de de paramètres climatiques essentiels (essential climate variables – ECV-) liés à l'aérosol atmosphérique et définis comme tels par GCOS (Global Climate Observing System) et GAW (Global Atmosphere Watch), à partir de sites d'observation. Le SNO CLAP doit permettre d'évaluer, dans un contexte de changement climatique (1) l'évolution long terme de certaines sources importantes de l'aérosol, (2) l'évolution long terme de la charge en aérosol pour différentes classes de taille et pour différentes espèces chimiques, et (3) les rétroactions éventuelles de l'aérosol vers le climat à travers ses propriétés optiques et de noyau de condensation nuageuse (CCN). Il s'intègre dans l'IR ACTRIS-FR, et la future infrastructure européenne ACTRIS-ERIC. Ce SNO labellisé par l'INSU depuis 2013, s'articule autour d'un réseau d'observatoires atmosphériques coordonné par l'OPGC.

Avec le soutien de l'OSU-Réunion (UMS 3365) et du LACy (Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones, UMR 8105), le Site Instrumenté de l'OPAR (SI OPAR, Observatoire de Physique de l'Atmosphère à La Réunion) héberge depuis 2013 une partie cruciale du parc instrumental du SNO CLAP (Aéthalomètre, Particle Counter CPC, Scanning Mobility Particle Counter, Off-line filters), celle située aux tropiques de l'hémisphère Sud. Pour opérer et maintenir les instruments, et pour traiter leurs données, l'OSU-R contribue à la responsabilité technique de ces instruments en gérant l'infrastructure des locaux mis à disposition à l'OPAR (observatoire du Maïdo), et en consacrant des ressources humaines (personnel technique) et un budget provenant de l'INSU-CNRS et de l'Université (voir le dossier de re-labellisation du SI OPAR, Avril 2019).

Par cette lettre, l'OSU-Réunion (UMS 3365) s'engage à poursuivre son soutien au SNO CLAP dans le cadre de son renouvellement.



J.-P. Cammas
Directeur de l'OSU-Réunion et de l'UMS 3365



Saint-Denis, le 11 Avril 2019

Lettre de soutien de l'UMR LACy pour le SNO CLAP

Le service national d'observation CLAP a pour objectif le suivi des paramètres climatiques essentiels liés à l'aérosol atmosphérique à partir de sites d'observations. Il vise l'étude de l'évolution des sources, de la charge, de la distribution en taille des aérosols et de leurs rétro-actions éventuelles vers le climat au travers de leurs propriétés radiatives et de noyau de condensation naageuse.

L'Observatoire de Physique Atmosphérique à la Réunion (OPAR), le laboratoire LACy et l'OSU-R sont intégrés au SNO CLAP depuis sa labellisation en 2015.

Le SOFRE ORAURE puis le SNO CLAP ont largement contribué à l'épanouissement et à la diversification scientifique du nouvel observatoire du Maïdo (2013) :

- cinq campagnes scientifiques et 10 partenariats scientifiques internationaux se sont appuyés sur le SNO CLAP depuis 2015,
- les instruments labellisés dans le SNO CLAP sont centraux dans la demande de labellisation GAW global de l'OPAR,
- CLAP s'intègre dans l'IR ACTRIS-FR, et la future infrastructure européenne ACTRIS-ERIC.

Les observations menées dans le cadre du SNO CLAP sont pleinement intégrées dans la politique scientifique du laboratoire et constituent une richesse et une force collaborative importante pour le LACy depuis 2015.

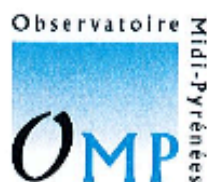
Par cette lettre, le laboratoire LACy soutient sans réserve la reconduction de sa labellisation et s'engage à poursuivre son implication dans le SNO CLAP sur le long terme.

Le Directeur du LACy



Pierre TULET
Directeur de l'UMR8105 LACy

LACy - Université de la Réunion
15 avenue René Cassin - CS 92003 - 97744 Saint-Denis Cedex 09
Tel : 0262 93 82 65 / +262 262 93 82 65
Fax : 0262 93 82 54 / +262 262 980 82 54



Observatoire Midi-Pyrénées
Laboratoire d'Aérodynamique
14 avenue Edouard Belin
31400 Toulouse

Toulouse, le 15 avril 2019

Lettre d'engagement de l'OMP et du LA sur le SNO CLAP

Le service national d'observation CLAP a pour objectif le suivi de paramètres climatiques essentiels liés à l'aérosol atmosphérique à partir de sites d'observations d'altitude. Ce service fait partie de l'infrastructure de recherche ACTRIS-FR et de la contribution française à la future Infrastructure de Recherche Européenne ACTRIS-ERIC. Ce SNO labellisé par l'INSU en 2016, s'articule autour d'un réseau d'observatoires atmosphériques coordonné par l'OPGC.

Depuis sa création, l'observatoire Midi-Pyrénées et l'unité de recherche LA collaborent pleinement avec le SNO CLAP. Cette collaboration se traduit par un engagement fort sur la station du Pic du Midi, deuxième site de la Plateforme Pyrénéenne d'Observation Atmosphérique (P2OA). L'OMP et le LA soutiennent le SNO au travers de moyens humains, matériels (infrastructure du Pic du Midi et équipements) et financiers (soutien financier récurrent de l'observatoire). Au cours des trois dernières années, le LA et l'OMP ont financés et co-financés le nouvelle instrumentation du Pic du Midi pour la mesure des aérosols en cohérence avec les attentes de l'infrastructure européenne ACTRIS. Une chercheuse de l'Université Paul Sabatier, Véronique Pont est la référente, responsable scientifique des observations sur le site. Elle coordonne à la fois les besoins techniques mais aussi la valorisation scientifique des observations en collaboration avec le SNO CLAP.

Par cette lettre l'Observatoire Midi-Pyrénées et le Laboratoire d'Aérodynamique s'engagent à poursuivre ce soutien logistique, humain et financier au SNO CLAP.

Le Directeur de l'Observatoire Midi-Pyrénées

Michael TOPLIS
Directeur de l'Observatoire
Midi-Pyrénées

Michael TOPLIS

La Directrice du Laboratoire d'Aérodynamique

Céline MARI-BONTOUR
Directrice
Laboratoire d'Aérodynamique

Céline MARI-BONTOUR



Elsa Cortijo
Directrice

Gif-sur-Yvette, le 30 avril 2019

Objet : Lettre de soutien à la demande de renouvellement de la labellisation du SNO CLAP

Créé en 2013, le service national d'observation CLAP (Climate relevant Aerosol Properties from near surface observations) se consacre au suivi, à partir de sites d'observations, et sur le long terme, de paramètres climatiques d'intérêt liés à l'aérosol atmosphérique.

Sur les thématiques du SNO CLAP, le LSCE s'est investi depuis huit années, notamment au travers de la mise en œuvre d'activités de mesures des propriétés microphysiques et chimiques des aérosols. Ces observations font partie intégrante du Site Instrumenté SIRTA, et permettent d'apporter de précieuses connaissances sur les sources des aérosols et leur devenir en région Ile-de-France. Au même titre que le SNO CLAP, le SIRTA est un des composants fondateurs d'ACTRIS-FR. ACTRIS-FR est également la structure qui permet de coordonner les contributions françaises à l'infrastructure européenne de recherche ACTRIS-RI.

Le LSCE (UMR CEA-CNRS-UVSQ) a recruté en 2018 un chercheur CEA dont l'activité est consacrée pour moitié aux travaux en lien avec ces observations. A ce titre, ce recrutement permet de 1/ pérenniser les observations engagées, et 2/ renforcer les différentes expertises au sein du SNO CLAP.

Aujourd'hui, 1 chercheur et 2 IE sont impliqués (représentant environ 1 ETP) dans les mesures du SNO CLAP.

Le LSCE s'engage à poursuivre son implication au SNO CLAP dans le cadre de son renouvellement.

Unité Mixte de Recherche CEA-CNRS-UVSQ



Annexe D : SNO stratégique pour les activités spatiales
Exemple d'utilisation des données CLAP pour la validation CALIOP

The objective of the work performed in EECLAT Task 3.2 is to evaluate the aerosol properties retrieved by CALIOP for different air mass types at mid-latitudes using mid-altitude ground based in-situ measurements and collocated ground based LIDAR profiles. This methodology will also be used for the evaluation of EarthCare products.

The chemical composition, microphysical (mass, size distribution, hygroscopicity) and optical (diffusion, absorption, extinction, single scattering albedo) properties of atmospheric aerosol particles are measured by a number in-situ instrumentation of the puy-de-Dôme global GAW station (PUY, 1465 m), located near Clermont-Ferrand. In addition, a CIMEL sun-photometer and an aerosol and water vapour UV lidar (Fréville et al., 2015) perform remote sensing measurements at the Cézeaux University site, located 10 km east of the PUY station. The remote sensing instruments provide a vertical sampling of the aerosol optical properties (optical thickness, size distribution and refraction index for the photometer, and backscatter and extinction profiles and depolarization ratios for the lidar). Due to its high altitude, the PUY station is representative of a large geographical area (Henne et al. 2010; Hervo 2013; Beddows et al., 2014). Moreover, as a consequence of the diurnal and seasonal variations of the boundary layer height, the PUY station is either in the boundary layer or in the free troposphere allowing thus to characterize both atmospheric layers (Venzac et al., 2009 ; Freney et al., 2011 and 2016, Rose et al., 2015, Farah et al., 2018).

The combination of in-situ and remote sensing continuous measurements provides a unique opportunity to evaluate the aerosols properties retrieved by CALIOP. In particular the recent method, developed at the LATMOS, to derive CALIOP aerosol optical properties (color ratio, lidar ratio, aerosol optical depth) from the level 1 data products will be evaluated (Ancellet et al., 2014) as well as the classification and the aerosol/cloud distinction. The number of coincidences available between in-situ and CALIOP measurements being limited (in general about 50 per year with up to 100 km of distance), other comparisons will be performed: statistical comparisons of optical parameters based on all CALIOP measurements near Clermont-Ferrand and trajectory match as explained below.

Results

Lidar ratio (ratio of the volume backscattering to extinction coefficients) is one of the most difficult aerosol property to evaluate as there is no direct measurement of this parameter. Five methods, listed below, were proposed to calculate the lidar ratio using different instruments:

- 1) Backscatter coefficient measured by the nephelometer and absorption coefficient measured by the MAAP instrument.
- 2) Backscatter and absorption coefficients calculated by Mie calculation using size distributions provided by the SMPS and GRIMM instruments. To improve this method, the refractive index is adjusted in order to provide results in agreement with the optical properties measured by the MAAP and nephelometer.
- 3) Lidar ratio deduced from the phase function provided by the photometer.
- 4) Lidar ratio calculated from the lidar data with the Aerosol Optical Depth constrained by the photometer.
- 5) Backscatter and absorption coefficients calculated by Mie calculation using size distributions provided by the SMPS and GRIMM instruments and refractive index calculated from the chemical composition provided by the ACSM.

The results of these methods have been compared together and with the CALIOP data (for the operational algorithm and the LATMOS research algorithm) over the period June 2015-August 2016 (period of the availability of the ACSM data). As only 6 coincidences (maximum of 1 hour time difference and 100 km distance) were available during that period, back and forward trajectories with FLEXTRA have been performed from the PUY station every 3 hours. Intersections between the CALIOP ground tracks and the trajectories have been selected and the CALIOP data extracted at these locations have been compared to the PUY measurements assuming no modification of the aerosols properties during the trajectory of the air mass. The different methods show the same order of magnitude in the lidar ratios retrieved. However, the comparisons between one method and another show some differences (see graph on the left figure). Many tests have been performed to understand these differences as the impact of the measurement wavelength, the high

concentrations in the coarse mode not detected by the ACSM. After data filtering, the number of points remaining is not large enough to allow a statistical study (see graph on the right figure).

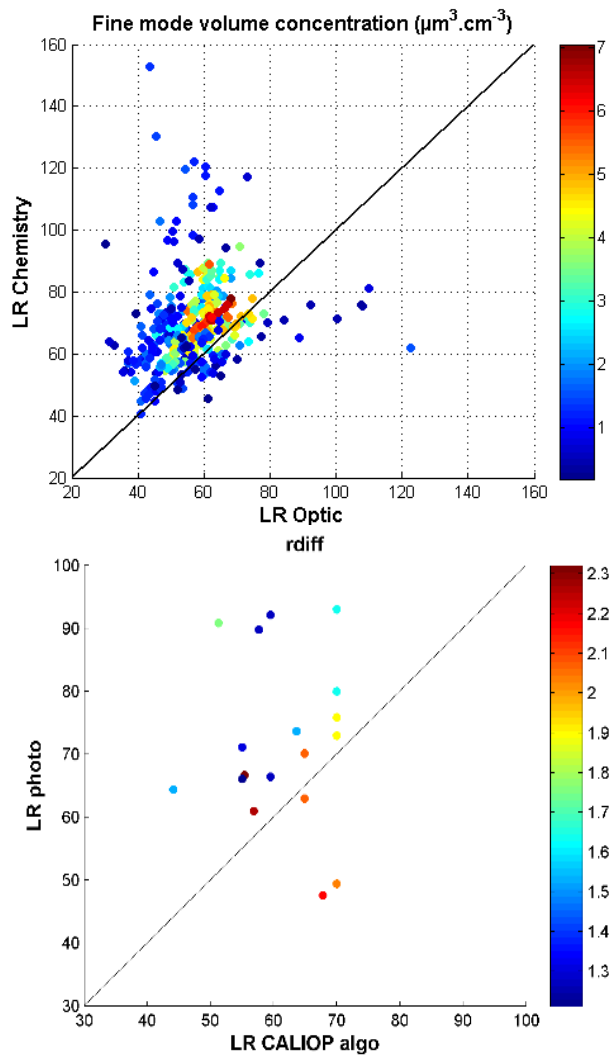


Figure: (left panel) Comparison of the lidar ratios retrieved by the method 5 and by the method 2. Points are colored by the fine mode volume concentration. A better agreement between the methods is obtained when the fine mode volume concentration is high (right panel) Comparison of the lidar ratios retrieved by the photometer (method 3) and by CALIOP (LATMOS research algorithm) after filtering. Points are colored by the scattering ratios retrieved by CALIOP. The number of points is not sufficient to be conclusive.

AUVERWATCH (AUVERgne WATER CHEmistry)

Adresse URL du site web du service : <http://www.observatoire.univ-bpclermont.fr/SO/auverwatch/index.php>

Résumé du service: Le projet AUVERWATCH a pour objectif de caractériser l'évolution de la qualité des masses d'eaux en Auvergne face aux changements globaux climatique et socio-économique. Un réseau de 9 points d'échantillonnage, prélevés mensuellement en vue de l'analyse de 100 à 500 paramètres selon les sites, permet d'observer cette évolution des masses d'eau représentatives de la région (pluie, hydro-systèmes alluvial, volcanique, thermo-minéral).

Nom du responsable 1 : Hélène CELLE-JEANTON, Pr, helene.jeanton@univ-fcomte.fr

Laboratoire : UMR 6249 CHRONO-ENVIRONNEMENT

Nom du responsable 2 : Gilles Mailhot, Dr CNRS, gilles.mailhot@uca.fr

Laboratoire : ENSCCF, FR Environnement, UBP/CNRS FR 3467/INRA

OSU ou établissement/organisme de rattachement : OPGC

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Les pressions qui pèsent sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, principalement en raison des activités humaines - urbanisation, croissance démographique, augmentation du niveau de vie, concurrence croissante pour les ressources en eau et pollution. Le changement climatique et les variations des conditions naturelles viennent aggraver ces pressions. L'enjeu majeur pour la préservation de la quantité et de la qualité des ressources en eau est donc de parvenir à une gestion du cycle de l'eau conforme aux exigences du développement durable. Dans ce contexte, une attention particulière doit être accordée aux questions d'échelle temporelle, l'hydrologie des longues chroniques étant la seule à même de prendre en compte les effets cumulatifs des polluants, et d'intégrer les variations sur le long terme.

Le système d'observation AUVERWATCH s'attache ainsi à caractériser l'évolution de la qualité des masses d'eaux en Auvergne (hydrosystèmes volcanique, sableux, alluvial, cristallin, thermo-minéral) face aux changements globaux. Le projet est développé autour de 3 actions / objectifs scientifiques : 1) un suivi à long terme destiné à contrôler l'évolution de la qualité et de la quantité de la ressource en eau en liaison avec les changements globaux ; 2) un site expérimental sur la nappe alluviale de l'Allier destiné à la mise en place d'actions collaboratives pour étudier la réactivité du milieu alluvial ; 3) des études ponctuelles sur l'ensemble des sites pour mieux comprendre le fonctionnement et les transferts d'eau et de matière à l'échelle des différents sites.

Il est financé par l'OPGC, la Fédération de Recherches en Environnement de l'UCA, Clermont-Communauté, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et L'Oréal Vichy International. Entre 2014 et 2018, les mesures récurrentes ont permis d'établir un modèle de fonctionnement de la nappe alluviale et de montrer l'impact de l'irrigation sur les ressources en eau des aquifères sableux en région tempérée. Le SO a été labellisé dans le réseau national des sites hydrogéologiques H+ et dans l'Infrastructure de Recherche OZCAR en 2016.

Mission d'observation : tableau

Description exhaustive du service en termes de sites et de grandeurs géophysiques, biogéochimiques ou biologiques (dans le périmètre défini par la prospective OA) et de la durée des séries préexistante à la demande de labellisation. Justification des sites/paramètres par rapport aux objectifs. Préciser si le SNO a vocation à conduire des activités d'enseignement et de formation. Privilégier une présentation concise (tableau, carte).

| Grandeurs mesurées | Fréquence | Périodes | Continu ou épisode crise | Objectif scientifique | Capteurs (sol, satellite, drone, ballon...) |
|---|---------------------|-------------|--------------------------|--|--|
| Paramètres hydrodynamiques (H, Q) | Horaire à mensuelle | Depuis 2014 | continu | <ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation des masses d'eau du point de vue de la quantité ; - Détermination et quantification des interactions entre les masses d'eau ; - Observation sur le long terme de la variabilité de ces paramètres en réponse aux modifications d'occupation des sols et/ou à un changement des paramètres climatiques. | Capteurs de hauteur d'eau dans piézomètres/ rivière Allier |
| Paramètres physico-chimiques (T, EC, pH) | Horaire à mensuelle | Depuis 2014 | continu | <ul style="list-style-type: none"> - Définition de la composition chimique des eaux ; - Détermination de l'origine des eaux et des sources des éléments qu'elles contiennent (naturelle par apports atmosphériques, dissolution des roches encaissantes, activité microbienne ou anthropique par pollution en liaison avec l'occupation des sols et les activités humaines qui s'y développent) ; - Quantification de la contamination minérale ; - Observation sur le long terme de la variabilité de la composition chimique et de la contamination minérale en réponse aux modifications d'occupation des sols et/ou à un changement des paramètres climatiques | Sonde CTD OTT |
| Eléments majeurs (Ca, Na, K, Mg, Cl, SO ₄ , Cl, HCO ₃ , Silice) | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | | non |
| Eléments mineurs (NO ₃ , F, NO ₂ , PO ₄ , NH ₄) | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | | |
| Eléments traces (Al, As, B, Ba, Be, Br, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Gd, Hg, Li, Mn, Mo, Nd, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, U, V, Zn) | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | | |
| Isotopes de la molécule d'eau (¹⁸ O, ² H) | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | | non |
| Bactériologie pathogène (entérocoques, salmonelles, pseudomonas, Ecoli) | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | <ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation et quantification de la contamination organique ; - Observation sur le long terme de la variabilité de la contamination organique en réponse aux modifications d'occupation des sols et/ou à un changement des paramètres climatiques. | non |
| O ₂ et CO ₂ dissous | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | | |
| Molécules phytosanitaires (383) | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | | |
| Molécules pharmaceutiques (48) | Mensuelle | Depuis 2014 | continu | | |

AUVERWATCH



Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

Liens avec d'autres SNO, insertion du SNO dans le dispositif de recherche français (régional, national), insertion européenne et internationale, appartenance à un réseau européen ou international d'observation. Le rattachement à une voire plusieurs IR/TGIR de référence, existantes ou en construction, est fortement encouragé.

Positionnement actuel et prévu

AUVERWATCH appartient au SNO H+ et à l'IR OZCAR. Pas d'évolution prévue.

Développements prévus du SNO

Le projet pour le prochain quadriennal s'oriente selon deux axes : 1) une meilleure définition de la géométrie de l'aquifère ; 2) une approche de la réactivité du milieu alluvial. Plusieurs campagnes de géophysiques permettront de définir la géométrie du substratum de l'aquifère alluvial et son recoupement par des anciens chenaux de l'Allier, qui ont un rôle majeur dans les circulations d'eau et donc le transport des contaminants. Par ailleurs, un couplage entre les concentrations en pharmaceutiques et les mesures distribuées de température par fibre optique (FO DTS) permettra de mieux comprendre comment se distribuent les circulations d'eau. Ces circulations seront interprétées à partir de mesures des concentrations en pharmaceutiques en terme de processus de transport (diffusion, dégradation, adsorption).

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial ? : non

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) : non

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

Le service proposé relève-t-il

• **d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?** : oui SIC

• **d'autres instituts du CNRS (oui/non) ? et le(s)quel(s) ?** : non

Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) : non

Si oui, préciser le/les quel(s)

Protocoles de mesure

Description rigoureuse des protocoles de mesures conduisant à des précisions à même de répondre aux questionnements scientifiques (y compris les stratégies d'échantillonnage dans l'espace et le temps).

Description des procédures de contrôle qualité. Lien avec les procédures de qualité utilisées dans les réseaux internationaux ou les IR/TGIR de référence.

Caractéristiques des sites d'échantillonnage et équipements installés

| Sites | Caractéristiques | Matériel d'échantillonnage | Capteurs |
|---------------------|--|--|-----------|
| Source de l'Ours | Forage de 14m (prof) x 2m (diam) | Echantillonnage direct à l'exutoire : remontée des eaux sous pression et CO ₂ | Non |
| Source de l'hôpital | Forage de 15.2 m de profondeur | Echantillonnage direct au niveau de la tête de forage | Non |
| Source Lucas | Forage de 3.5 m de profondeur | Echantillonnage direct au niveau de la tête de forage | Non |
| Source Marpon | Galerie de captage équipée d'un seuil jaugé | Echantillonnage direct dans la galerie, à la source | Non |
| P33 | Puits de pompage de 10m (prof) x 2m (diam) ; | Echantillonnage au moyen d'une pompe 12V (vidange de l'ouvrage impossible mais eau renouvelée régulièrement car puits d'exploitation). | Sonde CTD |

| | | | |
|---------------|--|--|---------------------------------------|
| D13 | Piézomètre en métal de 10m (prof) x 10 cm (diam). | Echantillonnage au moyen d'une pompe 12V après vidange de l'ouvrage | Sonde CTD |
| Allier | | Echantillonnage depuis la rive, au moyen d'un échantillonneur monté sur perche télescopique. | Sonde CTD |
| Pluie Cournon | Pluvio-collecteur à ouverture automatique Eigenbrodt NSA181/KHS réfrigéré. | | Capteur de hauteur de pluie |
| Pluie Opme | Pluviomètre totalisateur (adaptation du système proposé par l'AIEA) | | Station météorologique de Opme (OPGC) |

Méthodologie d'échantillonnage

Chimie : (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , and K^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-}), (Li, Be, B, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, Nd, Gd, Hg, Pb, and U), gaz dissous (O_2 , CO_2) et silice (H_4SiO_4). Les échantillons sont collectés dans des flacons en PE, préalablement rincés 2 fois avec l'eau à échantillonner. Les échantillons en vue d'analyses en traces et en cations majeurs sont acidifiés en ajoutant du HNO_3 ultrapur jusqu'à atteindre un $\text{pH} < 2$. Les échantillons en vue d'analyses en traces sont par ailleurs filtrés sur des filtres 0.45 μm .

Isotopes de la molécules d'eau : ^{18}O et ^2H . Les échantillons sont collectés dans des piluliers en verre de 20 ml. Les flacons sont totalement remplis afin d'éviter tout contact avec l'air ambiant.

Molécules phytosanitaires et pharmaceutiques : des échantillons instantanés sont collectés sur 3 points P33, D13 et Rivière Allier, dans des bouteilles d'1L en verre préalablement rincées. Les échantillons sont ensuite maintenus au froid dans des glacières et immédiatement envoyés au laboratoire d'analyses (Eurofins, Carso) pour être traités.

Méthodologie analytique

Les analyses chimiques (ions majeurs, traces) sont effectuées au laboratoire d'analyses de Clermont Métropole. Les concentrations en cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , and K^+) et traces sont déterminées à l'aide d'une ICP-MS-7700. Les anions majeurs (Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-}) sont analysés par chromatographie ionique ICS-1000. La silice est déterminée par spectrophotométrie. Les bicarbonates (HCO_3^-) sont titrés à l'aide de H_2SO_4 immédiatement après l'échantillonnage. Les limites de quantification sont de ± 0.1 mg/l pour les cations majeurs, ± 1.0 mg/l pour les anions majeurs, $\pm 0.001 \mu\text{g/l}$ pour les éléments traces et ± 0.1 mg/l pour H_4SiO_4 .

Les analyses isotopiques sur la molécule d'eau sont réalisées par le département d'hydrogéologie de l'Université de Corse (CNRS UMR 6134 SPE). Les compositions isotopiques sont déterminées par un spectromètre laser DLT-100 (Los Gatos Research) selon le protocole établi par l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (Aggarwal et al., 2009; Penna et al., 2010). Les données sont exprimées en ‰ avec $\delta = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \cdot 1000(\text{‰})$, R est le rapport $^2\text{H}/\text{H}$ ou $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dans l'échantillon. Les erreurs analytiques sont de $\pm 0.1\text{‰}$ pour $\delta^{18}\text{O}$ et $\pm 1\text{‰}$ pour $\delta^2\text{H}$.

Les analyses en molécules organiques concernent 47 pharmaceutiques et 383 pesticides. Chaque échantillon fait l'objet d'une pré-concentration par extraction en phase solide. Après ajustement du pH, en fonction des caractéristiques physico-chimiques de la molécule, les pharmaceutiques ou pesticides sont adsorbés sur un copolymère (styrène divinylbenzène) et élués avec du méthanol ou un mélange méthanol/acétonitrile. Après cette phase de concentration, les molécules sont analysées par LC-MS/MS.

Archivage des données et leur mise à disposition

Les données sont archivées et mises à disposition sur le site de l'OPGC

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du service et de **ses ressources instrumentales et humaines**. Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission du SNO (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique).

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|--------------------------|---|------------------|--------------|
| Gilles Mailhot, DR | FR Environnement, UBP/CNRS FR 3467/INRA | coordination | 2 jours/mois |
| Hélène Celle-Jeanton, Pr | CNRS UMR 6249 LCE | coordination | 7 jours/mois |
| Jean-Luc Devidal, IE | CNRS UMR 6524 LMV | échantillonnage | 2 jours/mois |
| Delage Emmanuel, IE | OPGC | database | 1 jour /mois |

Gouvernance

Organigramme présentant les instances et leurs liens dans la gouvernance et le fonctionnement du SNO, distinguer l'environnement interne du SNO de son environnement externe (par exemple relations avec les instances d'une IR/TGIR, d'un SOERE...). Indiquer les personnels impliqués dans ces instances.

Préciser également le fonctionnement des instances (fréquence de réunion...).

Le système d'observation AUVERWATCH fait partie du SNO H+ (1 à 2 réunions/ an) et de l'IR OZCAR (1 à 2 réunions/ an).

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

D'autres aspects pourront être évoqués tels que la stratégie de communication, les programmes de formation et d'enseignements associés, ainsi que la diffusion de la connaissance.

Relations éventuelles avec la « société civile » : la nature des liens devra être clairement explicitée et les objectifs du partenariat bien identifiés. Les données sont-elles utilisées dans d'autres contextes que la recherche (bureau d'études, contrats de partenariat ou prestations basées sur les données de l'IN...) ?

Les données sont mises à disposition de l'ensemble des partenaires du projet. Par ailleurs, des rapports sont fournis à l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et Clermont Métropole, tous les deux ans. Des réunions techniques sont également organisées tous les deux ans et sont destinées à l'ensemble des personnels du laboratoire de Clermont Métropole, l'AELB et la DREAL. Elles permettent d'informer les gestionnaires de la ressource en eau sur l'état d'avancement du projet et les conclusions inhérentes aux données. Ces interprétations peuvent conduire à une prise de décision de la part des gestionnaires de la ressource en eau, en vue d'en améliorer son utilisation ou sa gestion. Ceci est notamment le cas pour les points de captage destinés à l'alimentation en eau potable.

En ce qui concerne plus particulièrement les données acquises sur les sources Lucas et Hôpital, les données sont communiquées à L'Oréal Vichy International, partenaire du projet. Elles sont ensuite utilisées par la cellule communication de l'entreprise afin de valoriser la composition chimique de ces 2 sources thermo-minérales entrant dans la composition de leurs produits cosmétiques.

Budget

Les ressources financières de toutes origines doivent être prises en compte dans le tableau suivant, en distinguant les ressources récurrentes sur les 4 dernières années et occasionnelles. Indiquer également le budget prévisionnel pour la période 2021-2025.

Justification des besoins prévus 2021-2025 en fonctionnement ou jouvence ou équipement pour maintenir développer l'instrument.

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles à prévoir | | |
|------------------------------------|--|--------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------|
| <i>Origine¹</i> | <i>Montant (k€)</i> | <i>Commentaire</i> | <i>Origine</i> | <i>Montant (k€)</i> | <i>type</i> |
| <i>OPGC</i> | <i>6 / an</i> | | <i>SNO H+</i> | <i>2 à 4</i> | <i>Crédit CNRS</i> |
| <i>FRE</i> | <i>2.5 / an</i> | | <i>Observatoire de l'Allier</i> | <i>?</i> | <i>?</i> |
| <i>L'Oréal Vichy International</i> | <i>3 / an</i> | | | | |
| <i>AELB</i> | <i>8.5 / an</i> | | | | |
| <i>Clermont Métropole</i> | <i>Participation à hauteur de 17 sous forme de prestations analytiques</i> | | | | |
| | | | | | |
| <i>TOTAL</i> | <i>20</i> | | <i>TOTAL</i> | <i>2 à ?</i> | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

Le Réseau Sismologique d'Auvergne (RSA) de l'OPGC a comme principal objectif d'observer la sismicité de l'Auvergne et de ses alentours. Ce réseau fait partie de l'instrument national RESIF (Réseau Sismologique et Géodésique Français) dont l'objectif est au niveau national de permettre à des disciplines comme la sismologie, la géodésie, la gravimétrie, d'acquérir de nouvelles données de qualité et ainsi de progresser dans notre compréhension de la dynamique de notre planète. RESIF dispose sur l'ensemble du territoire français d'instruments permettant de mesurer l'activité du sol. RESIF s'intègre aux dispositifs européens et mondiaux d'instruments permettant d'imager l'intérieur de la Terre. Le RSA représente cette structure au niveau local.

Mission d'observation : tableau

Le RSA comprend en 2019 un total de 18 stations permanentes opérationnelles (Figure 1) déployées en Auvergne et dans ses alentours. La majeure partie de ces stations fait partie du réseau national RESIF. Il s'agit de 7 stations vélocimétriques large bande de l'action spécifique RESIF-RLBP (Réseau Large Bande Permanent) et de 8 stations accélérométriques de l'action spécifique RESIF-RAP (Réseau Accélérométrique Permanent). 5 stations supplémentaires RESIF-RLBP sont en cours de construction. Les 8 stations RESIF-RLBP déjà opérationnelles ont été rénovées durant ces dernières années dans le cadre de l'Equipex RESIF-CORE pour être aux standards internationaux. Les données sont transmises par ADSL au portail RESIF afin d'y être stockées et diffusées. A ces stations s'ajoutent 3 stations du réseau éducatif « sismo à l'école ». L'OPGC dispose également d'un réseau de sept sismomètres portables large-bande pouvant être installés rapidement pour densifier le réseau permanent ou effectuer des déploiements temporaires sur des volcans actifs.

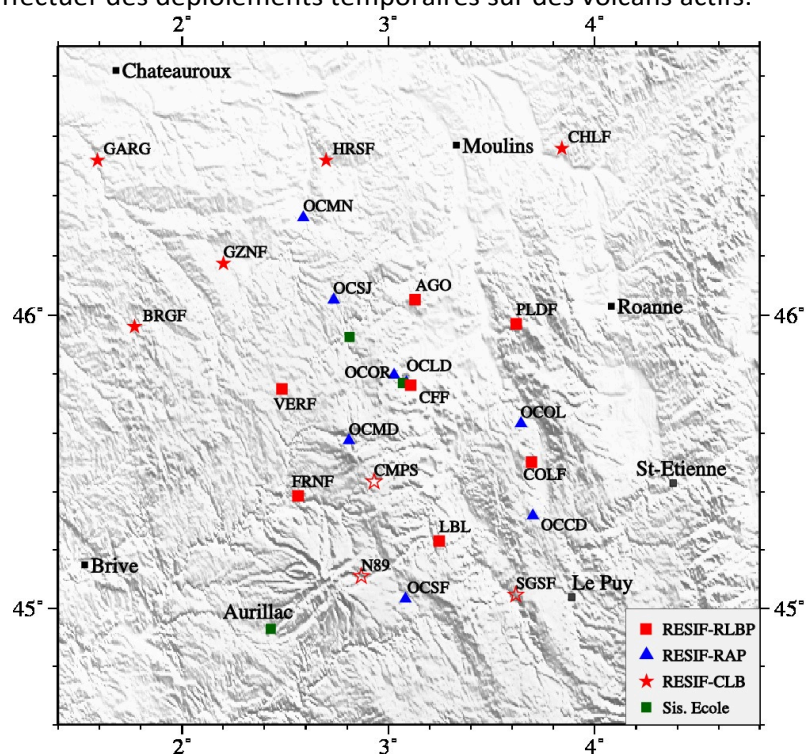


Figure 1: Carte du réseau Auvergne montrant les stations appartenant aux différents réseaux sismiques, RESIF-RLBP, RESIF-RAP et Sismo à l'École. Les stations notées RESIF-CLB sont de futures stations RESIF-RLBP en cours de construction. Les étoiles non remplies sont des stations RESIF-RLBP en projet.

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

L'activité principale du RSA est l'enregistrement de la sismicité en Auvergne, et plus largement dans une partie du Centre de la France. Cette activité est une partie intégrante de l'IR RESIF. Pour rappel, l'IR RESIF permet de mesurer l'activité du sol à des échelles allant de la fraction de seconde à la décennie. Il aide à une meilleure identification des risques et des ressources naturelles, afin de mieux les gérer. Cet instrument s'intègre aux dispositifs européens et mondiaux d'instruments

permettant d’imager l’intérieur de la Terre dans sa globalité et d’étudier de nombreux phénomènes naturels. Dans l’organigramme de RESIF, le RSA intervient dans les actions spécifiques RAP et RLBP. Depuis 2013, l’Université Clermont Auvergne est membre du consortium RESIF, et l’OPGC participe à l’EquipEx RESIF-CORE.

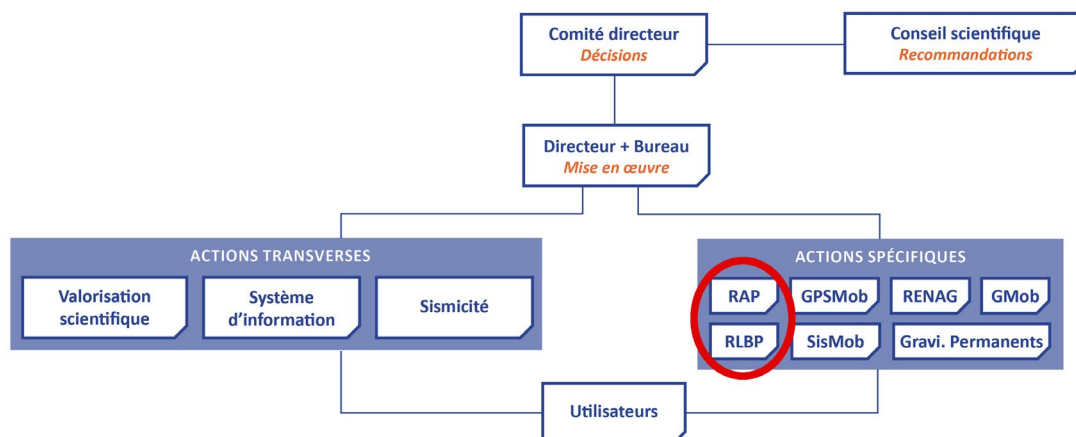


Figure 2 : Organigramme de RESIF montrant les points sur lesquels intervient le RSA (cercle rouge).

Protocoles de mesure

Le RSA utilise des stations sismiques de deux types : des vélocimètres et des accéléromètres. Les vélocimètres du RLBP sont des capteurs large bande qui ont été installés dans le cadre du projet RESIF-CLB pour remplacer les anciennes stations vélocimétriques obsolètes et couvrir la France avec un réseau plus homogène. Les nouvelles stations sont équipées de capteurs installés dans des forages de 5-10 m de profondeur. Les données sont transmises en continu par ADSL, aux standards internationaux, vers les nœuds de validation et de stockage RESIF. Les accéléromètres du RAP mesurent l’accélération du sol. Les données numérisées sont similairement transmise vers les nœuds de stockage. L'ensemble de ces données sont disponible pour la communauté. Les données contribuent à l’étude de la sismicité en Auvergne (Figure 3).

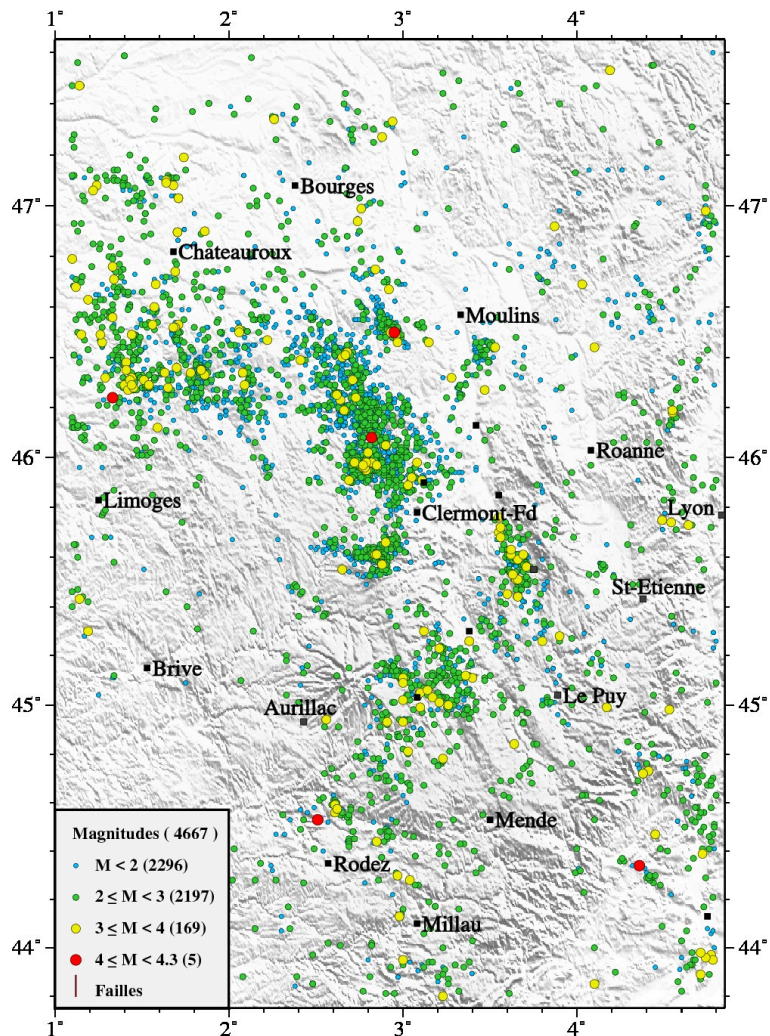


Figure 3 : Sismicité du Massif Central de 1961 à 2015.

Archivage des données et leur mise à disposition

Les données de l'ensemble des stations du réseau permanent (RLBP et RAP) sont transmises en continu par ADSL vers les nœuds de stockage RESIF. L'ensemble de ces données est disponible pour la communauté.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Person/month |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------|
| Jean Battaglia | CNRS | Responsable scientifique | 20 % |
| Jean-Michel Douchain | UCA | Responsable technique | 80 % |
| Edouard Régis | UCA | | 40 % |

Les ressources instrumentales incluent donc 18 stations sismiques permanentes RESIF comme détaillé ci-dessus, trois stations permanentes du réseau « sismo à l'école » et 7 stations portables.

Gouvernance

Ce point est détaillé dans l'organigramme ci-dessus.

Le RSA inclut un référent scientifique (responsable scientifique) et un référent technique (responsable technique). Le fonctionnement du RSA n'inclut pas de réunion formelles au niveau local. Au niveau national RESIF organise annuellement une réunion de tous les référents des différents OSU impliquées dans le projet, ainsi que des journées scientifiques et techniques de manière bi-annuelle. L'OPGC est impliqué dans le comité directeur de RESIF. De manière spécifique, le RAP organise chaque année un conseil, dont le RSA est membre, au ministère de l'écologie et du Développement Durable ainsi qu'une biennale où sont présentés les résultats scientifiques.

Adresse URL du site web du service : http://opgc.fr/vobs/so_forms.php?name=puycloud

Résumé du service: PUYCLOUD fait partie du SI CO-PDD

Nom du responsable : (nom, titre, adresse électronique): Laurent DEGUILLAUME, laurent.deguillaume@uca.fr

Laboratoire : Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP, UMR 6016)

OSU ou établissement/organisme de rattachement : Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (UMS 833)

Contexte, motivations et objectifs scientifiques

L'eau est une des ressources fondamentales sur laquelle repose la plupart des activités de l'homme et de son développement. Elle est soumise à des interactions complexes au sein du système terre/atmosphère et les activités de l'homme pourraient, à brève échéance, modifier de manière substantielle et durable, l'accessibilité de tous à cette ressource. Dans ce cadre, il convient de mieux comprendre le mécanisme de cette perturbation et de mieux diagnostiquer les relations entre les pratiques et leurs conséquences, qu'elles soient locales, régionales ou planétaires. Pour cela, un suivi détaillé et continu des propriétés chimique, physique et biologique de l'eau est primordial.

L'objectif du SO PUYCLOUD est de documenter et quantifier l'impact des modifications environnementales notamment d'origine anthropique :

- sur le transfert et la transformation d'espèces chimiques dans l'eau atmosphérique et ses conséquences sur le climat ;
- sur la composition chimique de la troposphère (gaz et particules d'aérosols);
- sur la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes dans l'eau atmosphérique et impact sur la chimie troposphérique.

Ces activités fédèrent divers laboratoires impliqués dans l'étude de l'eau pour aborder de façon pluridisciplinaire les problèmes posés. Notamment, ces activités se déroulent en collaboration principalement avec l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF) et à moindre mesure avec le laboratoire Microorganismes : Génome et Environnement (LMGE) de l'Université Clermont Auvergne. Elles s'inscrivent dans le cadre de projets portés notamment par la Fédération des Recherches en Environnement (FR 3467).

Mission d'observation

La station de mesure atmosphérique du puy de Dôme est caractérisée par la formation fréquente de nuages présents, en moyenne annuelle, plus de 40% du temps. La variété des situations nuageuses rencontrées à son altitude intermédiaire (nuages orographiques, frontaux, convectifs, nuages chauds et/ou froids, masses d'air polluées ou non,...), et l'ensemble des dispositifs disponibles permettant une caractérisation complète des nuages observés en font donc un site unique d'études des nuages dans la troposphère.

L'eau du nuage est prélevée au sommet du puy de Dôme de façon événementielle à l'aide de trois impacteurs à nuage. Cette matrice aqueuse est analysée chimiquement et microbiologiquement avec une résolution temporelle inférieure à celle du temps de vie du nuage, afin de caractériser l'évolution temporelle chimique subit lors du vieillissement du nuage. Ces activités d'observation à long-terme ont permis la mise en place d'une base de données PUYCLOUD fournissant à la communauté scientifique les propriétés physiques, chimiques et microbiologiques d'environ 300 échantillons nuageux depuis 2001. Les données physico-chimiques du puy de Dôme sont traitées par analyse statistique (Analyse en Composante Principale) (Deguillaume et al., 2014) ce qui permet de définir des catégories de masse d'air nuageuse (polluée, continentale, marine et hautement marine). De ces analyses découlent des critères (concentrations en composés inorganiques, pH, etc.) permettant de classer les nuages échantillonnés au puy de Dôme. Les résultats permettent de définir des "scénarios chimiques standards" qui ont pour objectif de servir pour les études de modélisation de la chimie atmosphérique (Rose et al., 2018).

Les données mises à disposition de la communauté scientifique sur la base de données du l'OPGC sont détaillées ci-dessous :

| Grandeurs mesurées | Fréquence | Objectif scientifique | Instruments |
|---|-----------------------------------|--|---|
| Contenu en eau et diamètre effectif des gouttelettes de nuage | 5 min | Caractérisation de la microphysique des nuages prélevés | PVM-100 |
| Prélèvement de la phase aqueuse des nuages | ~ 15 évènements échantillonnés/an | Collection de la phase liquide de nuage | Impacteurs à nuage (x3) |
| Concentrations des ions majeurs (inorganiques et organiques) | 1 mesure/échantillon | Charge en ion en lien avec l'origine des masses d'air | Chromatographie ionique |
| Concentrations en carbone organique dissout (DOC) | 1 mesure/échantillon | Quantité totale en matière organique dissoute dans le milieu | Analyseur Shimatzu |
| Concentration en fer total et spéciation Fe(II)/Fe(III) | 1 mesure/échantillon | Evaluation du pouvoir oxydant du nuage | Spectroscopie UV-visible |
| Concentration en peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂) | 1 mesure/échantillon | Evaluation du pouvoir oxydant du nuage | Spectroscopie UV-visible |
| pH/conductivité | 1 mesure/échantillon | Evaluation de l'acidité et de la conductivité | pHmètre et conductimètre |
| Biodiversité du nuage : concentration en microorganismes | 1 mesure/échantillon | Charge en microorganismes (bactéries, levures, champignons) | Mesure par cytométrie en flux |
| Biodiversité du nuage : viabilité Quantification de la concentration en ATP | 1 mesure/échantillon | Evaluation de l'état énergétique des cellules | Bioluminomètre |
| Biodiversité du nuage : cultivables | 1 mesure/échantillon | Isolation et identification des souches microbiennes, stockage dans une souchothèque | Mise en culture sur boîte de pétri, dénombrement des cellules cultivées, puis isolation et identification des souches |
| Nombre de bioaérosols atmosphériques | Mesure en ligne (5 min) | Variabilité de la charge atmosphérique en bioaérosols | WIBS-NEO (DMT) |

Les activités d'observation au sein du SO PUYCLOUD sont adossées à de nombreuses activités de recherche. Un effort particulier ces deux dernières années a porté sur l'amélioration de la caractérisation de ce milieu à travers la mise en œuvre d'études ciblées (détection des acides aminés, de composés toxiques comme les phénols) (Bianco et al., 2016 ; Lebedev et al., 2018) mais également des études globales permettant de décrire la complexité moléculaire de la matrice aqueuse par spectrométrie de masse haute résolution (Bianco et al., 2018) et la biodiversité de ce milieu par métagénomique et métatranscriptomique (Amato et al., 2017, 2019).

Ces activités ont également pour objectif d'étudier les processus de transformations des composés chimiques, notamment organiques au sein du nuage. En effet, ce milieu est considéré comme un réacteur où les espèces oxydantes (peroxyde d'hydrogène, radicaux hydroxyles et super-oxydes) et le fer jouent un rôle majeur dans des réactions radicalaires et/ou photo-induites qui conduisent à la transformation de la matière organique (Bianco et al., 2015, 2016). Ce milieu contient également des microorganismes provenant de différentes sources (végétation, sol, milieu marin, etc.) ; ces derniers sont actifs dans le nuage et leur activité métabolique modifie la composition chimique du milieu (Bianco et al., 2019).

Ouverture et Insertion de PUYCLOUD, lien avec les IR/TGIR

Les activités autour des mesures dans le nuage PUYCLOUD sont portées en interne par l'OPGC et sont également soutenues par le SI CO-PDD. Les études menées au puy de Dôme se sont exportées au site du Maïdo sur l'île de la Réunion à travers deux pré-campagnes et un projet ANR qui a commencé en janvier 2019 (projet BIOMAIDO). Une campagne de mesure est également prévue en octobre 2019 au Mont Cimone qui est un site TNA de ACTRIS.

Un nouveau groupe de travail a été identifié au niveau d'ACTRIS Europe concernant la caractérisation in situ des nuages. L'objectif est de fédérer les sites qui font un suivi long-terme de la composition chimique et des propriétés microphysiques des nuages ; les scientifiques du LaMP/OPGC participe activement à la mise en œuvre de ce nouveau réseau. Cette action a amené à la définition de variables primaires et secondaires caractérisant les nuages et le brouillard. Plusieurs paramètres physiques (température, pression, humidité relative, vitesse et direction du vent, contenu en eau liquide et diamètre des gouttelettes) et chimiques (pH, analyse par chromatographie ionique des concentrations des ions inorganiques) seront soumis à des contrôles de qualité et les résultats seront implémentés dans des bases de données communes aux sites Européens concernés (« Cloud in situ observatories » : Mont Schmücke-Allemagne, Mont Cimone-Italie, etc.).

Les activités ont pour objectif de se structurer autour d'un potentiel futur SNO au niveau national qui doit se discuter stratégiquement au sein d'ACTRIS-France.

Développements prévus de PUYCLOUD

A court terme, l'objectif est d'automatiser dans le futur les mesures de la composition chimique de l'eau nuageuse afin que ces mesures puissent s'exporter sur d'autres sites, comme le Maïdo qui présente un environnement météorologique, chimique et biologique très différent du site atelier du puy de Dôme. Pour cela, un développement instrumental est nécessaire. L'objectif est de construire un collecteur de nuage piloté à distance ; il sera composé d'un collecteur d'eau nuageuse développé dans le précédent quadriennal couplé à un système mécanique permettant la filtration de l'échantillon et d'un carrousel pour le changement de la bouteille. Cet instrument permettra la récolte d'échantillons en continu et l'intégration du prélèvement de nuage dans les procédures de routine (nettoyage de l'instrument et changement du set de bouteilles).

L'arrivée en juin 2019 d'un PTR-ToF-MS ultra-sensible permettra de mesurer les COV et leur spéciation (origine biogénique (BVOC), origine anthropique (AVOC), composés oxygénés (OVOC)) avec une fréquence et une limite de détection très performante. Il pourra également analyser les COVs qui se sont dissouts dans les gouttelettes de nuages (méthode par « espace de tête »). Ce nouvel instrument permettra de mieux étudier les processus gaz/aérosol/nuage et la chimie multiphasique impliquée. Depuis le début de l'année 2019, un compteur de bioaérosols (WIBS-NEO) est également installé au puy de Dôme avec l'objectif d'étudier la variabilité environnementale (saison, origine des masses d'air, hauteur de couche limite, etc.) des particules d'origine biologique.

Le service proposé relève-t-il

- **d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (oui/non) ? et le(s)quel(s) ? NON**
- **d'autres instituts du CNRS (oui/non) ? et le(s)quel(s) ? OUI**

Certaines activités de recherches basées sur les mesures biophysico-chimie des nuages s'insèrent dans la fédération des recherches en environnement (FRE - FR 3467) labellisée par l'INEE.

Protocoles de mesure

Microphysique et composition chimique du nuage

Pour l'instant il n'existe pas de recommandation ACTRIS pour la microphysique et la composition chimique du nuage, mais la communauté nuage est en train de se structurer dans le cadre d'ACTRIS EU (groupe de travail « cloud in-situ »). Cela passera par des protocoles de mesures standardisés de la microphysique nuageuse et de sa composition chimique (ions majeurs, pH, etc.) identifiés au sein de ACTRIS.

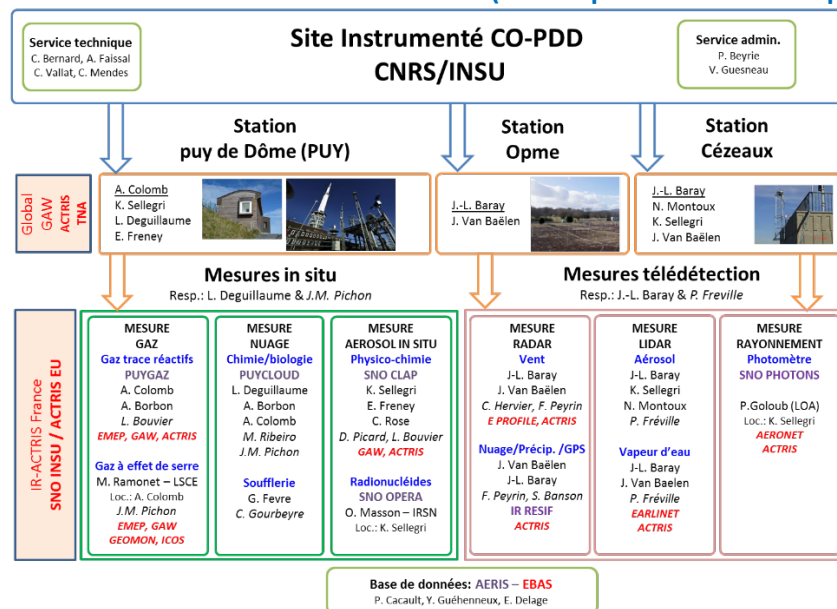
Toutefois, une démarche qualité est suivie dans le cadre du SO :

- Mesures microphysique du nuage : La sonde est calibrée à une fréquence de 6 mois avec un disque optique de référence, des nettoyages des optiques sont effectués régulièrement, les mesures sont soumises à une surveillance journalière.
- Composition chimique et biologique : les prélèvements de nuage se déroulent en condition stérile (collecteurs autoclavés, etc.), des « blancs » collecteur sont effectués régulièrement, les mesures sont faites en triplicats. Les concentrations en ions majeurs organiques et inorganiques sont également mesurées à l'IGE dans le cadre d'exercice d'inter-comparaison.

Archivage des données et leur mise à disposition

La base de données est élaborée selon le modèle réalisé à l'OPGC via un logiciel d'interface permettant la manipulation, la visualisation et la gestion de ces données par l'intermédiaire d'un navigateur WEB et de formulaires de saisie pour la sélection des paramètres (élément chimique, date, etc.). La base de données est disponible pour tous les événements nuageux prélevés au sommet du puy de Dôme depuis 2001. L'ensemble de ces mesures jusqu'à 2018 sont disponibles à l'adresse <http://www.obs.univ-bpclermont.fr/SO/beam/data.php>. Ces données s'insèrent également dans le nouvel observatoire virtuel en cours de finalisation à l'OPGC (http://opgc.fr/vobs/so_forms.php?name=puycloud) dans lequel les données sont référencées par doi. Notre volonté sera de rendre disponible les données du SO PUYCLOUD via le portail AERIS.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)



Organigramme fonctionnel du site instrumenté CO-PDD au 1^{er} avril 2019. Les personnels techniques et administratifs sont en italique, les services d'observations internes à l'OPGC et nationaux sont en violet et les réseaux et infrastructures internationaux sont en rouge. Les mesures PUYCLOUD s'insèrent dans les données « mesures in situ » du SI CO-PDD.

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO |
|---------------------|--------------------------------|---|
| DEGUILLAUME Laurent | UCA, OPGC/LaMP, Phys. | PI mesures chimie/biologie du nuage |
| BORBON Agnès | CNRS, LaMP, CR | Mesure COV multiphasique |
| COLOMB Aurélie | UCA, LaMP, MCF | Mesure COV multiphasique |
| RIBEIRO Mickael | CNRS, LaMP, Tech | Maintenance, développement instrumental |
| PICHON Jean-Marc | UCA, OPGC, IE | Lien avec le SI CO-PDD, |
| GUEHENNEUX Yannick | UCA, OPGC, IE | Responsable base de données locales |

Du personnel scientifique et technique de l'ICCF sont également fortement impliqués dans le fonctionnement du SO PUYCLOUD pour les analyses chimiques et microbiologiques (Delort, A.-M., DR CNRS ; Mailhot, G., DR CNRS; Amato, A., CR CNRS; Brigante, M., PR UCA ; Sancelme, M., IR CNRS).

Gouvernance

Concernant les mesures bio-physico-chimiques du nuage, sont organisés régulièrement des réunions avec les différents intervenants (personnels LaMP/OPGC et ICCF) sur la gestion des problèmes à la fois liés aux fonctionnements de la station (budget, contraintes, personnels) mais aussi sur les activités et les stratégies scientifiques de mesures continues et de campagnes intensives des nuages. La collaboration historique entre l'OPGC/LaMP et l'ICCF va se traduire par la mise en place d'une convention entre ces unités.

Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

L'école de l'OPGC (E-OPGC) propose des formations supérieures Licence-Master-Doctorat dans les domaines des sciences de la Terre, de l'atmosphère, de l'aménagement et du climat. Les activités du SO ont eu vocation à conduire des activités d'enseignement et de formation au cours de ces dernières années. Différentes UE ont été créées comme « Devenir des polluants dans l'atmosphère » (M1) ou encore « Echantillonner et analyser l'atmosphère au sommet du puy de Dôme » (M2) du parcours Sciences de l'Atmosphère et du Climat. Dans ces unités d'enseignement, les activités d'observation et de recherche du SO sont présentées. Dans le cadre de la licence Sciences de la Terre (L2), mineure Sciences pour l'Atmosphère et Environnement (SAE), des enseignements en chimie atmosphérique, notamment sur le nuage, sont aussi fournis.

Les activités du SO sont également présentées lors des VI-Sites au sommet du puy de Dôme pour les scolaires ou encore dans le cadre de manifestations scientifiques (fête de la science, festival H2O, etc.). Par ailleurs, de nombreux articles sur les activités du SO ont été publiés dans la presse écrite régionale et nationale (La Montagne, Le Monde, Science et Avenir, Science et vie,...) et de nombreuses présentations (radio, télévision) ont été effectuées (Météo à la carte sur France télévision, France Inter, RTL, BFM-TV,...).

Budget

Les activités du SO ont été soutenues par l'OPGC au cours de ces dernières années à hauteur de 1.5k€/an et également par le SI CO-PDD à hauteur, en moyenne, de 3-4 k€/an. Les actions incitatives de l'OPGC ont également permis de développer le préleveur AEROVOCC permettant de collecter les COVs en phase nuageuse. Les activités de recherche et les campagnes de mesures ont été financées par différents projets de recherche (ANR BIOCAP, ANR BIOMAIDO, projet LEFE, projet collaboratif avec le CEA). Dans le cadre du CPER 2015-2020 (projet SYMBIOSE), l'achat d'un PTR-MS (480 k€) permettant l'analyse des COV en phase gaz, en phase aqueuse et en phase particulaire est acté (septembre 2019). Un compteur de bioaérosols (WIBS) (90 k€) a été financé dans le cadre d'un autre projet CPER (Connecsens).

Justification des besoins prévus 2021-2025 en fonctionnement ou jouvence ou équipement pour maintenir développer l'instrument :

| Ressources récurrentes (2021-2025) | | | Ressources occasionnelles à prévoir (2021-2025) | | |
|------------------------------------|--------------|-------------|---|---------------|---|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | Type |
| OPGC | 1.5/an | | SI CO-PDD (CNRS/INSU) | 5/an | Fonctionnement |
| | | | SI CO-PDD (CNRS/INSU) | 2 | Développement instrumental (impacteur à nuage) |
| | | | Actions incitatives OPGC | 4 | Développement instrumental (passeur pour l'automatisation des prélèvements) |
| TOTAL | 7.5 | | TOTAL | 25 + 6 | |

Adresse URL du site web du service : /

Résumé du service: PUY-GAZ fait partie du SI CO-PD pour la mesure des gaz réactifs .

Nom du responsable : Aurélie COLOMB, maître de conférences, aurelie.colomb@uca.fr:
laboratoire :LaMP

OSU ou établissement/organisme de rattachement :OPGC

Contexte, motivations et objectifs scientifiques (15 lignes)

Les gaz traces réactifs comprennent des espèces jouant un rôle clé dans la chimie atmosphérique. Il s’agit principalement des oxydes d’azote (NOx) ou des composés organiques volatils (COV). Ces espèces sont, soit directement émises par des sources naturelles ou anthropiques, soit issues de processus photochimiques. Ces espèces gazeuses conduisent à la formation de polluants secondaires comme l’ozone ou les aérosols organiques secondaires qui ont des impacts directs sur la santé, le climat et les écosystèmes.

Par conséquent, le suivi à long terme de ces composés dans les observatoires de recherche est primordial pour l’analyse des tendances en lien avec l’évolution des politiques de réduction des émissions polluantes, pour la compréhension des processus atmosphériques dans un contexte de changement climatique, pour la contrainte des modèles de prévision et l’évaluation des impacts

Les NOx font partie des variables atmosphériques visées par ACTRIS dans ses objectifs de standardisation des protocoles d’assurance et de contrôle qualité des mesures opérées dans les stations européennes. La mesure sélective de 6 COV et des NOX sont parmi les attentes minimum définies pour un site ACTRIS-RI pour l’observation des gaz traces réactifs in-situ

Mission d’observation : tableau

Description exhaustive du service en termes de sites et de grandeurs géophysiques, biogéochimiques ou biologiques (dans le périmètre défini par la prospective OA) et de la durée des séries préexistante à la demande de labellisation. Justification des sites/paramètres par rapport aux objectifs. Préciser si le SNO a vocation à conduire des activités d’enseignement et de formation. Privilégier une présentation concise (tableau, carte).

| Grandeurs mesurées | Fréquence | Périodes | Continu ou épisode crise | Objectif scientifique | Capteurs(sol, satellite, drone, ballon...) |
|--------------------|---|----------|--------------------------|-------------------------------|--|
| Ozone | 5 min | 1995 | continu | Tendance long terme pollution | Analyseur UV (TEI 49i) |
| NO, NO2 | 5 min | 2003 | continu | Tendance long terme pollution | Analyseur chimiluminescence (TEI 42cTL) |
| SO2 | 5 min | 2003 | continu | Tendance long terme pollution | Analyseur fluorescence (TEI 43iTL) |
| COV (C4-C10) | 2 échantillons/ semaine et/ou campagnes | 2010 | episode | Tendance long terme pollution | Prélèvement sur cartouche Tenax TA + analyse en GC-MS (ATD GC-MS Perkin Elmer) |

Bilan 2014-2019 :

Sur cette période, les mesures d’ozone, SO₂, NO, NO₂ ont été validées et mises en ligne dans les bases de données locales, nationales et/ou internationales (en cours pour 2019). Un audit GAW pour l’ozone a été réalisé en 2016.

La mesure ponctuelle des COV a été complétée par une mesure automatique en continu au sommet du puy de Dôme depuis aout 2018, grâce à l’acquisition d’un GC-FID Agilent.

Ouverture et Insertion du SNO, lien avec les IR/TGIR

Les activités autour des mesures des gaz trace réactifs PUYGAZ sont également portées en interne par l'OPGC. Au niveau international, le CO-PDD (PUY) est dans ACTRIS 2 WP3 en tant que site gaz réactif, en suivant les procédures standards d'opération (SOP) en train d'être finalisées. Au niveau national, les mesures s'effectuent sur plusieurs sites et mettent en œuvre différents outils de mesures dont les protocoles sont en cours de standardisation dans le cadre du GT6 d'ACTRIS France.

Positionnement actuel et prévu : Les activités ont pour objectif de se structurer autour d'un potentiel futur SNO au niveau national qui doit se discuter stratégiquement au sein d'ACTRIS-France.

Développements prévus du SNO

L'arrivée en juin 2019 d'un PTR-ToF-MS ultra sensible permettra à PUY-GAZ de mesurer les COV et leur spéciation (origine biogénique (BVOC), origine anthropique (AVOC), composés oxygénés (OVOC)) avec une fréquence et une limite de détection très performante.

Associées aux mesures aérosols et nuages, ce nouvel instrument permettra également de mieux étudier les processus gaz/aérosol/nuage et la chimie multiphasique impliquée.

- **Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le spatial non**

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

- **Le service proposé comprend-il des activités stratégiques pour le polaire (oui/non) : non**

Si oui, préciser la (les) mission(s) :

Le service proposé relève-t-il

- d'autres domaines de l'INSU, c.-à-d. SIC, TS ou AA (non ? et le(s)quel(s) ?
- d'autres instituts du CNRS (oui/non) ? et le(s)quel(s) ? non

- **Lien avec un pôle ou un centre de données (oui/non) : oui**

Si oui, préciser le/les quel(s) AERIS

Protocoles de mesure

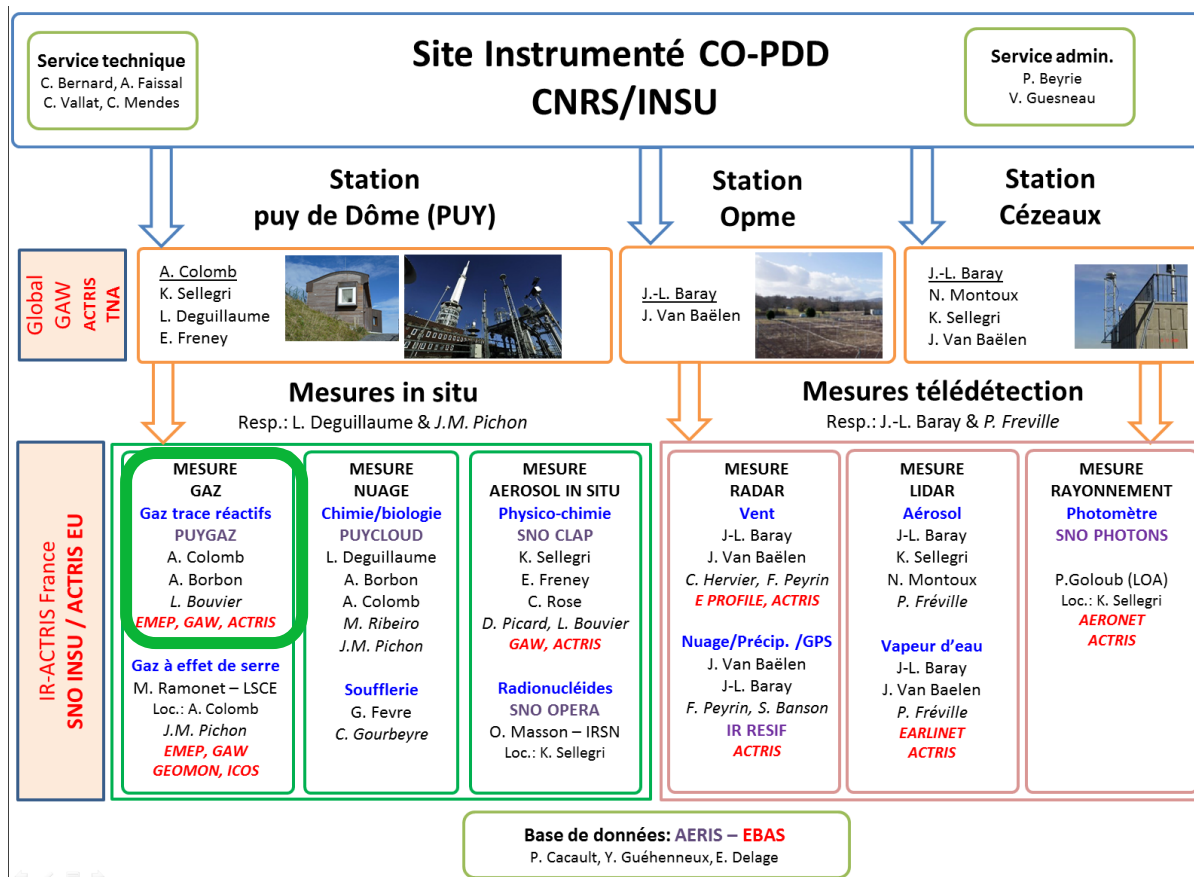
- Les analyseurs en phase gazeuse (NOx (NO et NO₂ converti par un convertisseur photolytique), SO₂, CO et O₃) sont étalonnés chaque mois suivant les recommandations des réseaux EMEP et ACTRIS. Un blanc est effectué chaque semaine lors de la routine hebdomadaire. Les COV sont calibrés par une bouteille étalon certifié (NPL) contenant 34 COV à 2 ppbv.
- Un exercice d'inter-comparaison entre les instrumentations pour les mesures de gaz des différents observatoires a été réalisé en 2018 à Hohenpeissenberg, et un audit GAW a été établi en avril 2016 pour l'ozone et les gaz à effet de serre.
- Les gaz à effet de serre sont calibrés tous les jours suivant les recommandations d'ICOS.
- Le futur PTR-TOF-MS permettra le suivi en temps réel de la concentration de COV/COVO ; cet instrument devra être régulièrement calibré et ses mesures confrontées à des mesures effectuées par d'autres outils analytiques (GC-FID), notamment off-line (G.C-MS),. Il est prévu de participer aux intercomparisons dans le cadre d'ACTRIS

Archivage des données et leur mise à disposition

- La base de données EBAS contient les versions 0, 1 et 2 des données horaires de mesures in situ gaz du puy de Dôme (<http://ebas.nilu.no/Default.aspx>).
- Le service PAES n'a pas été labellisé en 2015, mais le portail et la base de données existent toujours, et propose un accès aux mesures de gaz réactifs mesurés au puy de Dôme (<http://paes.aero.obs-mip.fr>).

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

organigramme présentant un état des lieux de l'organisation du service et de **ses ressources instrumentales et humaines**. Pour les personnels il s'agit de ceux impliqués dans la réalisation de la mission du SNO (à distinguer des personnels assurant l'exploitation scientifique).



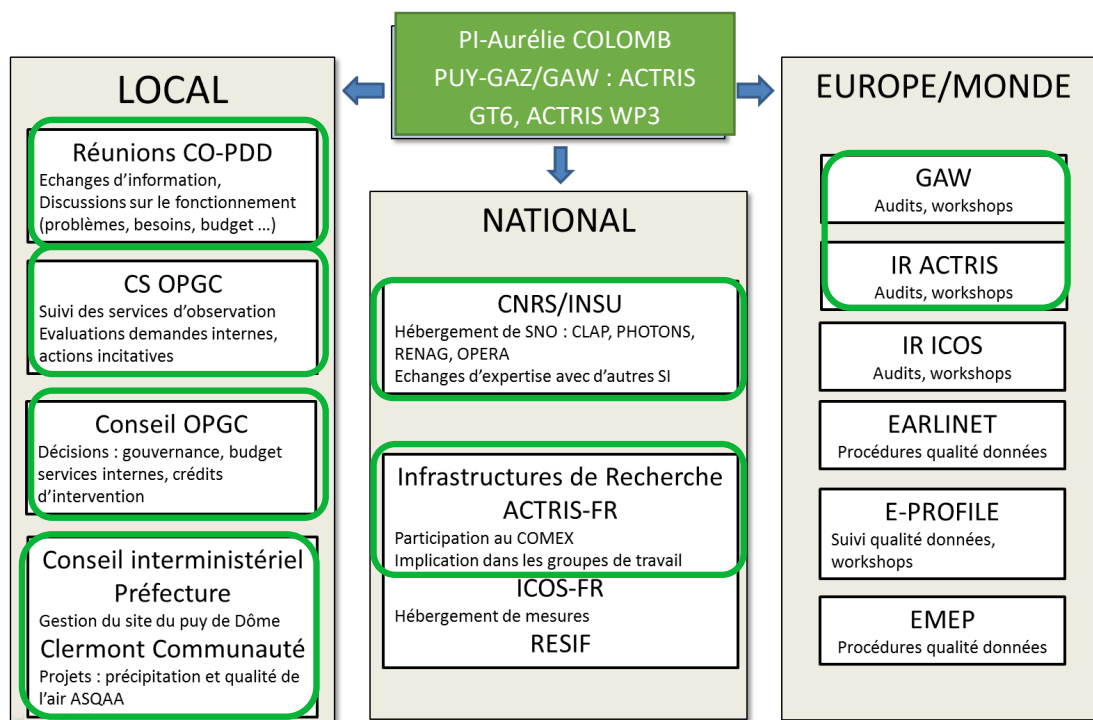
| NOM Prénom impliqué dans PUY-GAZ | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le SNO | Pm dans CO-PDD |
|----------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------------|
| BARAY Jean-Luc | UCA, OPGC/LaMP, Phys. Adj. | PI CO-PDD, télédétection | 4pm |
| BORBON Agnès | CNRS, LaMP, CR | Gaz in situ | 1.2pm |
| BOUVIER Laëtitia | UCA, OPGC, Tech | Analyses chimiques | 9.6pm (dont 1.8pm CLAP et 0.6pm ICOS) |
| COLOMB Aurélie | UCA, LaMP, MCF | PI Gaz in situ, GAW PUY référence | 3pm |
| DEGUILLAUME Laurent | UCA, OPGC/LaMP, Phys. | Co-PI SI CO-PDD, nuages in situ | 4pm |
| PICHON Jean-Marc | UCA, OPGC, IE | Maintenance et traitement de données, mesures in situ | 9.6pm dont 1.8pm CLAP et 0.6pm ICOS |
| RIBEIRO Mickael | CNRS, LaMP, Tech | Maintenance/qualité mesures | 10.2pm dont 2.4 pm CLAP et 0.6pm ICOS |

Gouvernance

organigramme présentant les instances et leurs liens dans la gouvernance et le fonctionnement du SNO, distinguer l'environnement interne du SNO de son environnement externe (par exemple relations avec les instances d'une IR/TGIR, d'un SOERE...). Indiquer les personnels impliqués dans ces instances.

Préciser également le fonctionnement des instances (fréquence de réunion...).

Gouvernance



Communication, formation, diffusion des connaissances et impact sociétal

Chapitres d'ouvrage GRAND PUBLIC :

Colomb, A., J.-L. Baray, J.-M. Pichon, **K. Sellegri**, **E. Freney**, M. Ribeiro, L. Bouvier, D. Picard, J. Van Baelen, Y. Pointin, **L. Deguillaume**, **A. Borbon**, N. Montoux, P. Fréville, C. Hervier, F. Peyrin : Le site instrumenté de recherche atmosphérique: Cézeaux-Opme-Puy de Dôme (CO-PDD) : 20 ans de mesures atmosphériques, dans l'ouvrage sur l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, Revue d'Auvergne, 2017.

Gérard Fayet (Auteur), Nicolas Hulot (Préface), Jean-Dominique Senard (Préface). « Planète fragile. Pour les générations futures », 2015, Vilo . Un chapitre consacré aux mesures au sommet du puy de Dôme.

Budget

Les ressources financières de toutes origines doivent être prises en compte dans le tableau suivant, en distinguant les ressources récurrentes sur les 4 dernières années et occasionnelles. Indiquer également le budget prévisionnel pour la période 2021-2025.

Justification des besoins prévus 2021-2025 en fonctionnement ou jouvence ou équipement pour maintenir développer l'instrument.

| Ressources récurrentes | | | Ressources occasionnelles à prévoir | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------------------------------|--------------|--|
| Origine ¹ | Montant (k€) | Commentaire | Origine | Montant (k€) | type |
| OPGC | 1 | | CO-PDD | 15 | Fonctionnement /Maintenance/etalon |
| | | | ?? | 25 | Générateur d'ozone (TEI 49i-PS) pour label GAW |
| TOTAL | 1 | | TOTAL | 40 | |

¹exemples : CNRS-INSU, CNRS IR-TGIR, CNRS-Autres, CNES, CPER, Interne OSU, Interne UMR, CPER, Région autre que CPER, ANR autre que PIA, Projet européen FEDER, Projet européen hors FEDER, ou Autre (préciser)

Nom du code numérique : CAT Computing Advection-interpolation of atmospheric parameters and Trajectory tool

Nom du responsable : Baray Jean-Luc, J.L.Baray@opgc.fr

Contexte

En sciences atmosphériques, il est souvent utile de connaître la dynamique des masses d'air. Pour savoir comment vont être advectés des polluants ou des émissions volcaniques, pour connaître l'origine des vents dominants au-dessus d'un site de mesure, pour établir le contexte dynamique d'une campagne de mesures permettant ainsi d'en analyser les résultats ou pour établir des flux ou couplages entre différents compartiments atmosphériques. Pour cela l'approche lagrangienne est souvent une alternative intéressante à l'approche eulérienne souvent plus lourde et complexe à appliquer. Certains modèles de trajectoires ont été développés et mis à disposition pour la communauté scientifique. On peut citer HYSPLIT (<https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/traitype.pl>, Stein et al., 2015), un code accessible en ligne développé par la NOAA ou FLEXPART, un modèle de dispersion (<https://www.flexpart.eu/>, Stohl et al., 2005) plus complexe à installer puis manipuler, développé au NILU.

En 2009, dans le cadre de la thèse de Gaëlle Clain, nous voulions développer une climatologie des intrusions stratosphériques dans la troposphère de l'île de la Réunion. HYSPLIT, FLEXPART, et quelques autres modèles existaient déjà à l'époque, mais leur application sur une base climatologique et adaptée à une problématique précise s'est avérée présenter certaines difficultés. Nous avons donc opté pour le développement et la rationalisation d'un modèle de trajectoire « maison ». La thèse se déroulant au laboratoire LACY, le code a été nommé **LACYTRAJ** pour « LACY Trajectories ».

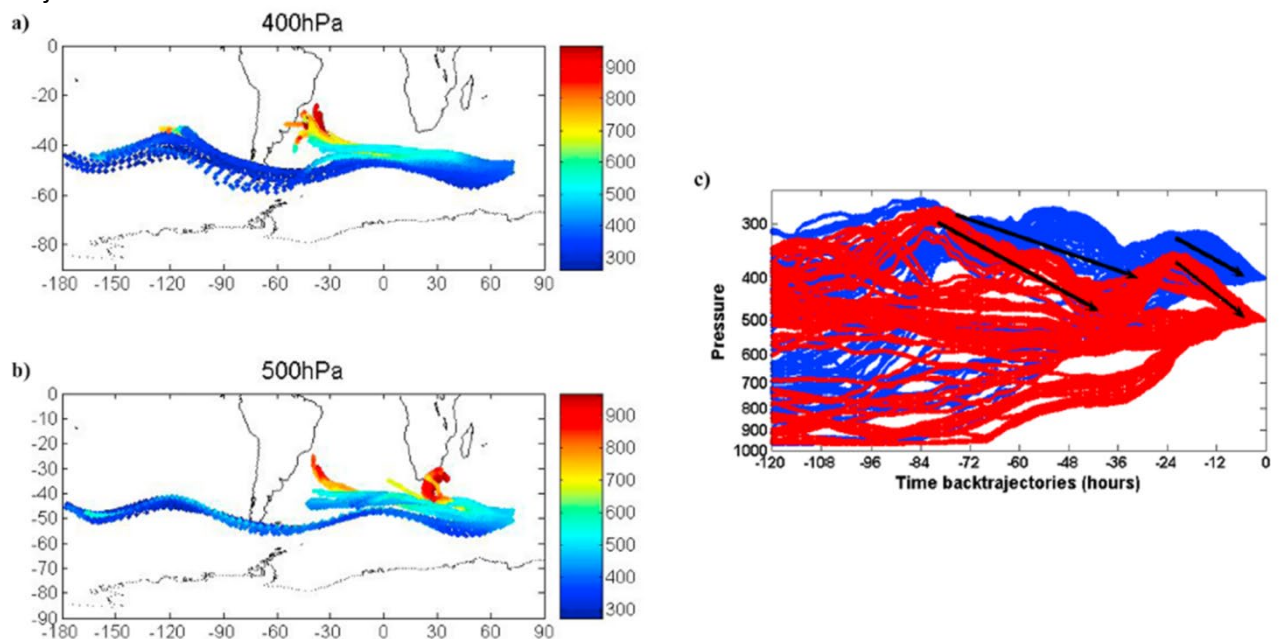


Figure 1 : Exemples de rétrotrajectoires **LACYTRAJ V1** expliquant les mesures de profils d'ozone à l'île de Kerguelen (d'après Baray et al., 2012).

LACYTRAJ V1 : Trajectoires et RDF

Dans sa première version développée en 2007-2009, **LACYTRAJ V1** a été codé en C++ à partir du prototype MATLAB et utilisait en données d'entrée en format binaire grib archivées localement en routine. Les champs de vent (données opérationnelles ECMWF ou réanalyses ERA-INTERIM) couvraient l'hémisphère sud, mais il était possible d'utiliser des matrices couvrant également l'hémisphère Nord.

L'utilisateur définissait une grille de départ potentiellement en trois dimensions (une pour un profil ou deux pour une coupe verticale ou un champ horizontal), et chaque point de grille était advecté par interpolation bi-linéaire du vent horizontal et du temps. Le niveau de pression de chaque point était calculé par interpolation logarithmique sur les niveaux de pression de l'analyse, avec ensuite une conversion en altitude basée sur l'équation hydrostatique. Cette opération était faite sur un pas

de temps défini par l'utilisateur, typiquement 15 minutes. Après le calcul, un fichier binaire de sortie contenait les points de toutes les trajectoires, mais il était possible de ne sauvegarder qu'une partie des points (uniquement les points d'origine, 25 ou 50% des points). Dans cette première version, [LACYTRAJ V1](#) ne fonctionnait qu'en mode rétro-trajectoire.

Il avait été également développé un code d'advection qui, à partir de fichiers de trajectoire et de matrices de paramètres atmosphériques, reconstruisait un profil ou un champ du paramètre advecté. Cette méthode appelée RDF (Reverse Domain Filling, *Dritschel, 1988; Sutton et al., 1994*) permet d'obtenir de l'information qui ne figure plus dans le champ d'initialisation, y compris à une échelle sous-grille sur le distributeur de traceur. Le code ne permettait pas uniquement de calculer un profil de traceur advecté, mais sur un domaine tridimensionnel, et donc sur un coupe verticale ou un champ isobare.

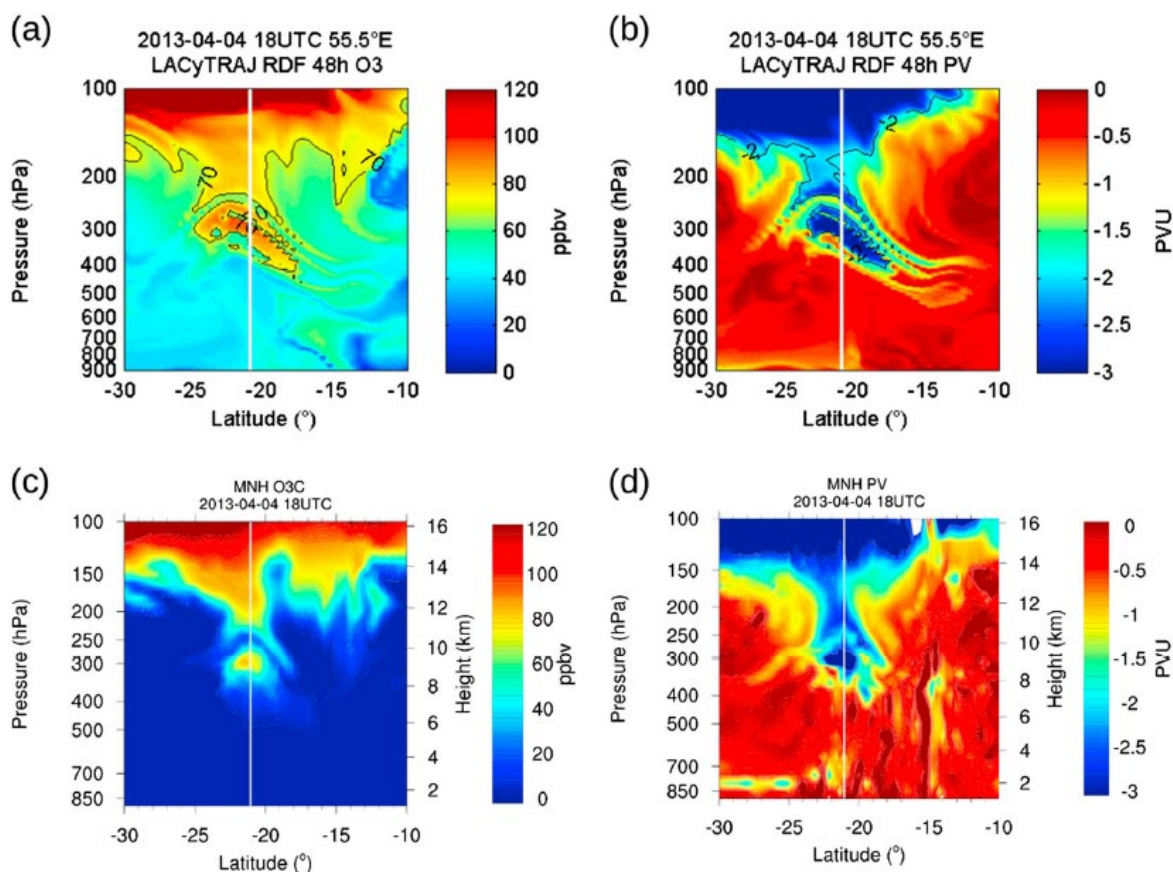


Figure 2 : Coupes verticales méridiennes de d'ozone et de vorticité potentielle obtenues par modélisation à méso-échelle (Meso-NH) et par advection lagrangienne RDF avec LACYTRAJ sur un cas d'intrusion stratosphérique en lien avec un cyclone tropical (d'après Vérèmes et al., 2016).

Si différents calculs de trajectoires avaient été effectués et exploités auparavant, Clain et al. (2010) fut la première publication de [LACYTRAJ V1](#) et de l'advection RDF qui a présenté la climatologie des intrusions stratosphériques et leur influence sur les mesures de profils d'ozone à la Réunion par radiosondages et lidar. Dans ces mêmes périodes, [LACYTRAJ V1](#), associé à Flexpart, a également permis de caractériser l'influence des flux de mousson sur les échanges inter-hémisphériques et le transport à grande échelle de monoxyde de carbone sur l'océan Indien (*Duflot et al., 2010*), mais aussi les échanges stratosphère-troposphère induits par un type particulier de dépressions tropicales, les dépressions de mousson (*Baray et al., 2010*), d'analyser une campagne longue durée de radiosondages aux îles Kerguelen (*Figure 1, Baray et al., 2012*) et de caractériser l'advection d'un nuage de poussière sahariennes (*Begue et al., 2015*)

LACYTRAJ V2 : Trajectoires et interpolation de hauteur de couche limite

En 2014-2015, une seconde version, [LACYTRAJ V2](#), a été développée au LaMP. Cette version a été codée en MATLAB et lit les matrices ECMWF de vent global en format netcdf. Elle permet le calcul de trajectoires avant et arrière, intègre la prise en compte de reliefs à partir d'une matrice de topographie à 1 degré de résolution en latitude et longitude. En plus des reconstructions RDF, un module d'interpolation de paramètres atmosphériques sur chaque point de trajectoire, comme par exemple que la hauteur de couche limite, la température ou la température potentielle a été

développé. L'automatisation pour permettre le calcul en boucle sur des longues périodes est également optimisée.

[LACYTRAJ V2](#) a été utilisé pour déterminer l'origine de nuages à l'origine de précipitations dans lesquelles ont été mesurées des concentrations de noyaux de glaciation biologiques (*Pouzet et al., 2017*), faire une climatologie des flux de vapeur d'eau dans la haute troposphère entre la région indienne et le Sahel (*Sy et al., 2018*), analyser la dynamique d'une intrusion stratosphérique (*Figure 2, Vérèmes et al., 2016*) et d'un cas de cirrus (*Figure 3, Laroza et al., 2018*) dans l'hémisphère Sud, caractériser le couplage entre la couche de mélange et la troposphère libre et le lien avec les mesures effectuées au puy de Dôme, sur un cas d'étude de transport de la couche de mélange vers la troposphère libre en Février 2012 (*Freney et al., 2016*) et sur une base climatologique couvrant l'année 2015 (*Farah et al., 2018*), étudier un cas d'échange stratosphère troposphère observé au moyen de profileurs de vent VHF en opération à Opme et Lannemezan (*Baray et al., 2017*), l'analyse de mesures de 210Po et 210Pb dans la basse atmosphère (thèse de L. Terray, collaboration O. Masson, IRSN) ou enfin préciser le contexte de mesures chimiques de gouttelettes nuageuses au puy de Dôme (*Bianco et al., 2018*).

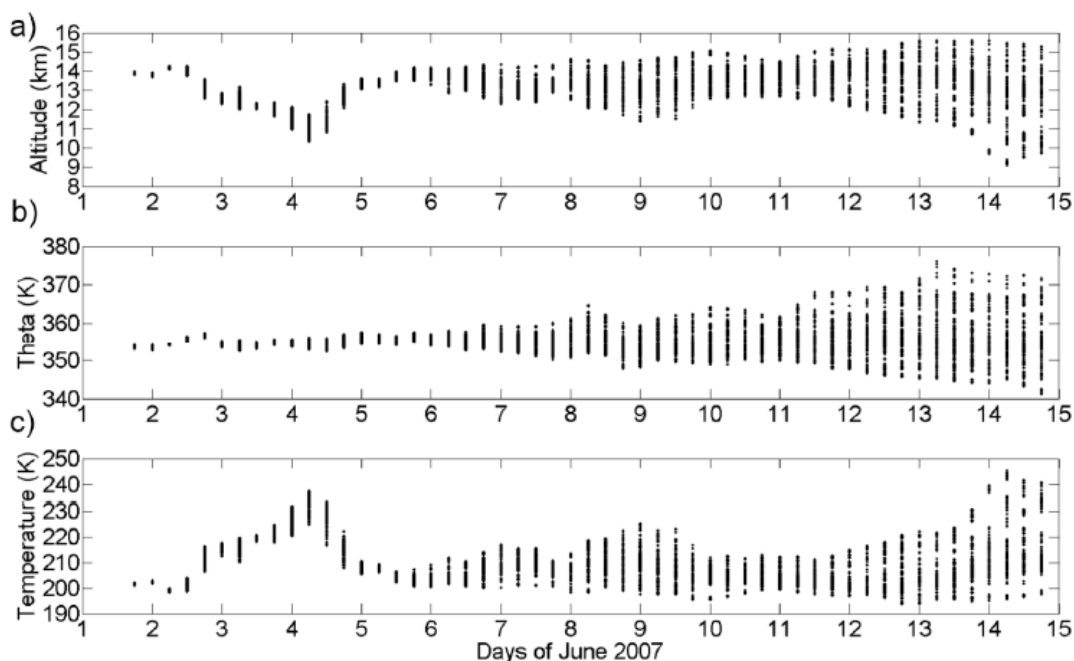


Figure 3 : Exemple de suivi de l'altitude, de la température potentielle et de la température calculés sur les trajectoires [LACYTRAJ V2](#) dans un cas de cirrus subtropical (d'après Laroza et al., 2018).

[CAT](#) : Outil optimisé pour l'advection/interpolation à méso-échelle

Une troisième version est en projet au LaMP et pourrait être développée prochainement (2019-2021), sous le nom de [CAT](#) (Computing Advection-interpolation of atmospheric parameters and Trajectory tool).

L'objectif sera d'élaborer, à partir de [LACYTRAJ V2](#), un outil de trajectoire/advection/interpolation de traceur atmosphérique pouvant utiliser de nouvelles analyses à haute résolution spatio-temporelle (ECMWF ERA5) ainsi que des matrices de relief à haute résolution spatiale (4 minutes d'angle en latitude et longitude, *Bezdek and Sebera, 2013, Figure 4*) pour permettre des études de dynamique à plus petite échelle, par exemple autour de reliefs tels que le puy de Dôme ou la Réunion.

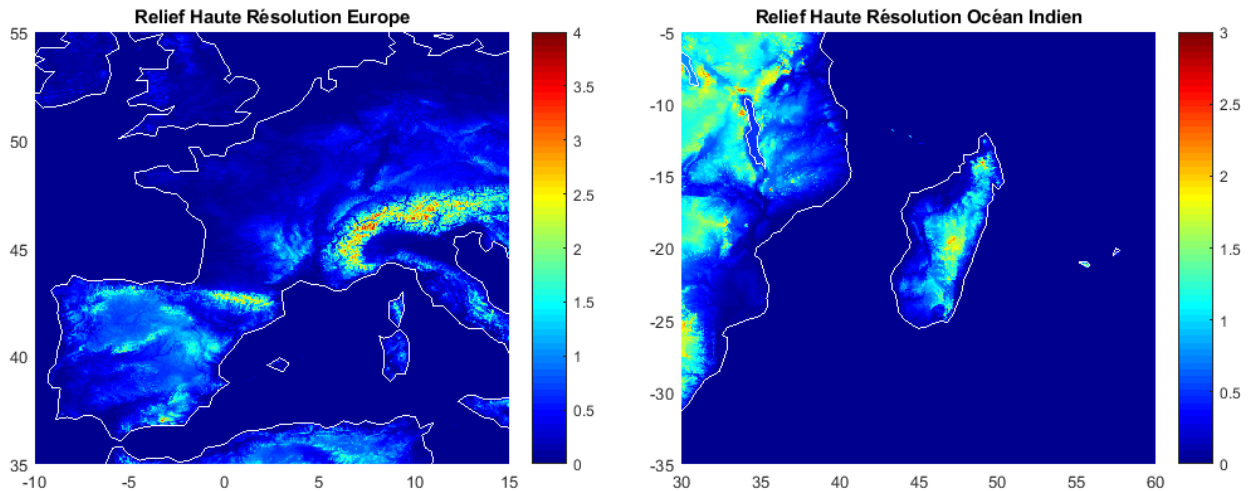


Figure 4 : Altitude des reliefs (en km) de la matrice de topographie à haute résolution de Bezdek et Sebera sur l'Europe et l'océan Indien.

LACYTRAJ V2 utilisant des matrices globales de vent, compte tenu de la taille des matrices ERA-5, **CAT** devra utiliser des matrices ne couvrant qu'une région dans la zone d'étude et donc gérer les sorties des trajectoires de la matrice de vent. De plus, l'utilisation de données de vent ECMWF ERA5 horaires pourrait permettre de nous affranchir de l'interpolation temporelle qui était effectuée par **LACYTRAJ V2**. Le cœur même du calcul des positions de trajectoires sera donc revu et optimisé pour prendre en compte ces évolutions, et devra donc permettre de lancer des trajectoires avant et arrière à toute heure et non sur les heures d'échéance ERA-Interim (à 0, 6, 12 ou 18 UT) comme c'est le cas avec **LACYTRAJ V2**.

Un prototype sera élaboré en MATLAB mais une version optimisée pourra être développée en python pour de meilleures efficacités de calcul et portabilité vers l'extérieur.

CAT permettra des applications nouvelles ou optimisées comme par exemple :

- l'étude de l'influence de la dynamique sur les concentrations de gaz à court temps de vie (COV, thèse Manon Rocco),
- L'étude des processus d'échanges stratosphère-troposphère et couche limite-troposphère libre avec une meilleure résolution spatiotemporelle que **LACYTRAJ V2**
- l'analyse de la correspondance entre un profil vapeur d'eau par sonde advectée par le vent avec le profil de vapeur d'eau par lidar à la verticale du système de mesure, le but étant d'identifier si, à quelle heure et à quelle altitude les masses d'air se trouvaient dans un rayon défini autour du faisceau du lidar.
- L'analyse à méso-échelle de la dispersion de graines de *Spathodea campanulata* et *Tecoma stans* (Bignoniacées), espèces envahissantes à Tahiti et les îles aux alentours (projet CADISPAT déposé dans le cadre de l'appel à projets du PEPS ECOMOB (CNRS-INEE) 2019, Sébastien Larrue)
- Un code microphysique permettant l'estimation des quantités d'eau sous ses différentes phases au cours du transport pourrait également par la suite être développé pour mieux appréhender l'étude des cirrus ou des nuages en phase mixte.

Fonctionnement et ressources humaines (hors exploitation scientifique)

Les personnes qui ont été impliquées dans le développement de LACYTRAJ sont les suivantes :

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le CC | pm |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------|----|
| Baray Jean-Luc | UR, Lacy, Physicien adjoint | Développement prototype matlab | |
| Clain Gaele | UR, Lacy, doctorante | Développement prototype matlab | |
| Duflot Valentin | UR, Lacy, doctorant | Tests et comparaisons Flexpart | |
| Gabarrot Franck | CNRS, OSU-Réunion/Lacy, IE | Gestion données ECMWF et version C++ | |

Les personnes qui pourront être impliquées dans le développement de CATS sont les suivantes :

| NOM Prénom | Employeur, affiliation, statut | Rôle dans le CC | pm |
|----------------|--------------------------------|--|----|
| Banson Sandra | CNRS, LaMP, IE | Gestion données ECMWF et version python | |
| Baray Jean-Luc | UCA, LAMP/OPGC, Phys. Adj. | Pilotage, développement prototype matlab | |
| Rocco Manon | UCA, LaMP, doctorante | Développement prototype matlab | |

J'estime à un mois le temps nécessaire pour élaborer et tester le prototype MATLAB de CAT, et peut-être un mois supplémentaire pour la version python, que j'espère faisable dans le courant de l'année 2019.

Références

- Baray J.-L., G. Clain, M. Plu, E. Feld, and P. Caroff, Occurrence of monsoon depressions in the Southwest Indian Ocean: Synoptic descriptions and stratosphere to troposphere exchange investigations, *Journal of Geophysical Research*, 115, D17108, doi:10.1029/2009JD013390, 2010.
- Baray J.-L., V. Dufлот, F. Posny, J.P. Cammas, A.M. Thompson, F. Gabarrot, J.L. Bonne, and G. Zeng, One-year ozonesonde measurements at Kerguelen island (49.2°S, 70.1°E) : Influence of stratosphere-to-troposphere exchange and long range transport of biomass burning plumes, *Journal of Geophysical Research*, 117, D06305, doi:10.1029/2011JD016717, 2012.
- Baray J.-L. , Y. Pointin, J. Van Baelen, M. Lothon, B. Campistron, J.-P. Cammas, O. Masson, A. Colomb, C. Hervier, Y. Bezombes, S. Banson, C. Duroure, D. Hadad, and F. Tridon, Case study and climatological analysis of upper tropospheric jet stream and stratosphere-troposphere exchanges using VHF profilers and radionuclide measurements in France, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2017, 56:11, 3081-3097.
- Bègue, N., Tulet, P., Pelon, J., Aouizerats, B., Berger, A., and Schwarzenboeck, A.: Aerosol processing and CCN formation of an intense Saharan dust plume during the EUCAARI 2008 campaign, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 3497-3516, <https://doi.org/10.5194/acp-15-3497-2015>, 2015.
- Bezděk A, Sebera J, 2013. MATLAB script for 3D visualizing geodata on a rotating globe. *Computers & geosciences* 56, 127–130, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.03.007>.
- Bianco A., L. Deguillaume, M. Vaïtilingom, E. Nicol, J.-L. Baray, N. Chaumerliac, M. Bridoux, Molecular characterization of cloud water samples collected at the puy de Dôme (France) by Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry, *Environmental Science Technology*, 52, 10275-10285, DOI:10.1021/acs.est.8b01964, 2018
- Clain G., J.-L. Baray, R. Delmas, P. Keckhut, J.-P. Cammas, A lagrangian approach to analyse the tropospheric ozone climatology in the tropics : Climatology of Stratosphere - Troposphere exchange at Reunion Island, *Atmospheric Environment*, 44, 968-975, 2010.
- Dritschel, D. G., 1988: Contour Surgery: A topological reconnection scheme for extended integrations using contour dynamics, *J. Comput. Phys.*, 77, 240-266.
- Dufлот V., Dils B., Baray J.-L., De Mazière M., Attié J.L., Vanhaelewyn G., Senten C., Vigouroux C., Clain G., Delmas R., Analysis of the origin of distribution of CO in the subtropical southern Indian Ocean, *Journal of Geophysical Research*, 115, D22106, doi:10.1029/2010JD013994, 2010.
- Farah A., E. Freney, A. Chauvigné, J.-L. Baray, C. Rose, D. Picard, A. Colomb, D. Hadad, M. Abboud, W. Farah, and K. Sellegri, Seasonal variation of aerosol size distribution data at the Puy de Dôme station with emphasis on the boundary layer/free troposphere segregation, *Atmosphere* 2018, 9(7), 244; doi: 10.3390/atmos9070244 .
- Freney E., K. Sellegri, E. Asmi, C. Rose, A. Chauvigne, J.-L. Baray, A. Colomb, M. Hervo, N. Montoux, L. Bouvier, D. Picard, Experimental evidence of the feeding of the free troposphere with aerosol particles from the mixing layer, *Aerosol and Air Quality Research*, 16 : 702-716, doi: 10.4209/aaqr.2015.03.0164, 2016.
- Larroza, E. G., P. Keckhut, J.-L. Baray, W. M. Nakaema, H. Vèrèmes, E. Landulfo, D. Dionisi, S. Khaykin, and F. Ravetta, Long range transport of water channelize through the southern subtropical jet, *Atmosphere*, 2018, 9(10), 374; doi: 10.3390/atmos9100374
- Pouzet G., E. Péghaire, M. Aguès, J.-L. Baray, F. Conen, P. Amato, Atmospheric processing and variability of biological ice nucleating particles in precipitation at Opme, France, *Atmosphere* 2017, 8(11), 229-246; doi:10.3390/atmos8110229

- Stein, A.F., Draxler, R.R, Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
- Stohl, A., C. Forster, A. Frank, P. Seibert, and G. Wotawa (2005): Technical Note : The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2. *Atmos. Chem. Phys.* 5, 2461-2474.
- Sutton, R. T, Maclean, H., Swinbank, R., O'Neill, A. and Taylor, F. W., 1994: High-Resolution Stratospheric Tracer Fields Estimated from Satellite Observations using Lagrangian Trajectory Calculations, *J. Atmos. Sci.*, 51, 2995-3005.
- Sy A, B. Diop, J. Van Baelen, C. Duroure, Y. Gour, and J.-L. Baray, Upper tropospheric water vapor transport from Indian to Sahelian regions, *Atmosphere*, 2018, 9, 403. doi: 103390/atmos9100403
- Vérèmes, H., J.-P. Cammas, J.-L. Baray, P. Keckhut, C. Barthe, F. Posny, P. Tulet, D. Dionisi, and S. Bielli (2016), Multiple subtropical stratospheric intrusions over Reunion Island: Observational, Lagrangian, and Eulerian numerical modeling approaches, *Journal of Geophysical Research*, 121, 14,414–14,432, doi:10.1002/2016JD025330.

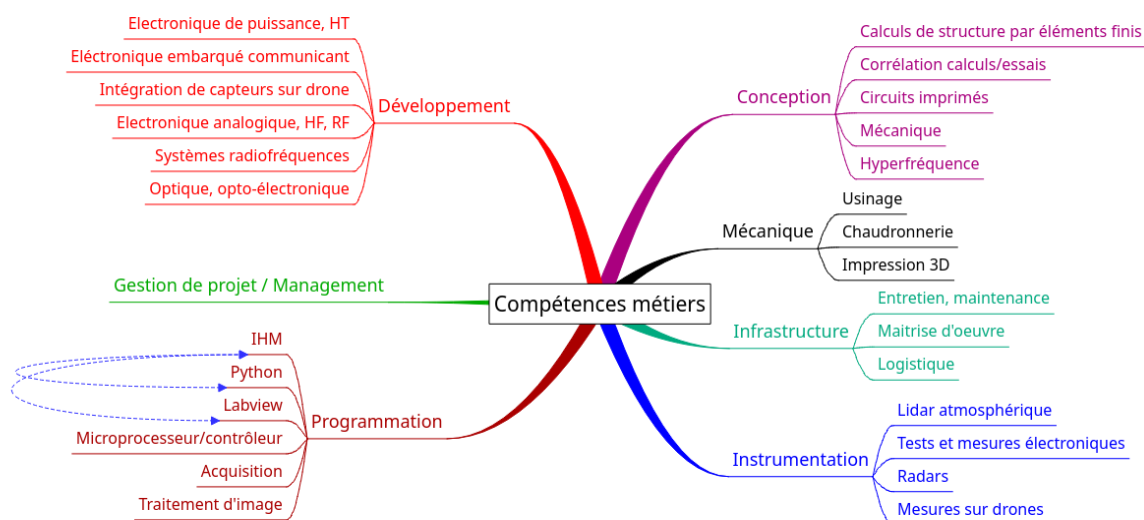
Composition de l'équipe

Durant la période 2015-2019, on note le départ de 2 agents qui ont été remplacés, ainsi qu'une restructuration du service dans l'OPGC :

- Patrick Fréville (IGR ITRF, OPGC) a repris la responsabilité du service le 1/09/2015, à la suite de Jean-François Fournol qui réintègre le LaMP
- Cristelle Rossin (IR CNRS, OPGC) assure la direction technique de l'OPGC depuis le 1/01/2019
- Claude Hervier (IGE ITRF, OPGC)
- Thierry Latchimy (IE CNRS, OPGC)
- Frédéric Peyrin (IE CNRS, OPGC)
- Edouard Régis (IGE ITRF, OPGC)
- Christophe Bernard (Tch ITRF, OPGC)
- Martial Bontemps (Tch ITRF, OPGC),
- Christophe Vallat (Tch ITRF, OPGC), est arrivé par mutation le 1/09/2015 sur le poste de Christian Reymond (Tch ITRF, OPGC) en retraite début 2015
- Alexandre Faissal (ADT, OPGC), d'abord en CDD sur le poste de Yohan Gardes (ADT ITRF, OPGC) parti en disponibilité le 1/01/2016, a été recruté comme ITRF le 1/09/2017.

Le SDT accueille aussi de façon régulière des stagiaires de différentes provenances (IUT et écoles d'ingénieurs).

Compétences métiers de l'ensemble du service



Bilan 2014-2019

Fonctionnement en mode projet

L'implication du personnel SDT au moment du montage des projets est une volonté affichée par la direction de l'OPGC. Néanmoins, les laboratoires issus de la communauté « Terre Interne » ou encore « Océan Atmosphère » ne sont pas aussi familiers au fonctionnement en mode projet que des laboratoires issus d'autres communautés (ex : spatial, astronomie,...). A partir de 2018, la nouvelle direction a souhaité voir apparaître un chef de projet dans tout projet où le SDT serait impliqué. On notera aussi, la mise en place d'une direction technique de l'OPGC en 2019, ainsi que la participation d'agents du SDT au nouveau réseau MAPI (Chef de Projet INSU). Le fonctionnement du service en mode projet est donc mis en avant par rapport à un mode de fonctionnement comme prestataire.

Principales réalisations, faits marquants

- **Voldorad3** : en partenariat avec le LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales), un nouveau radar à 95 GHz pour la mesure de cendre volcanique a été développé. Le SDT est particulièrement impliqué dans les aspects liés au positionnement du système. Une campagne de faisabilité a été menée en septembre 2015 sur le volcan Stromboli. Il s'en est suivi le développement du système en 2016 et 2017. Une campagne de mesure avec ce radar opérationnel a eu lieu en mai 2018 sur le volcan Sabancaya au Pérou. Ce radar a également participé à la campagne EXAEDRE, en Corse durant l'été 2018, montrant l'interdisciplinarité de l'activité puisque le radar a été utilisé pour déterminer les propriétés des nuages.
- **Domerapi** : le SDT s'est engagé dans ce projet ANR à partir de 2014, en réalisant de petites stations de mesures autonomes énergétiquement, installées au sommet du Merapi, Indonésie, afin de mesurer les déformations du cratère induites par les éruptions. Ces stations sont équipées d'une caméra infrarouge, ainsi que d'un appareil photographique de haute résolution en vue de réaliser de la stéréophotographie. Ces stations retransmettent les images en quasi temps réel. Plusieurs missions ont permis l'installation, la maintenance et la révision de ces stations.
- **Lidar** : l'OPGC est impliqué dans les infrastructures de recherche nationales et européennes ACTRIS-FR, ACTRIS-EU. Dans ce cadre, le SDT joue un rôle essentiel dans la maintenance du lidar, son contrôle-qualité, son évolution technique tant sur le plan matériel (motorisation, optique), que logiciel (automatisation des mesures, traitement). A partir du lidar mono-longueur d'onde existant, un projet de réalisation de lidar multi-longueur d'onde (COPLid) a été amorcé à partir de 2017.
- **Volcadrone** : ce projet démarré en juin 2015 a pour objectif de faire voler un drone à l'intérieur d'un panache de cendre proximal afin d'en mesurer les propriétés physico-chimiques. Le rôle du SDT est donc d'adapter les différents capteurs (température, humidité, détecteurs de gaz, positionnement, etc...) aux contraintes de vols, de mettre au point les équipements volants ainsi que les stations au sol pour les adapter aux contraintes (cendres, ambiance corrosive, plages de températures...), et de les piloter lors des campagnes de mesures sur site.
- **Viscosimètre** pour l'étude des laves volcaniques : conception et réalisation par le SDT de l'électronique de pilotage de cet instrument portable, d'acquisition des mesures, et de l'interface homme-machine. Le projet a démarré en janvier 2017 et l'instrument est en cours de finalisation.
- **Disdromètre** météorologique adapté à la mesure des retombées de cendres volcaniques : révision totale du système depuis 2014. Campagnes de mesures en 2015 au Stromboli et 2018 au Sabancaya.

Travaux divers (participation du SDT)

- **Voldorad1,2,2B** : projet historique du service, démarré en 1996, il a consisté en la réalisation de 3 radars doppler pour la surveillance des jets volcaniques. Voldorad1 a été installé sur le Popocatepétl (Mexique), Voldorad2B sur l'Etna (Italie), et Voldorad2 est utilisé lors de campagne de mesures. Durant la période 2014-2019, l'activité du service sur ces radars a été une activité de maintenance.
- **Electromagnétisme** : surveillance de volcans en Chine, Norvège, Philippines à l'aide de magnétomètres, réseaux d'électrodes, de sondes thermiques, d'inclinomètres pour suivre les variations : magnétique, potentiels de surface, thermique et géométrique des édifices volcaniques. Acquisitions à long terme in-situ et télémétrie radio (VHF ou WIFI) des données. Cette activité devrait se terminer à l'été 2019 suite au départ à la retraite du chercheur porteur du projet.
- **RESIF** : Implantation du réseau national de sismomètre au niveau de la région
- **Jouvence et Maintenance des profileurs de vent UHF et VHF**
- **GazVolc** : Stations de prélèvement de gaz d'origine volcanique
- **Réalisation d'un impacteur à nuage** haut volume
- **Néphélomètre polaire** pour la caractérisation des propriétés de diffusion des particules nuageuses
- **PVM-IP** : sonde permettant la caractérisation du rayon effectif des gouttelette d'eau
- **Four synchrotron soleil** : conception d'une baie d'alimentation de puissance et d'asservissement en température d'un four

Actions incitatives technologiques et exploratoires portées par le SDT

- **SDR** : Software Design Radio, étude de faisabilité, première application à la détection d'avions (trames ADS-B) pour la sécurité aérienne du LiDAR, prospection pour d'autres applications comme les radars passifs
- **Capteurs téléphonie** : Développements d'applications mobiles de capteurs dédiés à la volcanologie et aux sciences atmosphériques
- **Datalogger universel**: développement d'un datalogger polyvalent et versatile

Prospectives

Fonctionnement en mode projet

Le fonctionnement du service en mode projet, stratégique depuis 2015, passe en phase plus opérationnel depuis 2019. Le plan de charge des agents est désormais mis à jour mensuellement, afin d'avoir une visibilité convenable de l'activité du service, de prévoir les domaines de compétences dans lesquels des « points durs » peuvent apparaître et de prioriser l'implication dans les projets. Il permet également de synthétiser l'état d'avancement des projets.

Projet en cours et à venir

- **COPLid** : mentionné dans la partie bilan, ce projet est en cours. L'objectif initial du projet (la production d'un lidar atmosphérique à 3 longueurs d'ondes d'émission) sera atteint cette année 2019. Mais le projet se poursuivra avec une phase d'exploitation de l'instrument dans le cadre d'ACTRIS. Par ailleurs, d'autres développements seront lancés par la suite tels que l'ajout de nouvelles voies de mesures.
- **SDR** : l'accréditation de l'utilisation du lidar COPLid est en cours, ceci en grande partie grâce à l'application ADS-B-SDR, alternative au radar pour la détection des aéronefs. Si la démarche aboutit, le système ADS-B-SDR pourrait être diffusé auprès d'autres composantes de la communauté ACTRIS-EU. Sur la base du SDR, des développements technologiques applicables à la volcanologie et à la météorologie physique sont à l'étude comme des radars passifs ou actifs, ou comme capteur opportuniste non-dédié.
- **Acquisition volorads** : l'objectif est de reprendre la globalité de l'électronique d'acquisition des volorads 1,2,2B, actuellement basée sur l'utilisation d'une ancienne carte DSP(Digital Signal Processor) des années 90. La nouvelle acquisition s'appuiera désormais sur la programmation de carte FPGA(Field Programable Gate Array).
- **Volorad3** : exploitation du radar pour des missions d'intérêt volcanologique. Dans le cadre de l'interdisciplinarité et de la mutualisation de l'instrument, ce radar de l'OPGC devrait être embarqué en 2020 sur un bateau océanographique au large de la Nouvelle Zélande pour la campagne Sea2Cloud.
- **Domérapi** : le projet se poursuivra par l'évolution des techniques de détections de chutes de blocs par traitements d'images afin de suivre en temps réels les coulées pyroclastiques permettant de mieux comprendre ces coulées.
- **Viscosimètre** : l'objectif futur sera de réaliser des mesures de viscosité sur différents sites et de rendre l'instrument plus robuste suite aux retours d'expériences de terrain.
- **Plate-forme drones** : le nombre de projets centrés sur des mesures par drone s'est fortement développé. L'idée est de créer au sein du SDT une plate-forme drone mutualisée. Toutefois la charge de travail des agents SDT alloués à cette tâche a considérablement augmenté. Dans un très court terme (été 2019), la fin de l'activité « électromagnétisme » permettra de libérer du temps aux agents pour la plate-forme drone. Un arbitrage dans le choix des projets drone s'avérera nécessaire. Nous nous appuierons sur le plan de charge des agents pour prioriser les projets à venir.

Projets sous réserve

- **Cloudnet** : sous réserve d'acquérir un radar nuage qui serait utilisé à des fins d'observations, le SDT pourrait être impliqué dans la réalisation des mesures et leur contrôle-qualité. Dans ce cas de figure, ces observations permettraient de rejoindre la communauté Cloudnet, à travers l'IR ACTRIS-EU.

Profileur de vent VHF : sous réserve d'obtention d'un financement suffisant (>150k€), le SDT serait impliqué dans la jouvence complète de ce vieux système (mis en service au début des années 1990).

Clermont-Ferrand, le 15 octobre 2018



Direction adjointe technique de l'OSU OPGC Lettre de mission

Contexte :

L'Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand (OPGC), composante (école interne) de l'Université Clermont Auvergne, au sens de l'article L. 713-1 du code de l'éducation, est Observatoire des sciences de l'Univers du centre national de la recherche scientifique - Institut national des sciences de l'univers (CNRS-Insu).

Il porte les formations en sciences de la Terre et physique de l'atmosphère de l'Université Clermont Auvergne (niveaux licence et master) via son Ecole OPGC.

L'OPGC rassemble environ 200 personnels et comprend deux laboratoires de recherche (UMR), une unité mixte de service (UMS). Les deux unités mixtes de recherche développent des activités dans les domaines de la Terre solide et de la physique de l'atmosphère. Le laboratoire Magmas et volcans (LMV) s'intéresse aux magmas depuis leur formation jusqu'à leur expression en surface. Le Laboratoire de météorologie physique (LaMP) s'intéresse à la chimie atmosphérique et aux nuages depuis leurs aspects microphysiques et physicochimiques jusqu'à leur impact sur le climat. L'OPGC a en charge plusieurs dispositifs d'observation nationaux labellisés par l'INSU dont le site instrumenté Puy-de Dôme/Opme/Cézeaux (CO-PDD), les instruments nationaux « Presse multi-enclumes » et « Plateforme de mesures aéroportées ». Il intervient dans les services nationaux d'observation : CLAP pour le secteur Océan-Atmosphère, SNOV et SNOS (Resif) pour le secteur Terre solide.

Au sein de l'UMS 833 de l'OSU-OPGC, le/la directeur/trice technique supervise et anime l'ensemble de l'équipe technique en lien avec les équipes techniques des deux laboratoires de l'OSU OPGC, impliqués dans le soutien à l'opération des réseaux d'observations nationaux et internationaux et impliqués dans des projets techniques et scientifiques. Il/elle supervise l'opération et l'optimisation des moyens d'observation de l'OSU-OPGC, incluant la jouvence, pouvant à l'occasion être menées avec des partenaires extérieurs et assure alors un rôle de maître d'ouvrage. Il/elle est aussi le conseil et le contact de référence technique pour les chercheurs de l'OSU-OPGC désirant lancer un développement ou contribuer à un projet de nature technique. Il/elle arbitre l'allocation des moyens mis à disposition des projets techniques de l'OSU-OPGC.

Description des activités de la Direction adjointe technique de l'OSU OPGC

Le/la directeur/trice adjoint/e technique de l'OPGC est membre de l'équipe de direction de l'OSU.

Ce poste est un poste transverse à l'UMS 833 et aux deux laboratoires regroupés dans l'OPGC, le Laboratoire de Météorologie Physique et le Laboratoire Magmas et Volcans, qui sont impliqués dans le soutien à l'opération des réseaux d'observations nationaux et internationaux, mais également dans des projets techniques et scientifiques.

Principales activités

- ✓ Participer aux réunions du comité de direction de l'OPGC.
- ✓ Participer avec les conseils de l'OSU (Conseil de l'OPGC et Conseil Scientifique de l'OPGC) à l'arbitrage de l'évolution des moyens d'observation, et des moyens humains et techniques disponibles à l'OPGC.
- ✓ Participer aux décisions de priorités de réalisations et d'harmonisation de plan de charge individuel et collectif avec les responsables des équipes de l'UMS 833.



Université Clermont Auvergne
Bâtiment de l'OPGC
Campus Universitaire des Cézeaux
4 Avenue Blaise Pascal
TSA 60026 – CS 60026 – 63178 AUBIERE cedex – France
☎ 04 73 40 73 80 - 📠 04 73 40 73 82
✉ secretariat@opgc.univ-bpclermont.fr



Clermont-Ferrand, le 15 octobre 2018



- ✓ Apporter son expertise technique et conseiller la mise en place de projet au sein de l'OPGC, par ses contacts et en lien avec les chefs de projet de l'OSU OPGC. Identifier les possibles mutualisations 'inter-projets'.
- ✓ Participer, si besoin, aux revues principales des projets de l'OSU OPGC. Apporter son aide pour identifier les points critiques (RH ou budget), faire des propositions et analyser des solutions.
- ✓ Encourager et aider les actions de R&D au sein de l'OSU OPGC.
- ✓ Participer au plan de recrutement et à la rédaction des demandes de postes pour l'OSU OPGC et les laboratoires partenaires si besoin.
- ✓ Participer, si besoin, aux entretiens et au suivi de carrière des IT de l'UMS 833, aider à la construction des dossiers de promotion, et identifier/mettre en œuvre les formations professionnels utiles pour les agents.
- ✓ Représenter la direction au sein de la cellule "locaux" de l'OPGC.
- ✓ Contribuer à la mise en place du télétravail, pour les agents qui en feront la demande, au sein de l'UMS.



PR. N. HURET
Directrice de l'OSU OPGC.



Université Clermont Auvergne
Bâtiment de l'OPGC
Campus Universitaire des Cézeaux
4 Avenue Blaise Pascal
TSA 60026 – CS 60026 – 63178 AUBIERE cedex – France
☎ 04 73 40 73 80 - 📠 04 73 40 73 82
✉ secretariat@opgc.univ-bpclermont.fr



Presse Multi-Enclumes (PME)

Annexe A: Production scientifique des **acteurs** de l'IN (publications de rang A, conférences, thèses)
[Production pour laquelle le premier auteur appartient au service]

1. [Freitas D*](#), [Manthilake G.](#), Chantel J., [Bouhifd A.](#), [Andrault D.](#) (2019). Simultaneous measurements of electrical conductivity and seismic wave velocity of partially molten geological materials: effect of evolving melt texture. *Physics and Chemistry of Minerals* DOI:[10.1007/s00269-019-01021-5](#) .
2. Maurice, J*., N. Bolfan-Casanova, J. A. Padrón-Navarta, G. Manthilake, T. Hammouda, J. M. Hénot, and D. Andrault (2018), The stability of hydrous phases beyond antigorite breakdown for a magnetite-bearing natural serpentinite between 6.5 and 11 GPa, *Contrib. to Mineral. Petrol.*, 173(10), 86
3. Andrault, D., Pesce, G., Manthilake, G., Monteux, J., Bolfan-Casanova, N., Chantel, J., Novella, D., Guignot, N., King, A., Itié, J.-P., Hennet, L., 2018. Deep and persistent melt layer in the Archaean mantle. *Nature Geoscience* 11, 139–143 . doi:10.1038/s41561-017-0053-9
4. [Bolfan-Casanova N.](#), [Schiavi F.](#), Novella D., Bureau H., Raepsaet C., Khodja H., Demouchy S. (2018). Examination of Water Quantification and Incorporation in Transition Zone Minerals: Wadsleyite, Ringwoodite and Phase D Using ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis). *Frontiers in Earth Science* vol.6, DOI:[10.3389/feart.2018.00075](#) .
5. Clesi V*, Bouhfid M.A, Bolfan-Casanova N, Manthilake G, Schiavi F, Raepsaet C, Bureau H, Khodja H, Andrault D (2017) Low hydrogen contents in the cores of terrestrial planets, *Science Advances* vol.4, p.e170187
6. Freitas, D*., Manthilake, G., Schiavi, F., Chantel, J., Bolfan-Casanova, N., Bouhifd, M.A., Andrault, D., 2017. Experimental evidence supporting a global melt layer at the base of the Earth's upper mantle. *Nat. Commun.* 8, 2186. doi:10.1038/s41467-017-02275-9
7. Andrault D, Bolfan-Casanova N, Bouhifd MA, Boujibar A, Garbarino G, Manthilake G, Mezouar M, Monteux J, Parisiadis P, Pesce G. (2017) Toward a coherent model for the melting behavior of the deep Earth's mantle, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 265, 67-81
8. Fabrizio A**., Bouhifd M.A., Andrault D., Bolfan-Casanova N., Manthilake G. Laporte D. (2017) Argon solubility in H₂O-CO₂ bearing basaltic melts at upper mantle conditions. *Chemical Geology*.448,100-109
9. Bouhfid M.A, Clesi V, Boujibar A, Bolfan-Casanova N, Cartier C, Hammouda T, Boyet M, Manthilake G, Monteux J, Andrault D. (2017) Silicate melts during Earth's core formation. *Chemical Geology*.
10. [Bouhifd A.](#), [Boyet M.](#), Cartier C., [Hammouda T.](#), [Bolfan-Casanova N.](#), [Devidal J.L.](#), [Andrault D.](#) (2015). Superchondritic Sm/Nd ratio of the Earth: Impact of Earth's core formation. *Earth and Planetary Science Letters* vol.413, p.158-166, DOI:[10.1016/j.epsl.2014.12.054](#) .
11. Boujibar A*., [Bolfan-Casanova N.](#), [Andrault D.](#), [Bouhifd A.](#), Trcera, N. (2016). Incorporation of Fe²⁺ and Fe³⁺ in bridgmanite during magma ocean crystallization. *American Mineralogist* vol.101, p.1560-1570, DOI:[doi: 10.2138/am-2016-5561](#) .
12. Chantel J**., [Manthilake G.](#), [Andrault D.](#), Novella D., Yu T., Wang Y. (2016). Experimental evidence supports mantle partial melting in the asthenosphere. *Science Advances* doi:[10.1126/sciadv.1600246](#).
13. Chantel J**., Manthilake G.M., Frost J, Beyer C., Ballaran T. B, Jing Z., Wang Y. (2015). Elastic wave velocities in polycrystalline Mg₃Al₂Si₃O₁₂-pyrope garnet to 24 GPa and 1300K. *American Mineralogist* doi:10.2138/am-2016-5335
14. Clési V*, Bouhifd M.A., Bolfan-Casanova N., Manthilake G., Fabrizio A., Andrault D. (2016) Effect of water on the metal-silicate partitioning of siderophile elements (Ni, Co, Cr, V, Mn and Fe). *Geochim. Cosmochim. Acta* , 192,97-121
15. [Hammouda T.](#), Keshav S. (2015). Melting in the mantle in presence of carbon: review of experiments and discussion on the origin of carbonatites. *Chemical Geology* vol.418, p.171-188, DOI:[10.1016/j.chemgeo.201.05.018](#) .
16. Manthilake G , Mookherjee M, Bolfan-casanova N. & Andrault D (2015) Electrical conductivity of lawsonite and dehydrating fluids at high pressures and temperatures. doi:10.1002/2015GL064804.
17. [Manthilake G.](#), [Bolfan-Casanova N.](#), Novella D., Mookherjee M., [Andrault D.](#) (2016). Dehydration of chlorite explains anomalously high electrical conductivity in the mantle wedges. *Science Advances* vol.2, p.e1501631, doi:[10.1126/sciadv.1501631](#).
18. [Bouhifd A.](#), Whittington A.G., Richet P. (2015). Density of hydrous silicate melts: New measurements and predictions. *Chemical Geology* vol.418, p.40-50, DOI:[10.1016/j.chemgeo.2015.01.012](#) .

19. Boujibar A*, [Andrault D.](#), [Bolfan-Casanova N.](#), [Bouhifd A.](#), [Monteux J.](#) (2015). Cosmochemical fractionation by collisional erosion during the Earth's accretion. vol.6, p.8295, DOI:[10.1038/ncomms9295](#) | [www.nature.com/naturecommunications](#) .
20. Cartier C.*, Hammouda T., Boyet M., Testemale D., Mathon O., Moine B.N. (2015) Evidence for Nb²⁺ and Ta³⁺ in silicate melts under highly reducing conditions: a XANES study, *Amer. Mineral.* 100, 2152-2158.

* Doctorant

** chercheur postdoctoral

Annexe B: Production scientifique des **utilisateurs** de l'IN (publications de rang A, conférences, thèses)
[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

1. Bureau H., Frost D.J., [Bolfan-Casanova N.](#), Leroy C., Esteve I., Cordier P. (2016). Diamond growth in mantle fluids. *Lithos* vol.265, p.4-15, DOI:[10.1016/j.lithos.2016.10.004](#) .
2. Roberge M., Bureau H., [Bolfan-Casanova N.](#), Frost D.J., Raepsaet C., Surble S., Khodja H., Auzende A.L., Fiquet G. (2015). Is the transition zone a deep reservoir for fluorine?. *Earth and Planetary Science Letters* vol.429, p.25-32, DOI:[10.1016/j.epsl.2015.07.051](#) .
3. Gouriet K., Hilairet N., Amiguet E., [Bolfan-Casanova N.](#), Wang Y., Reynard B., Cordier P. (2015). Plasticity of the dense hydrous magnesium silicate phase A at subduction zones conditions. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* vol.248, p.1-11, DOI:[10.1016/j.pepi.2015.09.004](#) .
4. Damay F., Poienar M., Hervieu M., Guesdon A., Bourgeois J., Hansen T., Elkaïm E., Haines J., Hermet P., Konczewicz L., [Hammouda T.](#), Rouquette J., Martin C. (2015). High-pressure polymorph of LuFe₂O₄ with room-temperature antiferromagnetic order. *Physical Review* vol.B91, p.214111.
5. Demouchy D, Thoraval C, Bolfan-Casanova N, Manthilake G (2016) Diffusivity of Hydrogen in Iron-Bearing Olivine at 3 GPa. *Phys. Earth Planet. Interiors*, doi : 10.1016/j.pepi.2016.08.005
6. Demouchy S., [Bolfan-Casanova N.](#) (2016). Distribution and transport of hydrogen in the lithospheric mantle: A review. *Lithos* vol.240-243, p.402-425, DOI:[10.1016/j.lithos.2015.11.012](#) .
7. Tennakoon, S., Peng, Y., Mookherjee, M., Speziale, S., Manthilake, G., Besara, T., et al. (2018). Single crystal elasticity of natural topaz at high-temperatures. *Sci. Rep.* 8, 1372. doi:10.1038/s41598-017-17856-3.
8. Madugalla, N. S., A. Pitawala, and G. Manthilake (2017), Primary and secondary textures of dolomite in eppawala carbonatites, Sri Lanka: Implications for their petrogenetic history, *J. Geosci.*, 62(3), 187–200
9. Soustelle V, Manthilake G. (2017) Deformation of olivine-orthopyroxene aggregates at high pressure and temperature: implications for the seismic properties of the asthenosphere. *Tectonophysics*.694, 385-399

Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA)

Production scientifique des acteurs de l'IN (publications de rang A, conférences, thèses)
[Production pour laquelle le premier auteur appartient au service]

Theses :

1. **Gwenolé Guyot** soutenue en Juin 2016 (directeur de thèse : **Valery Shcherbakov**, co directeur : **Olivier Jourdan**) (Université Blaise Pascal, Clermont II/ LaMP).
2. **Christina Kagkara** (directrice: **A. Flossmann**, co-directrice : **C. Planche**), “ Modélisation microphysique détaillée de l'épisode de précipitation intense IOP7a observé lors de l'expérience HYMEX : Etude de l'impact de la pollution”, financement ANR MUSIC.
3. **Emmanuel Fontaine** (directeur : **A. Schwarzenboeck**), Masse et facteur de réflectivité radar des cristaux de glace dans les systèmes convectifs de moyenne échelle formés dans les tropiques et la région de la mer méditerranée.
4. **Pierre Coutris** (directeur : **A. Schwarzenboeck**, encadrante; D. Leroy), Analyse des propriétés dimensionnelles et massiques des cristaux de glace pour l'étude des processus microphysiques dans les systèmes convectifs à méso-échelle.
5. **Elise Drigeard** (directeur : **W. Wobrock**), Microphysique glacée des systèmes convectifs observés dans le cadre de Megha-Tropiques en Afrique de l'Ouest: comparaison des mesures aéroportées avec des radars sol et un modèle numérique.

Publications :

In preparation :

1. **J. Brito**, **A. Schwarzenboeck**,... et al., On the contribution of vegetation emissions on aerosol size distribution and possible impacts on CCN and cloud microphysical properties over Southern West Africa. In Prep. To be submitted to ACP. 2019
2. Emmanuel Fontaine, Alfons Schwarzenboeck, Delphine Leroy, Julien Delanoë, Alain Protat, Fabien Dezitter, Alice Grandin, John Walter Strapp, Lyle Edward Lillie. Intercomparison of Ice Microphysical

Properties in Tropical and Mid-Latitude Mesoscale Convective Systems Derived from Cloud Radar and In-Situ Microphysical Observations. In Prep. To be submitted to ACP. 2019.

3. Guy Febvre, Ludovic Delabarre, Delphine Leroy, Régis Dupuy, Valery Shcherbakov, Monte Carlo Migration Method in Kernel Matrix to inverse dimensional spectrum of CDP, *in prep*

Accepted/published:

1. Vaillant de Guélis, T., Schwarzenboeck, A., Shcherbakov, V., Gourbeyre, C., Laurent, B., Dupuy, R., Coutris, P., and Duroure, C.: Study of the diffraction pattern of cloud particles and respective response of Optical Array Probes, *Atmos. Meas. Tech. Discuss., Atmos. Meas. Tech.*, 12, 2513-2529, 2019, <https://doi.org/10.5194/amt-12-2513-2019>.
2. T. Vaillant de Guélis, V. Shcherbakov, A. Schwarzenboeck. Diffraction patterns from opaque planar objects simulated with Maggi–Rubinowicz method and angular spectrum theory. Submitted to *Optics Express*. 2018. Vol. 27, [Issue 7](https://doi.org/10.1364/OE.27.009372), pp. 9372-9381 (2019), <https://doi.org/10.1364/OE.27.009372>.
3. Coutris, P., Schwarzenboeck, A., Leroy, D., Calmels, A., Dezitter, F., Strapp, J.W. Uncertainty of the ice particles Median Mass Diameters retrieved from the HAIC-HIWC dataset: a study of the influence of the mass retrieval method. Accepted as SAE Technical Paper. 2019.
4. Maher Sahyoun, Evelyn Freney, Joel Brito, Jonathan Duplissy, Aurélie Colomb, Regis Dupuy, Thierry Bourriane, John B. Nowak, Chao Yan, Tuukka Petäjä, Markku Kulmala, Alfons Schwarzenboeck, Céline Planche, and Karine Sellegri. Evidence of new particle formation within volcanic passive plumes and its 1 parameterization from airborne in-situ measurements. *JGR*. 2019. Accepted.
5. Mioche, G., and O. Jourdan, Spacebone remote sensing and airborne in situ observations of Arctic mixed-phase clouds, in *Mixed-Phase Clouds : Observations and Modelling*, p. 300, edited by Constantin Andromache, Cambridge, MA, 121-150, 10.1016/B978-0-12-810549-8.00006-4, 2018
6. Chauvigné A., O. Jourdan, A. Schwarzenboeck, C. Gourbeyre, C. Voigt, H. Schlager, S. Kaufmann, S. Borrmann, S. Molleker, A. Minikin, T. Jurkat, and U. Schumann. Statistical Analysis of Contrail to Cirrus Evolution during the Contrail and Cirrus Experiments (CONCERT). *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 9803–9822, 2018. <https://doi.org/10.5194/acp-18-9803-2018>.
7. Brito J., E. Freney, P. Dominutti, A. Borbon, S. L. Haslett, A. Colomb, R. Dupuy, C. Denjean, F. Burnet, T. Bourriane, A. Deroubaix, K. Sellegri, H. Coe, C. Flamant, P. Knippertz, and A. Schwarzenboeck. Assessing the role of anthropogenic and biogenic sources on PM₁ over Southern West Africa using aircraft measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 757–772, 2018. <https://doi.org/10.5194/acp-18-757-2018>.
8. Leroy, D., E. Fontaine, A. Schwarzenboeck, J. Strapp, A. Korolev, G. McFarquhar, R. Dupuy, C. Gourbeyre, L. Lilie, A. Protat, J. Delanoë, F. Dezitter, and A. Grandin. 2017. Ice crystal sizes in high ice water content clouds. Part 2: Statistics of Mass Diameter Percentiles in Tropical Convection observed during the HAIC/HIWC project. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, doi: 10.1175/JTECH-D-15-0246
9. Fontaine E., D. Leroy, A. Schwarzenboeck, J. Delanoë, A. Protat, F. Dezitter, A. Grandin, W. Strapp, L.E. Lilie. Simulations of Radar Reflectivity Factors for Populations of Ice Crystals Approximated with Oblate Spheroids: Evaluation of the Retrieval Method for CWC in tropical MCS. *Atmos. Meas. Tech.* 10, 2239-2252, <https://doi.org/10.5194/amt-10-2239-2017>.
10. Coutris P., D. Leroy, E. Fontaine, A. Schwarzenboeck, J.W. Strapp. Ice particles' mass retrieval from in-situ measurements: a new method based on inverse problem approach. *JTECH* 2017, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-17-0013.1>.
11. G. Mioche, O. Jourdan, J. Delanoë, C. Gourbeyre, G. Febvre, R. Dupuy, F. Szczap, A. Schwarzenboeck, and J.F. Gayet. Characterization of Arctic mixed-phase cloud properties at small scale and coupling with satellite remote sensing. *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 2017. <https://doi.org/10.5194/acp-17-12845-2017>.
12. Coutris P., D. Leroy, E. Fontaine, A. Schwarzenboeck, J.W. Strapp, A. Calmels. Comparison of two retrieval techniques for ice particle mass from in-situ measurements: implication for particle effective density. *AIAA. Technical Paper* 2017. (AIAA 2017-4245). <https://doi.org/10.2514/6.2017-4245>.
13. Alfons Schwarzenboeck, Christophe Gourbeyre, Régis Dupuy, Jean-François Fournol, Bastien Laurent, Delphine Leroy, Jean-François Gayet. L'Instrument National Plate-forme de Mesures Aéroportées (PMA). *La revue d'Auvergne*, 2017.
14. Jourdan, O., G. Mioche, et Jean-François Gayet, Les recherches en régions polaires. *Revue d'Auvergne*, n°620-621 : Des volcans aux nuages - Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, 33 pages, 2016.
15. Leroy D., E. Fontaine, A. Schwarzenboeck, and J. W. Strapp, 2016: Ice Crystal Sizes in High Ice Water Content Clouds. Part I: On the Computation of Median Mass Diameter from In Situ Measurements. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 33, 2461–2476, doi: 10.1175/JTECH-D-15-0151.
16. Shcherbakov V., O. Jourdan, C. Voigt, J.F. Gayet, A. Chauvigne, A. Schwarzenboeck, A. Minikin, M. Klingebiel, R. Weigel, S. Borrmann, T. Jurkat, S. Kaufmann, R. Schlage, C. Gourbeyre, G. Febvre, T. Lapyonok, W. Frey, S. Molleker, and B. Weinzierl 2016. Porous aerosol in degassing plumes of Mt. Etna and Mt. Stromboli, *Atmos. Chem. Phys.*, Vol. 16, issue 18 [doi:10.5194/acp-16-11883-2016](https://doi.org/10.5194/acp-16-11883-2016) (EGU)

17. Guyot, G., C. Gourbeyre, G. Febvre, V. N. Shcherbakov, F. Burnet, J.-C. Dupont, K. Sellegri, and O. Jourdan, Quantitative evaluation of seven optical sensors for cloud microphysical measurements at the Puy-de-Dôme Observatory, France, *Atmos. Meas. Tech.*, *8*, 4347-4367, doi: 10.5194/amt-8-4347-2015, 2015.
18. Mioche, G., O. Jourdan, M. Ceccaldi, and J. Delanoë, Variability of mixed-phase clouds in the Arctic with a focus on the Svalbard region: a study based on spaceborne active remote sensing, *Atmos. Chem. Phys.*, *15*, 2445-2461, doi: 10.5194/acp-15-2445-2015, 2015
19. Drigeard E., E. Fontaine, W. Wobrock, A. Schwarzenboeck, C. Duroure, E.R. Williams, A. Protat, J. Delanoë, F. Cazenave, M. Gosset. A comparison of airborne in-situ cloud microphysical measurement with ground based C-band radar observations in deep stratiform regions of African squall lines. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, *54*, 2461–2477.
20. Leroy D., E. Fontaine, A. Schwarzenboeck, J. W. Strapp, L. Lillie, J. Delanoë, A. Protat, F. Dezitter, A. Grandin. HAIC/HIWC field campaign – specific findings on PSD microphysics in high IWC regions from in situ measurements: median mass diameters, particle size distribution characteristics and ice crystal shapes. 2015. SAE, 2015-01-2087 doi:10.4271/2015-01-2087 (SAE International).
21. Rose C., K. Sellegri, E. Freney, R. Dupuy, A. Colomb, J.-M. Pichon, M. Ribeiro, T. Bourriane, F. Burnet, and A. Schwarzenboeck. Airborne measurements of new particle formation in the free troposphere above the Mediterranean Sea during the HYMEX campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, *15*, 10203-10218, 2015. doi:10.5194/acp-15-10203-2015.

Production scientifique des utilisateurs de l'IN (publications de rang A, conférences, thèses)
[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

Theses :

| | |
|------------------------------|--|
| Sophie Haslett, | University of Manchester, UK |
| Zhipeng Qu | Environnement and Climate Change Canada, Canada |
| Marie Taufour, | <u>Meteo France</u> , Toulouse, France |
| Emma Järvinen, | Karlsruhe Institute of Technology, Germany |
| Stanford, Mckenna W., | University of Utah, US |
| Jean-Francois Ribaud, | <u>CNRM</u> , Toulouse, France |
| Frédéric Cazenave, | <u>LTHE</u> , Grenoble, France |
| Nelson Begue, | <u>LACY</u> La Réunion, France |
| Louis Marelle, | <u>LATMOS</u> Paris, France |
| Hervé Petetin, | <u>LISA</u> , Creteil, France |
| Michael Pikridas | Cyprus Institute, <u>Energy, Environment and Water Research Center</u> , Cyprus |

Articles :

In preparation:

S. L. Haslett, J. W. Taylor, M. Evans, E. Morris, B. Vogel, A. Dajuma, J. Brito, A. M. Batenburg, S. Borrmann, J. Schneider, C. Schulz, C. Denjean, T. Bourriane, P. Knippertz, R. Dupuy, A. Schwarzenboeck, D. Sauer, C. Flamant, J. Dorsey, I. Crawford and H. Coe. Remote biomass burning dominates southern West African air pollution during the monsoon. In prep. To be submitted to Nature. 2019.

Cyrielle Denjean, Thierry Bourriane, Frederic Burnet, Marc Mallet, Nicolas Maury, Aurélie Colomb, Pamela Dominutti, Joel Brito, Régis Dupuy, Alfons Schwarzenboeck, Cyrille Flamant, Peter Knippertz. Light absorption properties of aerosols over South Western Africa. To be submitted to ACP. 2019

In revision

22. Alain Protat; Surendra Rauniar; Julien Delanoë; Emmanuel Fontaine; Alfons Schwarzenboeck. Unexpected 95 GHz Radar Attenuation in Stratiform Ice Anvils. Submitted to JTECH. 2019. JTECH-D-18-0154.
23. J. W. Taylor, Sophie L. Haslett, Keith Bower, Michael Flynn, Ian Crawford, James Dorsey, Tom Choularton, Paul J. Connolly, Christiane Voigt, Valerian Hahn, Daniel Sauer, Régis Dupuy, Joel Brito, Alfons Schwarzenboeck, Thierry Bourriane, Phil Rosenberg, Cyrille Flamant, James D. Lee, Adam R. Vaughan, Peter G. Hill, Barbara Brooks, Valéry Catoire, Peter Knippertz, and Hugh Coe. Aerosol influences on low-level clouds in the West African monsoon. *Atmos. Chem. Phys. Disc.* <https://doi.org/10.5194/acp-2019-40>. In revision, 2019.

Accepted/published:

24. B. Esposito, Stephan Bansmer, Christiane Voigt, Inken Knop, Tina Jurkat, A. Schwarzenboeck. Tunnel Measurements of the Response of Newly 2D Imaging Probes to Glaciated Cloud Conditions. Accepted to SAE Technical Paper. 2019.

25. Haslett, S. L., Taylor, J. W., Deetz, K., Vogel, B., Babić, K., Kalthoff, N., Wieser, A., Dione, C., Lohou, F., Brito, J., Dupuy, R., Schwarzenboeck, A., and Coe, H.: The radiative impact of out-of-cloud aerosol hygroscopic growth during the summer monsoon in southern West Africa, *Atmos. Chem. Phys.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2018-805>, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 1505-1520, 2019 <https://doi.org/10.5194/acp-19-1505-2019>.
26. Järvinen, E., O. Jourdan, D. Neubauer, B. Yao, C. Liu, M. O. Andrea, U. Lohmann, M. Wendisch, G. M. McFarquhar, T. Leisner, and M. Schnaiter, Additional Global Climate Cooling by Clouds due to Ice Crystal Complexity, *Atmos. Chem. Phys.*, doi:10.5194/acp-2018-491, 2018..
27. Qu Z., H. W. Barker, A. V. Korolev, J. A. Milbrandt, M. Wolde, A. Schwarzenboeck, D. Leroy, J. W. Strapp, J. N. S. Cole, S. Bélair, S. Leroyer, L. Nguyen, and A. Heidinger. Evaluation of a high-resolution NWP model's simulated clouds using observations from CloudSat and *in situ* aircraft. *Q.J.R.M.* Vol. 144, 1681-1694. 2018. <https://doi.org/10.1002/qj.3318>.
28. Taufour M., B. Vié, C. Augros, J.-P. Pinty, J. Delanoë, B. Boudevillain, G. Delautier, C. Lac, V. Ducrocq, A. Schwarzenboeck, W. Wobrock. Evaluation of the two-moment scheme LIMA based on microphysical observations from the HyMeX campaign. *QJRM*. Vol. 144 1398-1414. <https://doi.org/10.1002/qj.3283>
29. Cyrille Flamant, Adrien Deroubaix, Patrick Chazette, Joel Brito, Marco Gaetani, Peter Knippertz, Andreas H. Fink, Gaëlle de Coetlogon, Laurent Menut, Aurélie Colomb, Cyrielle Denjean, Rémi Meynadier, Philip Rosenberg, Regis Dupuy, Pamela Dominutti, Jonathan Duplissy, Thierry Bourriane, Alfons Schwarzenboeck, Michel Ramonet, and Julien Totems. Aerosol distribution in the northern Gulf of Guinea: local anthropogenic sources, long-range transport, and the role of coastal shallow circulations. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 12363–12389, 2018. <https://doi.org/10.5194/acp-18-12363-2018>.
30. Bansmer, S. E., Baumert, A., Sattler, S., Knop, I., Leroy, D., Schwarzenboeck, A., Jurkat-Witschas, T., Voigt, C., Pervier, H., and Esposito, B.: Design, construction and commissioning of the Braunschweig Icing Wind Tunnel, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 3221-3249, <https://doi.org/10.5194/amt-11-3221-2018>, 2018.
31. Wendisch, M., A. Macke, A. Ehrlich, C. Lüpkes, M. Mech, D. Chechin, K. Dethloff, C. Barientos, H. Bozem, M. Brückner, H. Clemen, S. Crewell, T. Donth, R. Dupuy, K. Ebell, U. Egerer, R. Engelmann, C. Engler, O. Eppers, M. Gehrman, X. Gong, M. Gottschalk, C. Gourbeyre, H. Griesche, J. Hartmann, M. Hartmann, Heinold, A. Herber, H. Herrmann, G. Heygster, P. Hoor, S. Jafariserajehlou, E. Jäkel, E. Järvinen, O. Jourdan, U. Kästner, S. Kecorius, E. Knudsen, F. Kllner, J. Kretschmar, L. Lelli, D. Leroy, M. Maturilli, L. Mei, S. Mertes, G. Mioche, R. Neuber, M. Nicolaus, T. Nomokonova, J. Notholt, M. Palm, M. van Pinxteren, J. Quaas, P. Richter, E. Ruiz-Donoso, M. Schäfer, K. Schmieder, M. Schnaiter, J. Schneider, A. Schwarzenboeck, P. Seifert, M. Shupe, H. Siebert, G. Spreen, J. Stapf, F. Stratmann, T. Vogl, A. Welti, H. Wex, A. Wiedensohler, M. Zanatta, and S. Zeppenfeld, 2018: The Arctic Cloud Puzzle: Using ALOUD/PASCAL MultiPlatform Observations to Unravel the Role of Clouds and Aerosol Particles in Arctic Amplification. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* doi:10.1175/BAMS-D-18-0072.1.
32. McK. W. Stanford, A. Varble, E. Zipser, J. W. Strapp, D. Leroy, A. Schwarzenboeck, and R. Potts. A ubiquitous ice size bias in simulations of tropical deep convection. *Atmos. Chem. Phys.* *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 9599-9621, <https://doi.org/10.5194/acp-17-9599-2017>.
33. McFarquhar G., D. Baumgardner, A. Bansemmer, S. Abel, J. Crosier, J. French, P. Rosenberg, A. Korolev, A. Schwarzenboeck, D. Leroy, J. Um, W. Wu, A. Heymsfield, C. Twohy, A. Detwiler, P. Field, A. Neumann, D. Axisa, R. Cotton, J. Dong Processing of Cloud In-Situ Data Collected by Bulk Water, Scattering, and Imaging Probes: Fundamentals, Uncertainties and Efforts towards Consistency. *AMS. Meteorological Monograph. Chapter 11.* <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPH-D-16-0007.1>. 2017.
34. C. Flamant, P. Knippertz, A. H. Fink, A. Akpo, B. Brooks, C. J. Chiu, H. Coe, S. Danuor, M. Evans, O. Jegede, N. Kalthoff, A. Konaré, C. Lioussé, F. Lohou, C. Mari, H. Schlager, A. Schwarzenboeck, B. Adler, L. Amekudzi, J. Aryee, M. Ayoola, A. M. Batenburg, G. Bessardon, S. Borrmann, J. Brito, K. Bower, F. Burnet, V. Catoire, A. Colomb, C. Denjean, K. Fosu-Amankwah, P. G. Hill, J. Lee, M. Lothon, M. Maranan, J. Marsham, R. Meynadier, J.-B. Ngamini, P. Rosenberg, D. Sauer, V. Smith, G. Stratmann, J. W. Taylor, C. Voigt, V. Yoboué. The Dynamics-Aerosol-Chemistry-Cloud Interactions in West Africa field campaign: Overview and research highlights. *BAMS 2017.* <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0256.1>
35. Järvinen, E., M. Schnaiter, G. Mioche, O. Jourdan, V.N. Shcherbakov, A. Costa, A. Afchine, M. Krämer, F. Heidelberg, T. Jurkat, C. Voigt, H. Schlager, L. Nichman, M. Gallagher, E. Hirst, C. Schmitt, A. Bansemmer, A. Heymsfield, P. Lawson, U. Tricoli, K. Pfeilsticker, P. Vochezer, O. Möhler, and T. Leisner, Quasi-spherical Ice in Convective Clouds, *J. Atmos. Sci.*, 73, 3885-3910, doi: 10.1175/JAS-D-15-0365.1, 2016.
36. Cesana, G., H. Chepfer, D. Winker, B. Getzewich, X. Cai, O. Jourdan, G. Mioche, H. Okamoto, Y. Hagihara, V. Noel and M. Reverdy, Using in situ airborne measurements to evaluate three cloud phase products derived from CALIPSO, *J. Geophys. Res.*, 121 (D10), doi: 10.1002/2015JD024334, 2016.
37. Schnaiter, M., E. Järvinen, P. Vochezer, A. Abdelmonem, R. Wagner, O. Jourdan, G. Mioche, V. N. Shcherbakov, C. G. Schmitt, U. Tricoli, Z. Ulanowski, and A. J. Heymsfield, Cloud chamber experiments on the origin of ice crystal complexity in cirrus clouds, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 5091-5110, doi:10.5194/acp-16-5091-2016, 2016.

38. C. N. Franklin · A. Protat · D. Leroy · E. Fontaine. Controls on phase composition and ice water content in a convection permitting model simulation of a tropical mesoscale convective system. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 8767–8789, 2016. doi:10.5194/acp-16-8767-2016
39. F. Cazenave · M. Gosset · M. Kacou · M. Alcoba · E. Fontaine · C. Duroure, B. Dolan. Characterization of Hydrometeors in Sahelian Convective Systems with an Xband radar and comparison with in situ measurements. Part 1: Sensitivity of polarimetric radar particle identification retrieval and case study evaluation. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 2016. Vol 55 pg. 231-259. doi: 10.1175/JAMC-D-150013.1
40. M. Alcoba · M. Gosset · M. Kacou · F. Cazenave · E. Fontaine. Characterization of Hydrometeors in Sahelian Convective Systems with an Xband radar and comparison with in situ measurements. Part 2: a simple bright band method to infer the density of icy hydrometeors. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 2016. Vol 55. Pg 251-263. doi:10.1175/JAMC-D-15-0014.1.
41. Ribaud, J.-F., Bousquet, O., Coquillat, S., Al-Sakka, H., Lambert, D., Ducrocq, V. and Fontaine, E. (2016), Evaluation and application of hydrometeor classification algorithm outputs inferred from multi-frequency dual-polarimetric radar observations collected during HyMeX. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 142: 95–107. doi:10.1002/qj.2589
42. Protat A., J. Delanoë, J. W. Strapp, E. Fontaine, D. Leroy, A. Schwarzenboeck, L. Lilie, C. Davison, F. Dezitter, A. Grandin, M. Weber. The Measured Relationship between Ice Water Content and Cloud Radar Reflectivity in Tropical Convective clouds. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 2016. Vol 55, pg. 1707-1729. doi: 10.1175/JAMC-D-15-0248.1.
43. Denjean C., F. Cassola, A. Mazzino, S. Chevaillier, S. Triquet, N. Grand, T. Bourriane, G. Momboisse, K. Sellegri, A. Schwarzenboeck, M. Mallet and P. Formenti. Size distribution and optical properties of mineral dust aerosols transported in the West Mediterranean. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 1081-1104, 2016. doi:10.5194/acp-16-1081-2016.
44. Mallet M., F. Dulac, P. Formenti, P. Nabat, J. Sciare, G. Roberts, J. Pelon, G. Ancellet, D. Tanré, F. Parol, A. di Sarra, L. Alados, J. Arndt, F. Auriol, L. Blarel, T. Bourriane, G. Brogniez, P. Chazette, S. Chevaillier, M. Claeys, B. D'Anna, C. Denjean, Y. Derimian, K. Desboeufs, T. Di Iorio, J-F. Doussin, P. Durand, A. Feron, E. Freney, C. Gaimoz, P. Goloub, J.L. Gomez-Amo, M. Granados Muoz, N. Grand, E.H. Hamonou, I. Jankowiak, M. Jeannot, J-F. Léon, M. Maillé, S. Mailler, D.M. Meloni, L.M. Menut, G.M. Momboisse, J.N. Nicolas, T.P. Podvin, V.P. Pont, G.R. Rea, J-B.R. Renard, L.R. Roblou, K. Schepanski, A. Schwarzenboeck, K. Sellegri, M. Sicard, F. Solmon, S. Somot, B. Torres, J. Totems, S. Triquet, N. Verdier, C. Verwaerde, J. Wenger, and P. Zapf. Overview of the Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment/Aerosol Direct Radiative Forcing on the Mediterranean Climate (ChArMEx/ADRIMED) summer 2013 campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 455-504, 2016. doi:10.5194/acp-16-455-2016.
45. Lamorthe C., A. Borbon, A. Schwarzenboeck, J.-C. Canonici. SAFIRE : Des avions au service de la recherche en environnement. *La Météorologie*, 2016, N° 93 ; p. 30-41. <https://doi.org/10.4267/2042/59939>
46. Raisanen, P., A. A. Kokhanovsky, G. Guyot, O. Jourdan, and T. Nousiainen, Parameterization of single-scattering properties of snow, *The Cryosphere*, DOI 10.5194/tc-9-1277-2015, 2015
47. Martini, N. Viltard, S.M. Ellis, [E. Fontaine](#). Ice microphysics retrieval in the convective systems of the Indian Ocean during the CINDY–DYNAMO campaign. *Atmospheric Research*, Elsevier, 2015, 163, pp.13-23.
48. Beekmann M., A. S. H. Prevot, F. Drewnick, J. Sciare, S. N. Pandis, H. A. C. Denier van der Gon, M. Crippa, F. Freutel, L. Poulain, V. Ghersi, E. Rodriguez, S. Beirle, P. Zotter, S.-L. von der Weiden-Reinmüller, M. Bressi, C. Fountoukis, H. Petetin, S. Szidat, J. Schneider, A. Rosso, I. El Haddad, A. Megaritis, Q.J. Zhang, J.G. Slowik, S. Moukhtar, P. Kolmonen, A. Stohl, S. Eckhardt, A. Borbon, V. Gros, N. Marchand, J.L. Jaffrezo, A. Schwarzenboeck, A. Colomb, A. Wiedensohler, S. Borrmann, M. Lawrence, A. Baklanov, U. Baltensperger. In-situ, satellite measurement and model evidence for a dominant regional contribution to fine particulate matter levels in the Paris Megacity. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 9577-9591 [doi:10.5194/acp-15-9577](https://doi.org/10.5194/acp-15-9577), (EGU).
49. Begue, N.; Tulet, P.; Pelon, J.; Aouizerats, B.; Berger, A.; [Schwarzenboeck, A.](#) 2015. Aerosol processing and CCN formation of an intense Saharan dust plume during the EUCAARI 2008 campaign. *Atmos. Chem. Phys.* Vol. 15, No. 16, p. 3497-3516 [DOI 10.5194/acp-15-3497-2015](https://doi.org/10.5194/acp-15-3497-2015) (EGU).
50. Mallet M., F. Dulac, P. Nabat, P. Formenti, J. Sciare, G. Roberts, J. Pelon, D. Tanré, F. Parol, G. Ancellet, L. Blarel, T. Bourriane, G. Brogniez, P. Chazette, S. Chevaillier, M. Claeys, A. Colomb, C. Denjean, Y. Derimian, K. Desboeufs, J.-F. Doussin, P. Durand, A. Féron, H. Ferré, L. Fleury, E. Freney, P. Goloub, N. Grand, E. Hamonou, M. Jeannot, I. Jankowiak, D. Lambert, J-F Léon, L. Menut, G. Monboisse, J. Nicolas, V. Pont, S. Mailler, T. Podvin, F. Solmon, S. Somot, G. Rea, J.-B. Renard, L. Roblou, A. Schwarzenboeck, K. Sellegri, M. Sicard, J. Totems, B. Torres, S. Triquet et N. Verdier. Interactions aérosols-rayonnement-climat méditerranéen : impact de l'effet radiatif direct sur le cycle de l'eau. *La Météorologie* - N°91 - Novembre 2015. <https://doi.org/10.4267/2042/57860>
51. Marelle, L.; Raut, J.-C.; Thomas, J. L.; Law, K. S.; Quennehen, B.; Ancellet, G.; Pelon, J.; [Schwarzenboeck, A.](#) ; Fast, J. D. 2015. Transport of anthropogenic and biomass burning aerosols from Europe to the Arctic during spring 2008. *Atmos. Chem. Phys.* Vol. 1, p. 3831-3850 [DOI 10.5194/acp-15-3831-2015](https://doi.org/10.5194/acp-15-3831-2015) (EGU).
52. Petetin H., M. Beekmann, A. Colomb, S. Crumeyrolle, H. A. C. Denier van der Gon, J.-C. Dupont, C. Honoré, V. Michoud, Y. Morille, O. Perrussel, A. Schwarzenboeck, A. Wiedensohler, Q. Zhang. Evaluating BC and NOx emission inventories for the Paris region from MEGAPOLI aircraft measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 9799-9818 [doi:10.5194/acp-15-9799](https://doi.org/10.5194/acp-15-9799), (EGU).
53. Pikridas M., J. Sciare, A. Schwarzenboeck, S. Crumeyrolle, A. Borbon, F. Freutel, M. Merkel, S. Lena von der Weiden-Reinmüller, M. Crippa, E. Kostenidou, M. Psichoudaki, L. Hildebrandt, G. J. Engelhart, F. Drewnick, M. Beekmann, T. Petäjä, A. S. H. Prevot, U. Baltensperger, A. Wiedensohler, M. Kulmala, and S. N. Pandis.

- Ultrafine particle sources and in-situ formation in a European Megacity. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 10219-10237, 2015. doi:10.5194/acp-15-10219-2015.
54. Tuccella P., G. Curci, G. A. Grell, G. Visconti, S. Crumeroylle, A. Schwarzenboeck, and A. A. Mensah. A new chemistry option in WRF/Chem for simulation of direct and indirect aerosol effects using VBS: evaluation against IMPACT-EUCAARI data. Submitted to Geoscientific Model Development (GMD), 2014.
 55. Turner S., J.-M. Gaubert, R. Gallois, T. Dacla, I. Mullie, A. Bourdon, F. Dezitter, A. Grandin, A. Protat, R. Potts, A. Schwarzenboeck, J. W. Strapp. Improvements of the PLANET System for Real-time Satellite Data Transmission during the HAIC/HIWC Darwin Field Campaign. 2015. SAE Technical Paper 2015-01-2147 [doi:10.4271/2015-01-2147](https://doi.org/10.4271/2015-01-2147), (SAE International).
 56. Zhang Q. J., M. Beekmann, E. Freney, K. Sellegri, J.M. Pichon, A. Schwarzenboeck, A. Colomb, T. Bourriane, V. Michoud, and A. Borbon. Formation of secondary organic aerosol in the Paris pollution plume and its impact on surrounding regions. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 13973-13992, [doi:10.5194/acp-15-13973-2015](https://doi.org/10.5194/acp-15-13973-2015) (EGU).

Conférences

1. J. Walter Strapp, Alfons Schwarzenboeck, Kristopher Bedka, Thomas Bond, Alice Calmels, Julien Delanoë, Fabien Dezitter, Matthew Grzych, Steven Harrah, Alexei Korolev, Delphine Leroy, Lyle Lillie, Jeanne Mason, Rodney Potts, Alain Protat, Thomas Ratvasky, James T. Riley, and Mengistu Wolde. Comparisons of Cloud In-Situ Microphysical Properties of Deep Convective Clouds to Appendix D/P using Data from the HAIC-HIWC and HIWC-RADAR Flight Campaigns. SAE 2019 Conference.
2. B. Esposito, Stephan Bansmer, Christiane Voigt, Inken Knop, Tina Jurkat, A. Schwarzenboeck. Tunnel Measurements of the Response of Newly 2D Imaging Probes to Glaciated Cloud Conditions. SAE 2019 Conference.
3. E. Defer, S. Coquillat, P. De Guibert, D. Lambert, K. Lee, J.-P. Pinty, V. Pont, S. Prieur, I. Reinares, E. Richard, O. Caumont, F. Erdmann, L. Labatut, M. Buguet, P. Blanchet, P. Lalande, G. Labrousche, S. Pedebay, J.-Y. Lojou, A. Schwarzenboeck, R. Dupuy, G. Febvre, J.-F. Fourniol, C. Goubeyre, J.-M. Pichon, J. Delanoë, C. Caudoux, C. Legac, F. Trompier, L. Guiraud, J.-P. Desbios, J.-C. Canonici, C. Calas, M. Kreitz, S. Dafis, P. Goloub, L. Blarel, T. Podvin, T. Farges, A. Parodi, and J. E. Dye. The EXAEDRE campaign for a better understanding of the microphysical, dynamical and electrical processes in thunderstorms. HYMEX conference 2019.
4. E. Defer, S. Coquillat, P. De Guibert, D. Lambert, J.-P. Pinty, V. Pont, S. Prieur, E. Richard, O. Caumont, L. Labatut, M. Buguet, S. Pedebay, A. Schwarzenboeck, J. Delanoë, J. Pelon, B. Boudevillain, F. Trompier, L. Guiraud, C. Calas, M. Kreitz, P. Goloub, T. Farges, and A. Parodi. The EXAEDRE data catalog. HYMEX conference 2019.
5. E. Defer, S. Coquillat, P. De Guibert, D. Lambert, K. Lee, J.-P. Pinty, V. Pont, S. Prieur, I. Reinares, E. Richard, O. Caumont, F. Erdmann, L. Labatut, M. Buguet, P. Blanchet, P. Lalande, G. Labrousche, S. Pedebay, J.-Y. Lojou, A. Schwarzenboeck, R. Dupuy, G. Febvre, J.-F. Fourniol, C. Goubeyre, J.-M. Pichon, J. Delanoë, C. Caudoux, C. Legac, F. Trompier, L. Guiraud, J.-P. Desbios, J.-C. Canonici, C. Calas, M. Kreitz, S. Dafis, P. Goloub, L. Blarel, T. Podvin, T. Farges, A. Parodi, and J. E. Dye. **Microphysical, dynamical and electrical properties of the thunderstorm sampled during the 17 September 2018 EXAEDRE IOP2 flight**. EGU 2019. Invited talk.
6. Keun-Ok Lee, Jean-Pierre Pinty, Evelyne Richard, Eric Defer, Sylvain Coquillat, Stéphane Pedebay, Alfons Schwarzenboeck, Julien Delanoë, Magalie Buguet. Simulation of electrical convective systems occurring in Corsica Island during the EXAEDRE field campaign. HYMEX conference 2019.
7. Marine Claeys, Christelle Barthe, Jean-Pierre Pinty, Quentin Libois, Vincent Noel, Eric Defer, Alfons Schwarzenboeck and Pierre Coutris. Improving the numerical representation of tropical cyclones on an ocean-wave-atmosphere coupled system. AMS 2019, 18th conference on mesoscale processes.
8. Adam Varble, McKenna Stanford, Alexei Korolev, Delphine Leroy, Alfons Schwarzenboeck, J. Walter Strapp, Mengistu Wolde, and Ed Zipser. Why do microphysics schemes over-predict ice size in tropical deep convective updrafts? AMS Cloud Physics Conf. 2018.
9. C. Voigt, V. Hahn, S. Kaufmann, J. Kleine, Y. Boose, J. Taylor, S. Hanslett, H. Coe, D. Sauer, H. Schlager, S. Borrmann, V. Catorie, J. Brito, R. Dupuy, A. Schwarzenboeck, C. Chiu, C. Flamant, P. Knippertz. Anthropogenic aerosol effects on shallow clouds during the Dynamics-Aerosol-Chemistry-Cloud Interactions DACCWA field campaign in West Africa. AMS Cloud Physics Conf. 2018.
10. Peter G. Hill, J. Y. C. Chiu, R. P. Allan, H. Coe, R. Dupuy, V. Hahn, R. Ladkin, A. Schwarzenboeck, J. Taylor, and C. Voigt An Evaluation of Satellite Cloud Retrievals in Tropical West Africa. AMS Atmospheric Radiation Conf. 2018.
11. Valerian Hahn, Christiane Voigt, Valery Catoire, Vanessa Brocci, Daniel Sauer, Hans Schlager, Hugh Coe, Jonathan Taylor, Sophie Haslett, Joel Brito, Alfons Schwarzenboeck, Regis Dupuy, and Cyrille Flamant.

- Novel in-situ measurements of microphysical cloud properties in West Africa – Impact of aerosol on low level clouds. EGU 2018.
12. **Sophie Haslett**, Jonathan Taylor, Michael Flynn, Keith Bower, Joel Brito, Alfons Schwarzenboeck, Régis Dupuy, Anneke Batenburg, Johannes Schneider, Christiane Schulz, Stephan Borrmann, Cyrielle Denjean, Frederic Burnet, Daniel Sauer, James Lee, Cyrille Flamant, Peter Knippertz, and Hugh Coe. **Biomass burning from central Africa dominates air pollution across southern West Africa during the summer monsoon season.** EGU 2018.
 13. **Agnès Borbon**, Bayetoulaye Thera, Pamela Dominutti, Aurélie Colomb, Joel Brito, and Alfons Schwarzenboeck. **Evaluating the importance of photochemistry within urban plumes in West Africa.** EGU 2018.
 14. Nicolas Maury, **Cyrielle Denjean**, Thierry Bourriane, Frederic Burnet, Regis Dupuy, Joel Brito, Aurelie Colomb, Alfons Schwarzenboeck, and Cyrille Flamant. **The influence of urban emissions on cloud condensation nuclei properties over West Africa.** EGU 2018.
 15. C. Flamant, A. Deroubaix, P. Chazette, J. Brito, G. de Coetlogon, A. Colomb, C. Denjean, A. Fink, M. Gaetani, P. Knippertz, L. Menut, R. Meynadier, P. Rosenberg, A. Schwarzenboeck and J. Totems. Aerosol distribution in the northern Gulf of Guinea: local anthropogenic sources, long-range transport and the role of sea surface temperature-induced shallow circulations. EGU 2018.
 16. J. Duplissy, M. Sahyoun, E. Freney, R. Dupuy, A. Colomb, D. Picard, J. Brito, C. Denjean, T. Bourriane, M. Kulmala, M. Riva, H. Juninen, A. Schwarzenboeck, C. Planche and K. Sellegri. Flying inside volcano's plume with a mass spectrometer to study new particle formation. NOSA conference Helsinki. 2018.
 17. Zhipeng Qu, A. Korolev, H. Barker, M. Wolde, A. Schwarzenboeck, D. Leroy, J. W. Strapp, J. Milbrandt, S. Belair, and J. Cole. Assessing a high-resolution NWP model's ability to predict high ice water content conditions using data from A-Train satellites and in situ aircraft. A-Train Symposium 2017.
 18. Flamant C., P. Knippertz, A. B. Akpo, B. J. Brooks, J. Y. C. Chiu, H. Coe, S. Danour, M. Evans, A. H. Fink, O. O. Jegede, N. Kalthoff, A. Konare, C. Liousse, F. Lohou, C. Mari, H. Schlager, and A. Schwarzenboeck. Aerosol-Cloud Interaction Studies Conducted during the DACCIWA (Dynamics-Aerosol-Chemistry-Cloud Interactions in West Africa) Field Campaign. 97th American Meteorological Society Annual Meeting.
 19. C. Denjean, T. Bourriane, F. Burnet, A. Deroubaix, J. Brito, R. Dupuy, A. Colomb, A. Schwarzenboeck, K. Sellegri, J. Duplissy, C. Flamant. Impact of long-range transport pollution on aerosol properties over West Africa: observations during the DACCIWA airborne campaign. EGU 2017.
 20. Z. Qu, A. Korolev, H. Barker, J. Milbrandt, M. Wolde, A. Schwarzenboeck, D. Leroy, J. W. Strapp, S. Belair, and J. Cole. Assessing a high-resolution NWP model's ability to predict high ice water content conditions using data from A-Train satellites and in situ aircraft. A-Train Symposium 2017.
 21. A. Calmels, F. Dezitter, A. Schwarzenboeck, P. Coutris, D. Leroy, J. Delanoë, A. Protat, J. De Laat, E. Defer, A. Gounou, F. Parol, S. Turner. Assessment of Ice Crystals Aeronautical Standards versus Flight Tests Findings in High Ice Water Content Environment. WMO conference 2017.
 22. A. Varble, Mck. Stanford, E. Zipser, J. W. Strapp, D. Leroy, A. Schwarzenboeck, A. Korolev, R. Potts, A. Protat, and M. Wolde. Ubiquitous ice property biases in simulated tropical deep convective systems. AGU conference 2017.
 23. E. Defer, S. Coquillat, D. Lambert, J.-P. Pinty, S. Prieur, O. Caumont, L. Labatut, Mathieu Nuret, P. Blanchet, M. Buguet, P. Lalande, G. Labrousche, S. Pedeboy, J.-Y. Lojou, A. Schwarzenboeck, J. Delanoë, A. Bourdon, and L. Guiraud. Observational and modeling-based study of Corsica thunderstorms: preparation of the EXAEDRE airborne campaign. AGU conference 2017.
 24. J. Duplissy, M. Sahyoun, R. Dupuy, D. Picard, J. Brito, C. Denjean, T. Bourriane, M. Kulmala, M. Riva, H. Juninen, C. Yan, L. Beck, F. Bianchi, A. Schwarzenboeck, C. Planche. Molecular understanding of new particle formation within volcanic plumes using flying mass spectrometer. International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols (ICNAA), Helsinki, Finlande, 25-30 Jun 2017, oral.
 25. S. Zhu, G. M. McFarquhar, D. Leroy, A. Korolev, A. Schwarzenboeck, W. Wu and J. W. Strapp. Bimodality and variability of particle size distributions in high Ice Water Content regions and their implications for microphysical models. AGU Fall Meeting 2016.
 26. G. M. McFarquhar, W. Wu, J. Finlon, S. Zhu, D. Stechman, R. Jackson, R. M. Rauber, B. F. Jewett, A. Schwarzenboeck, A. Korolev, D. Leroy, J. W. Strapp, and M. Poellot. Development of Stochastic Parameterizations of Cloud Microphysics for Models and Retrievals: Use of Uncertainty in In-Situ Observations. 17th ICCP (International Conference on Clouds and Precipitation), July 25-29, 2016.
 27. Z. Qu, A. Korolev, H. Barker, M. Wolde, A. Protat, J. Delanoë, A. Schwarzenboeck, J. Milbrandt, S. Belair, and J. Cole. Evaluation of cloud properties in Environment Canada's high-resolution NWP simulations with satellite-borne radar, lidar, and aircraft *in-situ* observations. 17th ICCP (International Conference on Clouds and Precipitation), July 25-29, 2016.
 28. A. Varble, Mck. Stanford, E. Zipser, J. W. Strapp, J. Delanoë, D. Leroy, A. Korolev, R. Potts, A. Protat, and A. Schwarzenboeck. Disentangling dynamical and microphysical causes of tropical convective precipitation biases in high-resolution simulations. AMS Tropical Meteorology, 2016.
 29. Mck. Stanford, A. Varble, E. Zipser, J. W. Strapp, J. Delanoë, A. Korolev, D. Leroy, R. Potts, A. Protat, and A. Schwarzenboeck. Evaluation of simulated tropical convective updraft properties using HAIC-HIWC aircraft observations. AMS Tropical Meteorology, 2016.

30. J.W. Strapp, A. Schwarzenboeck, J. Delanoë, F. Dezitter, C. Dumont, A. Grandin, A. Korolev, L. Lilie, R. Potts, A. Protat, T. Ratvasky. An Update on the Assessment of Appendix D/P Total Water Content from In-Situ Measurements of Deep Convective Clouds: Measurements from Two HAIC-HIWC Flight Campaigns. AIAA 2016.
31. T. Ratvasky (NASA Glenn), D. Duchanoy (SAFIRE), J-F. Bourdinot, S. Harrah, J.W. Strapp, A. Schwarzenboeck, F. Dezitter, A. Grandin. Flight Deck Observations during Flight in High Ice Water Content Conditions. AIAA 2016.
32. A. Varble, McK. Stanford, E. Zipser, J.W. Strapp, A. Korolev, B. Piguët, R. Potts, and A. Schwarzenboeck. Observed and Simulated Relationships Between Tropical Deep Convective Updraft Dynamics and Ice Microphysics. AGU 2015.
33. S. Turner, J.-M. Gaubert, J.-L. Brenguier, J.-M. Moisselin, F. Autones, A. Gonou, E. Defer, J. De Laat, F. Dezitter, A. Grandin, A. Protat, A. Schwarzenboeck, W.S. Strapp. Experimentation of real-time use of EUMETSAT observations and derived nowcast products using PLANE NETWORK (PLANET) for HAIC-HIWC field campaigns. 2015 Eumetsat Meteorological Satellite Conference. September 21-25, 2015.
34. D. Cariolle, H. Clarck, R. Paoli, O. Thouron, M. Benhamou, A. Schwarzenboeck, D. Hauglustaine, X. Vancassel. The TC2 (Traînees de Condensation et Climat) project. TAC (Transport, Atmosphere and Climate) conference 2015.
35. Ratvasky T., Duchanoy D., Bourdinot J-F., Mason J., Harrah S., Strapp J.W., Schwarzenboeck A., Dezitter F., Grandin A.; Flight Deck Observations During Flight in High Ice Water Content Conditions. **SAE International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures**, Prague, June 22-25, 2015.
36. Strapp J.W., Dezitter F., Dumont C., Grandin A., Korolev A., Lilie L., Potts R., Protat A., Ratvasky T., Schwarzenboeck A.; Preliminary assessment of Appendix D/P TWC and particle size using in-situ data from the Darwin-2014 flight program. **SAE International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures**, Prague, June 22-25, 2015.
37. Grandin A., Ratvasky T., Schwarzenboeck A., Strapp J.W., Duchanoy D., Bourdinot J-F., Delanoë J., Potts R., Protat A., Korolev A., Turner S., Dezitter F.; HAIC/HIWC International Field Campaign Overview & Preliminary Outcomes. **SAE International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures**, Prague, June 22-25, 2015.
38. Delanoë J., Protat A., Vinson J.P., Caudoux C., Guignard A., Fontaine E., Schwarzenboeck A., Strapp J.W., Dezitter F., Grandin A., Weber M., Ratvasky T., Lilie L., Caillou R.; The RASTA cloud radar, a tool for deriving ice water content profiles during HAIC/HIWC campaign. **SAE International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures**, Prague, June 22-25, 2015.
39. Delanoë J., Protat A., Schwarzenboeck A., Fontaine E., Strapp J.W., Lilie L., Vinson J.P., Caudoux C., Guignard A., Ceccaldi M., Viltard N., Dezitter F., Grandin A.; Cloud properties derived from RASTA measurements. **SAE International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures**, Prague, June 22-25, 2015.
40. Turner S., Gaubert J.M., Gallois R., Dacla T., Bourdon A., Dezitter F., Grandin A., Protat A., Schwarzenboeck A., Strapp J.W., Lilie L., Ratvasky T., Bond T., Potts R.; Improvements of the PLANET System for real-time satellite data transmission during the HAIC/HIWC Darwin field campaign. **SAE International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures**, Prague, June 22-25, 2015.
41. Korolev A., Schwarzenboeck A., Ackerman A., Delanoë J., Dezitter F., Dumont C., Fridlind A., Grandin A., Lilie L., Potts R., Protat A., Strapp J.W., Varble A., Zipsper E.; On the origin of high altitude high ice water content regions in oceanic deep convection. **SAE International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures**, Prague, June 22-25, 2015.
42. S. Turner, J.-M. Gaubert, J.-L. Brenguier, J.-M. Moisselin, F. Autones, A. Gounou, E. Defer, J. De Laat, F. Dezitter, A. Grandin, A. Protat, A. Schwarzenboeck, W.S. Strapp. Experimentation of real-time use of EUMETSAT observations and derived nowcast products using PLANE NETWORK (PLANET) for HAIC-HIWC field campaigns. 2015 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference.
43. G. M. McFarquhar, S. Zhu, W. Wu, J. W. Strapp, A. Schwarzenboeck, A. V. Korolev, and D. Leroy. A probabilistic framework for the representation of ice crystal size distributions observed during the High Ice Water Content (IWC) Campaign as gamma functions. 2015. IUGG.
44. A. Korolev, A. Schwarzenboeck, A. Ackerman, J. Delanoë, F. Dezitter, C. Dumont, A. Fridlind, A. Grandin, L. Lilie, R. Potts, A. Protat, J. W. Strapp, A. Varble, E. Zipser. On the origin of high altitude high ice water content regions in oceanic deep convection. 2015. IUGG.
45. A. M. Fridlind, A. S. Ackerman, A. Schwarzenboeck, D. Leroy, W. Strapp, A. Korolev, M. van Lier-Walqui, G. McFarquhar, W. Wu, C. Williams. Use of observations and simulations to investigate primary microphysical pathways between deep convection updrafts and the stratiform melting level. 2015. IUGG.

Cézeaux Opme puy de Dôme (CO-PDD)

Annexe A: Production scientifique des acteurs du SI (publications de rang A, conférences, thèses)

[Production pour laquelle le premier auteur appartient au service]

La liste ne contient que les articles de rang A et les thèses, du fait de la complexité de recenser les actes de conférence utilisant les données du SI. Elle a été arrêtée à début avril 2019, et certains articles de 2019 sont en discussion ou en évaluation. Les articles et thèses en lien avec le spatial ou utilisant des données satellites sont en bleu

Publications de rang A acteurs 2015-2019

1. Baray, J.-L. , Pointin, Y., Van Baelen, J., Lothon, M., Campistron, B., Cammas, J.-P., Masson, O., Colomb, A., Hervier, C., Bezombes, Y., Banson, S., Duroure, C., Hadad, D., F. Tridon: Case study and climatological analysis of upper tropospheric jet stream and stratosphere-troposphere exchanges using VHF profilers and radionuclide measurements in France, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 56:11, 3081-3097, 2017.
2. Barbet, C., Deguillaume, L., Chaumerliac, N., Leriche, M., Freney, E., Colomb, A., Sellegri, K., Patryl, L., Armand, P.: Evaluation of Aerosol Chemical Composition Simulations by the WRF-Chem Model at the Puy de Dôme Station (France), *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 3, 909-917, 2016.
3. Bianco, A., Passananti, M., Perroux, H., Voyard, G., Mouchel-Vallon, C., Chaumerliac, N., Mailhot, G., Deguillaume, L., Brigante, M.: A better understanding of hydroxyl radical photochemical sources in cloud waters collected at the puy de Dôme station – experimental versus modelled formation rates, *Atmospheric Chemistry and Physics*, doi:10.5194/acp-15-9191-2015, 2015.
4. Bianco A., Deguillaume, L., Vaïtilingom, M., Nicol, E., Baray, J.-L., Chaumerliac, N., M. Bridoux: Molecular Characterization of Cloud Water Samples Collected at the Puy de Dôme (France) by Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry, *Environmental Science & Technology* 2018 52 (18), 10275-10285, DOI: 10.1021/acs.est.8b01964, 2018.
5. Bianco, A., Vaïtilingom, M., Bridoux, M., Chaumerliac, N., Pichon, J.-M., Piro, J.-L., Deguillaume, L.: Trace metals in cloud water sampled at the puy de Dôme station, *Atmosphere*, 8, 225, 2017.
6. Bianco, A., Voyard, G., Deguillaume, L., Mailhot, G., Brigante, M.: Improving the characterization of dissolved organic carbon in cloud water: Amino acids and their impact on the oxidant capacity, *Scientific Reports*, 6, 37420, 2016 doi:10.1038/srep37420, 2016.
7. Bianco, A., Passananti, M., Deguillaume, L., Mailhot, G., Brigante, M.: Tryptophan and tryptophan-like substances in cloud water: Occurrence and photochemical fate, *Atmospheric Environment*, 137, 53-61, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.04.034, 2016.
8. Chauvigné, A., Sellegri, K., Hervo, M., Montoux, N., Freville, P., and Goloub, P.: Comparison of the aerosol optical properties and size distribution retrieved by sun photometer with in-situ measurements at midlatitude, *Atmospheric Measurement Technique*, 9, 4569-4585, doi:10.5194/amt-9-4569-2016, 2016.
9. Farah A., Freney, E., Chauvigné, A., Baray, J.-L., Rose, C., Picard, D., Colomb, A., Hadad, D., Abboud, M., Farah, A., K. Sellegri: Seasonal variation of aerosol size distribution data at the Puy de Dôme station with emphasis on the boundary layer/free troposphere segregation, *Atmosphere* 2018, 9(7), 244; doi: 10.3390/atmos9070244, 2018.
10. Freney, E., Karine, S., Eija, A., Clemence, R., Aurelien, C., Jean-Luc, B., Aurelie, C., Maxime, H., Nadege, M., Laeticia, B., and David, P.: Experimental Evidence of the Feeding of the Free Troposphere with Aerosol Particles from the Mixing Layer, *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 702-716, 10.4209/aaqr.2015.03.0164, 2016.

11. Fréville P., Montoux, N., Baray, J.-L., Chauvigné, A., Réveret, F., Hervo, M., Dionisi, D., Payen, G., Sellegri, K.: Lidar developments at Clermont-Ferrand – France for atmospheric observation, *Sensors*, 15, 3041-3069; doi:10.3390/s150203041, 2015.
12. Guyot, G., Gourbeyre, C., Febvre, G., Shcherbakov, V., Burnet, F., Dupont, J. C., Sellegri, K., and Jourdan, O.: Quantitative evaluation of seven optical sensors for cloud microphysical measurements at the Puy-de-Dôme Observatory, France, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 4347-4367, 10.5194/amt-8-4347-2015, 2015.
13. Hadad, D., Baray, J.-L., Montoux, N., Van Baelen, J., Fréville, P., Pichon, J.-M., Bosser, P., Ramonet, M., Yver Kwok, C., Bègue, N., Dufлот, V.: Surface and tropospheric water vapor variability and decadal trends at two supersites of CO-PDD (Cézeaux and Puy de Dôme) in Central France, *Atmosphere* 2018, 9(8), 302; <https://doi.org/10.3390/atmos9080302>, 2018.
14. Labbouz, L., Van Baelen, J. S., Duroure, C.: Investigation of the links between water vapor field evolution and rain rate based on 5 years of measurements at a midlatitude site, *Geophysical Research Letters*, 42 doi:10.1002/2015GL066048, 2015.
15. Rose, C., Sellegri, K., Asmi, E., Hervo, M., Freney, E., Colomb, A., Junninen, H., Duplissy, J., Sipilä, M., Kontkanen, J., Lehtipalo, K., and Kulmala, M.: Major contribution of neutral clusters to new particle formation at the interface between the boundary layer and the free troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 3413-3428, <https://doi.org/10.5194/acp-15-3413-2015>, 2015.
16. Rose, C., Chaumerliac, N., Deguillaume, L., Perroux, H., Mouchel-Vallon, C., Leriche, M., Patryl, L., and Armand, P.: Modeling the partitioning of organic chemical species in cloud phases with CLEPS (1.1), *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 2225-2242, <https://doi.org/10.5194/acp-18-2225-2018>, 2018.

Thèses acteurs 2015-2019

1. Borbon Agnès, Le carbone organique gazeux troposphérique : composition, sources et devenir, HDR de l'Université Clermont Auvergne, 2019.
2. Bras Yannick, Propriétés des noyaux glaciogènes atmosphériques, Thèse de l'Université Clermont Auvergne en cours (début 2018).
3. Chauvigné Aurélien, Impact radiatif des aérosols de haute altitude, Thèse de l'Université Blaise Pascal, 2016.
4. Farah Antoine, Analysis of the physical and chemical properties of atmospheric aerosols at the Puy-De-Dôme station, Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2018.
5. Guyot Gwennolé, Caractérisation des propriétés microphysiques des nuages et de l'interaction aérosol-nuage en Arctique à partir de mesures in-situ au sol pendant la campagne CLIMSLIP-NyA, Svalbard, Thèse de l'Université Blaise Pascal, 2016.
6. Hadad Dani, [Analyse de la vapeur d'eau atmosphérique et des processus dynamiques associés](#), Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2018.
7. Nicosia Alessia, Experimental investigation of heterogeneous nucleation of ice in remote location, thèse en co-tutelle entre l'Université de Ferrara (Italie) et l'Université Clermont Auvergne, 2018
8. Perroux Hélène, Modélisation des processus bio-physico-chimiques du milieu nuageux : devenir de la matière organique, Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2018.
9. Rocco Manon, Analyse des déterminants de la distribution des COV oxygénés en milieux d'altitude : tempéré (puy de Dôme) et tropical (Maïdo, la Réunion). Thèse de l'Université clermont Auvergne en cours (début en 2018)
10. Wang Miao, Etude des composés organiques volatiles (COV) dans l'atmosphère nuageuse au sommet du Puy de Dôme : partition air/goutte des COV et impact sur la chimie atmosphérique, Thèse de l'Université Clermont Auvergne en cours (début en 2016).

Annexe B: Production scientifique des utilisateurs du SI (publications de rang A, conférences, thèses)

[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

De même que pour l'annexe A, la liste ne contient que les articles de rang A et les thèses, du fait de la complexité de recenser les actes de conférence utilisant les données du SI. Elle a été arrêtée à début avril 2019, et certains articles de 2019 sont en discussion ou en évaluation. Les articles et thèses en lien avec le spatial ou utilisant des données satellites sont en bleu

Publications de rang A utilisateurs 2015-2019

1. Alastuey, A., Querol, X., Aas, W., Lucarelli, F., Pérez, N., Moreno, T., Cavalli, F., Areskoug, H., Balan, V., Catrambone, M., Ceburnis, D., Cerro, J.C., Conil, S., Gevorgyan, L., Hueglin, C., Imre, K., Jaffrezo, J.-L., Leeson, S.R., Mihalopoulos, N., Mitošinkova, M., O'Dowd, C.D., Pey, J., Putaud, J.-P., Riffault, V., Ripoll, A., Sciare, J., Sellegri, K., Spindler, G., Yttri, K.E., 2016. Geochemistry of PM₁₀ over Europe during the EMEP intensive measurement periods in summer 2012 and winter 2013. *Atmos Chem Phys* 16, 6107–6129. <https://doi.org/10.5194/acp-16-6107-2016>
2. Amato, P., Joly, M., Schaupp, C., Attard, E., Möhler, O., Morris, C. E., Brunet, Y., and Delort, A.-M.: Survival and ice nucleation activity of bacteria as aerosols in a cloud simulation chamber, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 6455–6465, <https://doi.org/10.5194/acp-15-6455-2015>, 2015.
3. Amato P, Joly M, Besaury L, Oudart A, Taib N, Moné AI, et al. (2017) Active microorganisms thrive among extremely diverse communities in cloud water. *PLoS ONE* 12(8): e0182869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182869>
4. Amato, P., Besaury, L., Joly, M., Penaud, B., Deguillaume, L., and Delort, A.-M.: Metatranscriptomic exploration of microbial functioning in clouds, *Scientific Reports*, 9, 4383, [10.1038/s41598-019-41032-4](https://doi.org/10.1038/s41598-019-41032-4), 2019.
5. Bègue, N., Tulet, P., Pelon, J., Aouizerats, B., Berger, A., and Schwarzenboeck, A. 2015, Aerosol processing and CCN formation of an intense Saharan dust plume during the EUCAARI 2008 campaign, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 3497-3516, [doi:10.5194/acp-15-3497-2015](https://doi.org/10.5194/acp-15-3497-2015).
6. Bergamaschi, P., Karstens, U., Manning, A. J., Saunio, M., Tsuruta, A., Berchet, A., Vermeulen, A. T., Arnold, T., Janssens-Maenhout, G., Hammer, S., Levin, I., Schmidt, M., Ramonet, M., Lopez, M., Lavric, J., Aalto, T., Chen, H., Feist, D. G., Gerbig, C., Haszpra, L., Hermansen, O., Manca, G., Moncrieff, J., Meinhardt, F., Necki, J., Galkowski, M., O'Doherty, S., Paramonova, N., Scheeren, H. A., Steinbacher, M., and Dlugokencky, E.: Inverse modelling of European CH₄ emissions during 2006–2012 using different inverse models and reassessed atmospheric observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 901-920, <https://doi.org/10.5194/acp-18-901-2018>, 2018.
7. Berger A., M. Leriche, L. Deguillaume, C. Mari, P. Tulet, D. Gazen, J. Escobar, (2016) Modeling Formation of SOA from Cloud Chemistry with the Meso-NH Model: Sensitivity Studies of Cloud Events Formed at the Puy de Dôme Station. In: Steyn D., Chaumerliac N. (eds) *Air Pollution Modeling and its Application XXIV*. Springer Proceedings in Complexity. Springer, Cham
8. Berger, A., C. Barbet, M. Leriche, L. Deguillaume, C. Mari, N. Chaumerliac, N. Bègue, P. Tulet, D. Gazen, J. Escobar 2016, Evaluation of Meso-NH and WRF/CHEM simulated gas and aerosol chemistry over Europe based on hourly observations, *Atmospheric Research*, 176-177, 43-63, [doi: 10.4209/aaqr.2015.05.0342](https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.05.0342).
9. Błaszczak B., K. Widziewicz-Rzonca, N. Ziola, K. Klejnowski and K. Juda-Rezler, 2019, Chemical Characteristics of Fine Particulate Matter in Poland in Relation with Data from Selected Rural and Urban Background Stations in Europe, *Appl. Sciences*, 9, 98, [doi:10.3390/app9010098](https://doi.org/10.3390/app9010098).
10. Cavalli, F., Alastuey, A., Areskoug, H., Ceburnis, D., Čech, J., Genberg, J., Harrison, R.M., Jaffrezo, J.L., Kiss, G., Laj, P., Mihalopoulos, N., Perez, N., Quincey, P., Schwarz, J., Sellegri,

- K., Spindler, G., Swietlicki, E., Theodosi, C., Yttri, K.E., Aas, W., Putaud, J.P., 2016. A European aerosol phenomenology -4: Harmonized concentrations of carbonaceous aerosol at 10 regional background sites across Europe. *Atmos. Environ.* 144, 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.07.050>
11. Ciarelli, G., Aksoyoglu, S., Crippa, M., Jimenez, J.-L., Nemitz, E., Sellegri, K., Äijälä, M., Carbone, S., Mohr, C., O'Dowd, C., Poulain, L., Baltensperger, U., Prévôt, A.S.H., 2016. Evaluation of European air quality modelled by CAMx including the volatility basis set scheme. *Atmos Chem Phys* 16, 10313–10332. <https://doi.org/10.5194/acp-16-10313-2016>
 12. Ciarelli, G., Aksoyoglu, S., El Haddad, I., Bruns, E. A., Crippa, M., Poulain, L., Äijälä, M., Carbone, S., Freney, E., O'Dowd, C., Baltensperger, U., and Prévôt, A. S. H.: Modelling winter organic aerosol at the European scale with CAMx: evaluation and source apportionment with a VBS parameterization based on novel wood burning smog chamber experiments, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 7653–7669, <https://doi.org/10.5194/acp-17-7653-2017>, 2017.
 13. Collaud Coen, M., Andrews, E., Aliaga, D., Andrade, M., Angelov, H., Bukowiecki, N., Ealo, M., Fialho, P., Flentje, H., Hallar, A. G., Hooda, R., Kalapov, I., Krejci, R., Lin, N.-H., Marinoni, A., Ming, J., Nguyen, N. A., Pandolfi, M., Pont, V., Ries, L., Rodríguez, S., Schauer, G., Sellegri, K., Sharma, S., Sun, J., Tunved, P., Velasquez, P., and Ruffieux, D.: Identification of topographic features influencing aerosol observations at high altitude stations, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 12289–12313, <https://doi.org/10.5194/acp-18-12289-2018>, 2018.
 14. Conen, F., S. Rodríguez, C. Hülin, S. Henne, E. Herrmann, N. Bukowiecki and C. Alewell (2015) Atmospheric ice nuclei at the high-altitude observatory Jungfraujoch, Switzerland, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 67:1,25014, DOI: 10.3402/tellusb.v67.25014
 15. Dall'osto M., et al., Novel insights on new particle formation derived from a pan-european observing system, *Scientific Reports*, volume 8, Article number: 1482 (2018)
 16. Delort, A.-M., Deguillaume, L., Renard, P., Vinatier, V., Canet, I., Vaïtilingom, M., Chaumerliac, N., 2017. Impacts on Cloud Chemistry, in: Delort, A.-M., Amato, P. (Eds.), *Microbiology of Aerosols*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 221–248. <https://doi.org/10.1002/9781119132318.ch3b>
 17. Delort, A.M., Vaïtilingom, M., Joly, M., Amato, P., Wirgot, N., Lallement, A., Sancelme, M., Matulova, M., Deguillaume, L., 2017. Clouds: A Transient and Stressing Habitat for Microorganisms, in: *Microbial Ecology of Extreme Environments*. Springer, Cham, pp. 215–245. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51686-8_10
 18. Dione, C. F. Lohou, M. Chiriaco, M. Lothon, S. Bastin, J.-L. Baray, P. Yiou, and A. Colomb, 2017, *The Influence of Synoptic Circulations and Local Processes on Temperature Anomalies at Three French Observatories*, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 56, 141–158, DOI: 10.1175/JAMC-D-16-0113.1.
 19. Dommergue A., Amato P., Tignat-Perrier R., Magand O., Thollot A., Joly M., Bouvier L., Sellegri K., Vogel T., Sonke J.E., Jaffrezo J.-L., Andrade M., Moreno I., Labuschagne C., Martin L., Zhang Q., Larose C., 2019, *Methods to Investigate the Global Atmospheric Microbiome*, *Frontiers in Microbiology*, 10, 243, DOI : 10.3389/fmicb.2019.00243
 20. Fanourgakis, G. S., Kanakidou, M., Nenes, A., Bauer, S. E., Bergman, T., Carslaw, K. S., Grini, A., Hamilton, D. S., Johnson, J. S., Karydis, V. A., Kirkevåg, A., Kodros, J. K., Lohmann, U., Luo, G., Makkonen, R., Matsui, H., Neubauer, D., Pierce, J. R., Schmale, J., Stier, P., Tsigaridis, K., van Noije, T., Wang, H., Watson-Parris, D., Westervelt, D. M., Yang, Y., Yoshioka, M., Daskalakis, N., Decesari, S., Gysel Beer, M., Kalivitis, N., Liu, X., Mahowald, N. M., Myriokefalitakis, S., Schrödner, R., Sfakianaki, M., Tsimpidi, A. P., Wu, M., and Yu, F.: Evaluation of global simulations of aerosol particle number and cloud condensation nuclei, and implications for cloud droplet formation, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2018-1340>, in review, 2019
 21. Gannet Hallar A., E. Andrews, N. Bukowiecki, D. A. Jaffe, N.H. Lin, 2016, *Overview of the Special Issue “Selected Papers from the 2nd Atmospheric Chemistry and Physics at Mountain Sites Symposium”*, *Aerosol and Air Quality Research* 16 (3):471–477.
 22. Hoerger, Corinne C. Anja Werner, Christian Plass-Duelmer, Stefan Reimann, Elisabeth Eckart, Rainer Steinbrecher, Juho Aalto, Jgor Arduini, Nicolas Bonnaire, J. Neil Cape, Aurélie

- Colomb, Richard Connolly, Jitka Diskova, Peter Dumitrean, Christian Ehlers, Valérie Gros, Hannele Hakola, Matthias Hill, James R. Hopkins, Julia Jäger, Rita Junek, Maija K. Kajos, Dieter Klemp, Michael Leuchner, Alastair C. Lewis, Nadine Locoge, Michela Maione, Damien Martin, Katja Michl, Eiko Nemitz, Simon O'Doherty, Pascual Pérez Ballesta, Taina M. Ruuskanen, Stéphane Sauvage, Norbert Schmidbauer, T. Gerard Spain, Eike Straube, Milan Vana, Martin K. Vollmer, Robert Wegener, Angelina Wenger, 2015, ACTRIS non-methane hydrocarbon intercomparison experiment in Europe to support WMO-GAW and EMEP observation networks, *Atmospheric Measurement Techniques*, 8, 2715-2736, doi:10.5194/amt-8-2715-2015.
23. Joly, M ; Amato, P.; Sancelme, M.; Vinatier V.; Abrantes, M.; Deguillaume, L. ; Delort, A.-M. ; 2015, Survival of microbial isolates from clouds towards simulated atmospheric stress factors, *Atmospheric Environment*, 117, 92-98, doi:10.1016/j.atmosenv.2015.07.009.
 24. Jousse, C., Dalle, C., Canet, I., Lagrée M., Traïkia M., Lyan M., Mendes C., Sancelme M., Amato P., Delort A.M., Metabolomic study of the response to cold shock in a strain of *Pseudomonas syringae* isolated from cloud water, *Metabolomics* (2018) 14: 11. <https://doi.org/10.1007/s11306-017-1295-7>
 25. Kiendler-Scharr, A., Mensah, A.A., Friese, E., Topping, D., Nemitz, E., Prevot, A.S.H., Äijälä, M., Allan, J., Canonaco, F., Canagaratna, M., Carbone, S., Crippa, M., Dall'Osto, M., Day, D.A., De Carlo, P., Di Marco, C.F., Elbern, H., Eriksson, A., Freney, E., Hao, L., Herrmann, H., Hildebrandt, L., Hillamo, R., Jimenez, J.L., Laaksonen, A., McFiggans, G., Mohr, C., O'Dowd, C., Otjes, R., Ovadnevaite, J., Pandis, S.N., Poulain, L., Schlag, P., Sellegri, K., Swietlicki, E., Tiitta, P., Vermeulen, A., Wahner, A., Worsnop, D., Wu, H.-C., 2016. Ubiquity of organic nitrates from nighttime chemistry in the European submicron aerosol. *Geophys. Res. Lett.* 43, 2016GL069239. <https://doi.org/10.1002/2016GL069239>
 26. Kontkanen, J., Lehtipalo, K., Ahonen, L., Kangasluoma, J., Manninen, H. E., Hakala, J., Rose, C., Sellegri, K., Xiao, S., Wang, L., Qi, X., Nie, W., Ding, A., Yu, H., Lee, S., Kerminen, V.-M., Petäjä, T., and Kulmala, M.: Measurements of sub-3 nm particles using a particle size magnifier in different environments: from clean mountain top to polluted megacities, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 2163-2187, <https://doi.org/10.5194/acp-17-2163-2017>, 2017.
 27. Kountouris, P., Gerbig, C., Rödenbeck, C., Karstens, U., Koch, T. F., and Heimann, M.: Atmospheric CO₂ inversions on the mesoscale using data-driven prior uncertainties: quantification of the European terrestrial CO₂ fluxes, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 3047-3064, <https://doi.org/10.5194/acp-18-3047-2018>, 2018.
 28. Lac, C., Chaboureaud, J.-P., Masson, V., Pinty, J.-P., Tulet, P., Escobar, J., Leriche, M., Barthe, C., Aouizerats, B., Augros, C., Aumond, P., Auguste, F., Bechtold, P., Berthet, S., Bielli, S., Bosseur, F., Caumont, O., Cohard, J.-M., Colin, J., Couvreux, F., Cuxart, J., Delautier, G., Dauhut, T., Ducrocq, V., Filippi, J.-B., Gazen, D., Geoffroy, O., Gheusi, F., Honnert, R., Lafore, J.-P., Lebeaupin Brossier, C., Libois, Q., Lunet, T., Mari, C., Maric, T., Mascart, P., Mogé, M., Molinié, G., Nuissier, O., Pantillon, F., Peyrillé, P., Pergaud, J., Perraud, E., Pianezze, J., Redelsperger, J.-L., Ricard, D., Richard, E., Riette, S., Rodier, Q., Schoetter, R., Seyfried, L., Stein, J., Suhre, K., Taufour, M., Thouron, O., Turner, S., Verrelle, A., Vié, B., Visentin, F., Vionnet, V., and Wautelet, P.: Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications, *Geosci. Model Dev.*, 11, 1929-1969, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1929-2018>, 2018.
 29. Lallement, A., Besaury, L., Tixier, E., Sancelme, M., Amato, P., Vinatier, V., Canet, I., Polyakova, O. V., Artaev, V. B., Lebedev, A. T., Deguillaume, L., Mailhot, G., and Delort, A.-M.: Potential for phenol biodegradation in cloud waters, *Biogeosciences*, 15, 5733-5744, <https://doi.org/10.5194/bg-15-5733-2018>, 2018.
 30. Lallement A., V. Vinatier, M. Brigante, L. Deguillaume, A.M. Delort, G. Mailhot, First evaluation of the effect of microorganisms on steady state hydroxyl radical concentrations in atmospheric waters, *Chemosphere*, Volume 212, 2018, Pages 715-722, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.128>.
 31. Lallement, A., L. Besaury, B. Eyheraguibel, P. Amato, M. Sancelme, G. Mailhot, A. M. Delort, 2017, Draft Genome Sequence of *Rhodococcus enclensis* 23b-28, a Model Strain Isolated

- from Cloud Water, *Genome Announc.* Oct 2017, 5 (43) e01199-17; DOI: 10.1128/genomeA.01199-17
32. Lebedev A.T., O.V. Polyakova, D.M. Mazur, V.B. Artaev, I. Canet, A. Lallement, M. Vaïtilingom, L. Deguillaume, A.-M. Delort, Detection of semi-volatile compounds in cloud waters by GC×GC-TOF-MS. Evidence of phenols and phthalates as priority pollutants, *Environmental Pollution*, Volume 241, Pages 616-625, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.089>, 2018.
 33. Lopez, M. M. Schmidt, M. Ramonet, J.-L. Bonne, A. Colomb, V. Kazan, P. Laj, and J.-M. Pichon 2015, Three years of semicontinuous greenhouse gas measurements at the Puy de Dôme station (central France), *Atmospheric Measurement Techniques*, 8, 3941-3958, DOI 10.5194/amt-8-3941-2015 (AMT).
 34. Masson O., de Vismes Ott A., Bourcier L., Paulat P., Ribeiro M., Pichon J.-M., Sellegri K., Gurriaran R., 2015, Change of radioactive cesium (¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs) content in cloud water at an elevated site in France, before and after the Fukushima nuclear accident: Comparison with radioactivity in rainwater and in aerosol particles, *Atmospheric Research*, 151, 45–51.
 35. Masson O., J. Bieringer, E. Brattich, A. Dalheimer, S. Estier, I. Penev, W. Ringer, C. Schlosser, T. Steinkopff, P. Steinmann, L. Tositti, P. Van Beek, A. de Vismes-Ott, 2016, Variation in airborne ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, particulate ¹³¹I and ⁷Be maximum activities at high-altitude European locations after the arrival of Fukushima-labeled air masses, *Journal of Environmental Radioactivity*, 162–163, 14–22, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.004>.
 36. Nieminen, T., Kerminen, V.-M., Petäjä, T., Aalto, P. P., Arshinov, M., Asmi, E., Baltensperger, U., Beddows, D. C. S., Beukes, J. P., Collins, D., Ding, A., Harrison, R. M., Henzing, B., Hooda, R., Hu, M., Hörrak, U., Kivekäs, N., Komsaare, K., Krejci, R., Kristensson, A., Laakso, L., Laaksonen, A., Leaitch, W. R., Lihavainen, H., Mihalopoulos, N., Németh, Z., Nie, W., O'Dowd, C., Salma, I., Sellegri, K., Svenningsson, B., Swietlicki, E., Tunved, P., Ulevicius, V., Vakkari, V., Vana, M., Wiedensohler, A., Wu, Z., Virtanen, A., and Kulmala, M.: Global analysis of continental boundary layer new particle formation based on long-term measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 14737-14756, <https://doi.org/10.5194/acp-18-14737-2018>, 2018
 37. Pandolfi, M., Alados-Arboledas, L., Alastuey, A., Andrade, M., Angelov, C., Artiñano, B., Backman, J., Baltensperger, U., Bonasoni, P., Bukowiecki, N., Collaud Coen, M., Conil, S., Coz, E., Crenn, V., Dudoitis, V., Ealo, M., Eleftheriadis, K., Favez, O., Fetfatzis, P., Fiebig, M., Flentje, H., Ginot, P., Gysel, M., Henzing, B., Hoffer, A., Holubova Smejkalova, A., Kalapov, I., Kalivitis, N., Kouvarakis, G., Kristensson, A., Kulmala, M., Lihavainen, H., Lunder, C., Luoma, K., Lyamani, H., Marinoni, A., Mihalopoulos, N., Moerman, M., Nicolas, J., O'Dowd, C., Petäjä, T., Petit, J.-E., Pichon, J. M., Prokopciuk, N., Putaud, J.-P., Rodríguez, S., Sciare, J., Sellegri, K., Swietlicki, E., Titos, G., Tuch, T., Tunved, P., Ulevicius, V., Vaishya, A., Vana, M., Virkkula, A., Vratolis, S., Weingartner, E., Wiedensohler, A., and Laj, P.: A European aerosol phenomenology – 6: scattering properties of atmospheric aerosol particles from 28 ACTRIS sites, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 7877-7911, <https://doi.org/10.5194/acp-18-7877-2018>, 2018.
 38. Passananti M., V. Vinatier, A.-M. Delort, G. Mailhot, and M. Brigante, 2016, Siderophores in Cloud Waters and Potential Impact on Atmospheric Chemistry: Photoreactivity of Iron Complexes under Sun-Simulated Conditions, *Environmental Science & Technology* 50 (17), 9324-9332, DOI: 10.1021/acs.est.6b02338
 39. Pison, I., Berchet, A., Saunois, M., Bousquet, P., Broquet, G., Conil, S., Delmotte, M., Ganesan, A., Laurent, O., Martin, D., O'Doherty, S., Ramonet, M., Spain, T. G., Vermeulen, A., and Yver Kwok, C.: How a European network may help with estimating methane emissions on the French national scale, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 3779-3798, <https://doi.org/10.5194/acp-18-3779-2018>, 2018.
 40. Pouzet G., E. Péghaire, M. Aguès, J.-L. Baray, F. Conen, P. Amato, Atmospheric processing and variability of biological ice nucleating particles in precipitation at Opme, France, *Atmosphere* 2017, 8(11), 229-246; doi:10.3390/atmos8110229

41. Qi, L., Li, Q., He, C., Wang, X., and Huang, J.: Effects of the Wegener–Bergeron–Findeisen process on global black carbon distribution, *Atmos. Chem. Phys.*, **17**, 7459–7479, <https://doi.org/10.5194/acp-17-7459-2017>, 2017.
42. Renard, P.; Canet, I.; Sancelme, M.; Wirgot, N.; Deguillaume, L.; Delort, A.-M. 2016, Screening of cloud microorganisms isolated at the puy de Dôme (France) station for the production of biosurfactants, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **16**, 12347–12358, 2016 doi:10.5194/acp-16-12347-2016.
43. Saïd, F., Campistron, B., Delbarre, H., Canut, G., Doerenbecher, A., Durand, P., Fourrié, N., Lambert, D. and Legain, D. (2016), Offshore winds obtained from a network of wind-profiler radars during HyMeX. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **142**: 23–42. doi:10.1002/qj.2749
44. Santl-Temkiv T., P. Amato, U. Gosewinkel, R. Thyrhaug, A. Charton, B. Chicot, Kai Finster, G. Bratbak, and J. Löndahl, 2017, High-Flow-Rate Impinger for the Study of Concentration, Viability, Metabolic Activity, and Ice-Nucleation Activity of Airborne Bacteria, *Environmental Science & Technology* **51** (19), 11224–11234 DOI: 10.1021/acs.est.7b01480
45. Schmale J. et al., [Collocated observations of cloud condensation nuclei, particle size distributions, and chemical composition, SCIENTIFIC DATA, 4:170003 | DOI: 10.1038/sdata.2017.3](https://doi.org/10.1038/sdata.2017.3), 2017
46. Schmale, J., Henning, S., Decesari, S., Henzing, B., Keskinen, H., Sellegri, K., Ovadnevaite, J., Pöhlker, M. L., Brito, J., Bougiatioti, A., Kristensson, A., Kalivitis, N., Stavroulas, I., Carbone, S., Jefferson, A., Park, M., Schlag, P., Iwamoto, Y., Aalto, P., Äijälä, M., Bukowiecki, N., Ehn, M., Frank, G., Fröhlich, R., Frumau, A., Herrmann, E., Herrmann, H., Holzinger, R., Kos, G., Kulmala, M., Mihalopoulos, N., Nenes, A., O'Dowd, C., Petäjä, T., Picard, D., Pöhlker, C., Pöschl, U., Poulain, L., Prévôt, A. S. H., Swietlicki, E., Andreae, M. O., Artaxo, P., Wiedensohler, A., Ogren, J., Matsuki, A., Yum, S. S., Stratmann, F., Baltensperger, U., and Gysel, M.: Long-term cloud condensation nuclei number concentration, particle number size distribution and chemical composition measurements at regionally representative observatories, *Atmos. Chem. Phys.*, **18**, 2853–2881, <https://doi.org/10.5194/acp-18-2853-2018>, 2018.
47. Schultz MG, Schröder S, Lyapina O, Cooper O, Galbally I, Petropavlovskikh I, et al. Tropospheric Ozone Assessment Report: Database and Metrics Data of Global Surface Ozone Observations. *Elem Sci Anth.* 2017;5:58. DOI: <http://doi.org/10.1525/elementa.244>
48. Sicard, M., D'Amico, G., Comerón, A., Mona, L., Alados-Arboledas, L., Amodeo, A., Baars, H., Baldasano, J. M., Belegante, L., Binietoglou, I., Bravo-Aranda, J. A., Fernández, A. J., Fréville, P., García-Vizcaíno, D., Giunta, A., Granados-Muñoz, M. J., Guerrero-Rascado, J. L., Hadjimitsis, D., Haefele, A., Hervo, M., Iarlori, M., Kokkalis, P., Lange, D., Mamouri, R. E., Mattis, I., Molero, F., Montoux, N., Muñoz, A., Muñoz Porcar, C., Navas-Guzmán, F., Nicolae, D., Nisantzi, A., Papagiannopoulos, N., Papayannis, A., Pereira, S., Preißler, J., Pujadas, M., Rizi, V., Rocadenbosch, F., Sellegri, K., Simeonov, V., Tsaknakis, G., Wagner, F., and Pappalardo, G.: EARLINET: potential operationality of a research network, *Atmos. Meas. Tech.*, **8**, 4587–4613, <https://doi.org/10.5194/amt-8-4587-2015>, 2015.
49. Smith, H. R., Ulanowski, Z., Kaye, P. H., Hirst, E., Stanley, W., Kaye, R., Stopford, C., Wieser, A., Kezoudi, M., Girdwood, J., and Greenaway, R.: The Universal Cloud and Aerosol Sounding System (UCASS): a low-cost miniature optical particle counter for use in dropsonde or balloon-borne sounding systems, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2019-70>, in review, 2019.
50. Tegen, I., Neubauer, D., Ferrachat, S., Siegenthaler-Le Drian, C., Bey, I., Schutgens, N., Stier, P., Watson-Parris, D., Stanelle, T., Schmidt, H., Rast, S., Kokkola, H., Schultz, M., Schroeder, S., Daskalakis, N., Barthel, S., Heinold, B., and Lohmann, U.: The aerosol-climate model ECHAM6.3-HAM2.3: Aerosol evaluation, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-2018-235>, accepted for publication in GMD, 2019.
51. Vinatier, V.; Wirgot, N.; Joly, M.; Sancelme, M.; Abrantes, M.; Deguillaume, L.; Delort, A.-M. 2016, Siderophores in cloud waters and potential impact in atmospheric chemistry. Part I: Production by microorganisms isolated at the puy de Dôme station, *Environmental Science and Technology*, **50**-17, 9315–9323, doi: 10.1021/acs.est.6b02335).

52. Vlastelic, Ivan; Suchorski, Krzysztof; Sellegri, Karine; et al., The high field strength element budget of atmospheric aerosols (puy de Dome, France), *Geochimica et Cosmochimica acta*, 167, 253-268, 2015
53. Wirgot, N., Vinatier, V., Deguillaume, L., Sancelme, M., and Delort, A.-M.: H₂O₂ modulates the energetic metabolism of the cloud microbiome, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 14841-14851, <https://doi.org/10.5194/acp-17-14841-2017>, 2017.
54. Yang, Y.; Fu, Y.; Lin, Q.; Jiang, F.; Lian, X.; Li, L.; Wang, Z.; Zhang, G.; Bi, X.; Wang, X.; Sheng, G. Recent Advances in Quantifying Wet Scavenging Efficiency of Black Carbon Aerosol. *Atmosphere* 2019, 10, 175.

Thèses utilisateurs 2015-2019

1. Amato Pierre, L'écosystème atmosphérique, HDR de l'Université Clermont Auvergne, 2017.
2. Bianco Angelica, Formation photoinduite du radical hydroxyle dans la phase aqueuse du nuage : impact sur les acides carboxyliques et les acides aminés, Thèse de l'Université Blaise Pascal, 2016.
3. Lallement Audrey, Impact des processus photochimiques et biologiques sur la composition chimique du nuage, Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2017.
4. Tav Jackie, Etude du dépôt de radionucléides par les gouttelettes de brouillards et de nuages sur les végétaux à partir d'expérimentations in-situ, Thèse de l'Université de Toulouse (INP - Institut National Polytechnique de Toulouse), 2017
5. Visser Auke J., Simulating nitrogen oxides chemistry in Europe using a complex chemistry scheme in WRF-Chem, MCS Thesis of Wageningen University and Research Centre, 2016
6. Wirgot Nolwenn, Etude du métabolisme microbien dans les nuages : réponse au stress et impact sur la chimie atmosphérique, Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2017
7. Zanatta Marco, The black carbon in european atmosphere: identification, transfert, deposition and impacts. Thèse de l'Université Grenoble Alpes, 2016.

Service Nationaux d'Observation

SNOV - OPGC

Production scientifique des **acteurs** du SNOV-OPGC (rang A) sur la période **2014-2018**

1. Bato, M.G., J.-L. Froger, AJL Harris, N Villeneuve, 2016, "Monitoring Effusive Eruptions at Piton de la Fournaise through synergy of Space-based Radar and Thermal Data: Insights into the October 2010 Eruption and its Lava Flows", In: Harris, A. J. L., De Groot, T., Garel, F. & Carn, S. A. (eds), *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society of London: Special Publications. 426, <http://doi.org/10.1144/SP426.30>
2. Bernard J., Kelfoun K., Le Pennec J.L., Vallejo Vargas S. (2014). Pyroclastic flow erosion and bulking processes: comparing field-based vs. modeling results at Tungurahua volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology* vol.76, p.858, DOI:10.1007/s00445-014-0858-y .
3. Bombrun M, Harris A, Gurioli L, Battaglia J, Barra V (2015) "Anatomy of a strombolian eruption: inferences from particle data recorded with thermal video" *Journal of Geophysical Research - Solid Earth* 120(4):2367-2387. DOI.10.1002/2014BO11556
4. Brothelande E., Lénat J.F., Normier A., Bacri C., Peltier A., Paris R., Kelfoun K., Merle O., Finizola A., Garaebiti E. (2015). Insights into the evolution of the Yenkahe resurgent dome (Siwi caldera, Tanna Island, Vanuatu) inferred from aerial high-resolution photogrammetry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* vol.299, p.78-90, DOI:10.1016/j.jvolgeores.2015.04.006 .
5. Cayol V., T. Catry, L. Michon, M. Chaput, V. Famin, O. Bodart, J. L. Froger, C. Romagnoli, *Sheared sheet intrusions as mechanism for lateral flank displacement on basaltic volcanoes:*

Application to Réunion Island volcanoes, J. Geophys. Res., 119, doi:10.1002/2014JB011139, 2014

6. Chevalier L., Donnadiou F., 2015. Considerations on ejection velocity estimation from infrared radiometer data: a case study at Stromboli volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 302:130-140.
7. Chevrel MO, Harris A, Ajas A, Biren J, Gurioli L, Calabrò L (2019) Investigating physical and thermal interactions between lava and trees: the case of Kilauea's July 1974 flow. *Bull Volcanol* 81:6. <https://doi.org/10.1007/s00445-018-1263-8>
8. Chevrel MO, Harris AJL, James M, Calabrò L, Gurioli L, Pinkerton H The viscosity of pāhoehoe lava: in situ syn-eruptive measurements from Kilauea, Hawaii *Earth science Planetary Letters*. 493, 161-17. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.028>
9. Colombier M, Gurioli L, Druitt TH, Shea T, Boivin P, Miallier D, Cluzel N (2017) Textural evolution of magma during the 9.4-ka trachytic explosive eruption at Kilian Volcano, Chaîne des Puys, France. *Bull Volcanol* (2017) 79(2):1-24. doi:10.1007/s00445-017-1099-7
10. Colombier M, Wadsworth FB, Gurioli L, Scheu B, Kueppers U, Di Muro A, Dingwel DB (2017) The evolution of pore connectivity in volcanic rocks. *Earth Planetary Science Letters* 462:99-109. DOI: 10.1016/j.epsl.2017.01.011
11. Coppola D, Villeneuve N, Di Muro A, Ferrazzini V, Peltier A, Favalli M, Bachèlery P, Gurioli L, Harris, Moune S, Vlastélic I, Galle B, Arellano S, Aiuppa (2017) A Shallow system rejuvenation and magma discharge trends at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island). *Earth and Planetary Science Letters* 463:13-24
12. Donnadiou F., Freville P., Hervier C., Coltelli M., Scollo S., Prestifilippo M., Valade S., Rivet S., Cacault P., 2016. Near-source Doppler radar monitoring of tephra plumes at Etna. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 312:26-39, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2016.01.009.
13. Doucelance R., Kelfoun K., Labazuy P., Bosq C. (2014). Geochemical insights into the internal dynamics of debris avalanches. A case study: the Socompa avalanche, Chile. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem* 15, 2282-2300. DOI:10.1002/2014GC005235 .
14. Freret-Lorgeril V., Donnadiou F., Eychenne J., Soriaux C., Latchimy T., 2019. In situ terminal settling velocity measurements at Stromboli volcano: Input from physical characterization of ash. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 374, 62-79.
15. Freret-Lorgeril V., Donnadiou F., Scollo S., Provost A., Fréville P., Guéhenneux Y., Hervier C., Prestifilippo M., Coltelli M., 2018. Mass eruption rates of tephra plumes during the 2011–2015 lava fountain paroxysms at Mt. Etna from Doppler radar retrievals. *Front. Earth Sci.* 6:73. doi: 10.3389/feart.2018.00073
16. Froger J. L., V. Cayol, V. Famin, The March-April 2007 eruption of Piton de la Fournaise as recorded by interferometric data, In: P. Bachèlery, Lénat, J.-F., Di Muro, A., Michon, L. (Editors), *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean: Piton de la Fournaise and Karthala. Active Volcanoes of the World.* Springer-Verlag Berlin and Heidelberg, 428p., ISBN 978-3-642-31394-3, 2016.
17. Froger J.-L., V. Famin V., V. Cayol, A. Augier, L. Michon; J-F Lénat, Time-dependent displacements during and after the April 2007 eruption of Piton de la Fournaise, revealed by interferometric data, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 296, p.55-68, doi:[10.1016/j.jvolgeores.2015.02.014](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.02.014), 2015.
18. Gailler L.S., Arcay D., Münch P., Martelet G., Thion I., (2017) – Depth to Curie temperature or magnetic sources bottom in the Lesser Antilles Arc volcanic area. *Tectonophysics*. 2017, 706-707, pp.71-90. <[10.1016/j.tecto.2017.03.014](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.03.014)>.
19. Gailler L.S., Kauahikaua J. (2018) – The Gravity signature of basaltic fill in Kilauea caldera, Island of Hawai'i. *GSA Books*.
20. Gailler L.S., Kauahikaua J., (2017) – Monitoring the freezing of the 1959 Kilauea Iki lava lake using surface magnetic measurements. *Bull. Volc.* <https://doi.org/10.1007/s00445-017-1119-7>.
21. Gailler L.S., Lénat J.F., Blakely R., (2016) – Depth to Curie temperature or magnetic sources bottom in the volcanic zone of La Réunion hot spot. *JVGR*, 324, p. 169-178; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.06.005>.
22. Gailler L.S., Marti A., Lénat J.F. (2018) – High resolution 3D modeling of the resistivity data of Plaine des Sables, Piton de la Fournaise (Réunion Island). *JVGR*, 356, 200–210, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.03.006>.
23. Gauthier, P.-J., Sigmarsson, O., Gouhier, M., Haddadi, B., and Moune, S. (2016), Elevated gas flux and trace metal degassing from the 2014–2015 fissure eruption at the Bárðarbunga volcanic system, Iceland, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2015JB012111.

24. Gouhier, M., Eychenne, J., Azzaoui, N., Guillin, A., Deslandes, M., Poret, M., ... & Husson, P. (2019). Low efficiency of large volcanic eruptions in transporting very fine ash into the atmosphere. *Scientific reports*, 9(1), 1449.
25. Gouhier, M., Y. *Guéhenneux, P. Labazuy, P. Cacault, J. *Decriem, and S. Rivet (2016), HOTVOLC: A web-based monitoring system for volcanic hot spots, in *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geol. Soc. London Spec. Publ., vol. 426, edited by A. J. L. Harris et al., doi: 10.1144/SP426.31.
26. Guéhenneux, Y., Gouhier, M., & Labazuy, P. (2015), Improved space borne detection of volcanic ash for real-time monitoring using 3-Band method. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 293, 25-45, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.01.005
27. Gueugneau V., Kelfoun K., Druitt T. (2019). Investigation of surge-derived pyroclastic flow formation by numerical modelling of the 25 June 1997 dome collapse at Soufrière Hills Volcano, Montserrat. *Bulletin of Volcanology* vol.81, p.25, DOI:10.1007/s00445-019-1284-Y .
28. Gueugneau V., Kelfoun K., Roche O., Chupin L. (2017). Effects of pore pressure in pyroclastic flows: Numerical simulation and experimental validation. *Geophysical Research Letters* vol.44, DOI:10.1002/2017GL072591 .
29. Gurioli, L., Di Muro, A., Vlastélic, I., Moune, S., et al., 2018, Integrating field, textural and geochemical monitoring to track eruptive triggers and dynamics : the case-study of Piton de la Fournaise. *Solid Earth*, 9, 431-455
30. Gurioli L, Colo' L, Bollasina AJ, Harris AJL, Whittington A, Ripepe M (2014) "Dynamics of strombolian explosions: inferences from inferences from field and laboratory studies of erupted bombs from Stromboli volcano" *Journal Geophysical Research*, 119(1), DOI:10.1002/2013JB010355
31. Gurioli L, D. Andronico, P. Bachelery, H. Balcone-Boissard, J. Battaglia, G. Boudon, A. Burgisser, S.B. M.R. Burton, K. Cashman, S. Cichy, R. Cioni, A. Di Muro, L. Dominguez, C. D'Oriano, T. Druitt, A.J.L Harris, M. Hort, K. Kelfoun, J.C. Komorowski, U. Kueppers, J.L. Le Pennec, T. Menand, R. Paris, L. Pioli, M. Pistolesi, M. Polacci, M. Pompilio, M. Ripepe, O. Roche, E. Rose-Koga, A. Rust, L. Scharff, F. Schiavi, R. Sulpizio, J. Taddeucci, T. Thordarson (2015) "MeMoVolc consensual document: a review of cross-disciplinary approaches to characterizing small explosive magmatic eruptions" *Bulletin of Volcanology* 77:49. DOI: 10.1007/s00445-015-0935-x
32. Gurioli L, Di Muro A, Vlastélic I, Moune S, Thivet S, Valer M, Villeneuve N, Boudoire G, Peltier A, Bachèlery P, Ferrazzini V., Métrich N, Benbakkar M, Cluzel N, Constantin C, Devidal J-L, Fonquernie C, Hénot J-M (2018) Integrating field, textural and geochemical monitoring to track eruption triggers and dynamics: a case-study from Piton de la Fournaise, *Solid Earth*, 9, 431-455, <https://doi.org/10.5194/se-9-1-2018>
33. Harris , A., Villeneuve, N., Di Muro, A., Ferrazzini, V., Peltier, A., Coppola, D., Favalli, M., Bachelery, P., Froger, J.L., Gurioli, L., Moune, S., Vlastélic, I., Galle, B., Arellano, S., 2017, Effusive crises at Piton de La Fournaise 2014-2015 : A review of a Multi-National Response Model. *Applied Volcanology*, 6:11, doi :10.1186/s13617-017-0062-9
34. Harris, A. J. L., O.M. Chevrel, D. Coppola, M.S. Ramsey, A. Hrysiewicz, S. Thivet, N. Villeneuve, M. Favalli, A. Peltier, P. Kowalski, A Di Muro, J-L Froger, L. Gurioli (2018) Validation of an integrated satellite-data-driven response to an effusive crisis: 2 the April – May 2018 eruption of Piton de la Fournaise, Special Issue: MeMoVolc, *Annals of Geophysics*, DOI: 10.4401/ag-7972
35. Harris, A., N. Villeneuve, A. Di Muro, V. Ferrazzini, A. Peltier, D. Coppola, M. Favalli, P. Bachèlery, J.-L. Froger, L. Gurioli, S. Moune, I. Vlastélic, B. Galle, and S. Arellano, Effusive crises at Piton de la Fournaise 2014–2015: a review of a multi-national response model. *Journal of Applied Volcanology*, (2017) 6:11, DOI 10.1186/s13617-017-0062-9
36. Harris A., Carn S., Dehn J., Del Negro C., Gudmundsson M.T., Cordonnier B., Barnie T., Chahi E., Calvari S., Catry T., De Groeve T., Coppola D., Davies A., Favalli M., Ferrucci F., Fujita E., Ganci G., Garel F., Huet P., Kauahikaua J., Kelfoun K., Lombardo V., Macedonio G., Pacheco J., Patrick M., Pergola N., Ramsey M., Rongo R., Sahy F., Smith K., Tarquini S., Thordarson T., Villeneuve N., Webley P., Wright R., Zaksek K. (2016). Conclusion: recommendations and findings of the RED SEED working group. p.567-648, *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*. Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F.&Carn, S. A. (eds), Geological Society, London, Special Publications, 426, The Geological Society of London (ed.), DOI:10.1144/SP426.11 .

37. Harris AJL, Chevrel MO, Coppola D, Ramsey M, Hrysiewicz A, Thivet S, Villeneuve N, Favalli M, Peltier A, Kowalski P, Di Muro A, Froger J-L, Gurioli L (2018) Validation of an integrated satellite-data-driven response to an effusive crisis: the April–May 2018 eruption of Piton de la Fournaise. *Annals of Geophysics*, 61, 2018; Doi: 10.4401/ag-7972
38. Harris AJL, Villeneuve N, Di Muro A, Ferrazzini V, Peltier A, Coppola D, Favalli M, Bachèlery P, Fogger J-L, Gurioli L, Moune S, Vlastélic I, Galle B, Arellano S (2017) Effusive Crises at Piton de la Fournaise 2014-2015: A Review of a Multi-National Response Model. *Applied Volcanology*, 6:11, DOI 10.1186/s13617-017-0062-9
39. Harris JLA, Rhéty M, Gurioli L, Villeneuve N, Paris R (2016) “Simulating the thermo-rheological evolution of channel-contained lava: FLOWGO and its implementation in EXCEL” From: Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F. & Carn, S. A. (eds) *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*. Geological Society, London, Special Publications, 426, <http://doi.org/10.1144/SP426.9>
40. Jordan, SC., J-L Le Pennec, L Gurioli, O Roche, P Boivin (2016) “Highly explosive eruption of the monogenetic 8.6 ka BP La Vache et Lassolas scoria cone complex (Chaîne des Puys, France)” *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 313:15–28
41. Kelfoun K., Gueugneau V., Komorowski J.C., Aisyah N., Cholikh N., Merciecca C. (2017). Simulation of block-and-ash flows and ash-cloud surges of the 2010 eruption of Merapi volcano with a two-layer model. *Journal of Geophysical Research - Solid Earth* vol.122, DOI:10.1002/2017JB013981 .
42. Kelfoun K., Vallejo Vargas S. (2015). VolcFlow capabilities and potential development for the simulation of lava flows. Testing a GIS for damage and evacuation assessment during an effusive crisis. vol.426, In : Harris, A., De Groeve, T., Garel, F., & Carn, S.A. (eds) *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society, London, Special Publications.
43. Kelfoun K. (2017). A two-layer depth-averaged model for both the dilute and the concentrated parts of pyroclastic currents. *Journal of Geophysical Research - Solid Earth* vol.122, DOI:10.1002/2017JB014013 .
44. Latutrie B, Harris A, Médard E, Gurioli L (2017) Emplacement and eruptive dynamics of a thick trachytic lava flow of the Sancy Volcano (France). *Bulletin of Volcanology* 79:4. DOI 10.1007/s00445-016-1084-6
45. Latutrie B., Andredakis I., De Groeve T., Harris A., Langlois E., Van Wyk De Vries B., Saubin E., Bilotta G., Cappello A., Crisci G.M., D'Ambrosio D., Del Negro C., Favalli M., Fujita E., Iovine G., Kelfoun K., Rongo R., Spataro W., Tarquini S., Coppola D., Ganci G., Marchese F., Pergola N., Tramutoli V. (2016). Testing a geographical information system for damage and evacuation assessment during an effusive volcanic crisis. p.649-672, *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*. Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F. & Carn, S. A. (eds), Geological Society, London, Special Publications, 426, The Geological Society of London, DOI:10.1144/SP426.19 .
46. Latutrie B., Andredakis I., De Groeve T., Harris A., Langlois E., Van Wyk De Vries B., Saubin E., Bilotta G., Cappello A., Crisci G., D'Ambrosio D., Del Negro C., Favalli M., Fujita E., Iovine G., Kelfoun K., Rongo R., Spataro W., Tarquini S., Coppola D., Ganci G., Marchese F., Pergola N., Tramutoli V. (2015). Testing a GIS for damage and evacuation assessment during an effusive crisis. vol.426, In: Harris, A., De Groeve, T., Garel, F., & Carn, S.A. (eds) *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society, London, Special Publications.
47. Leduc L, Gurioli L, Harris AJL, Colo' L, Rose-Koga E (2015) "Types and mechanisms of strombolian explosions: characterization of a gas-dominated explosion at Stromboli" *Bulletin of Volcanology* 77:8. DOI: 10.1007/s00445-014-0888-5
48. Paris R., Coello Bravo J.J., Martin Gonzalez M.E., Kelfoun K., Nauret F. (2017). Explosive eruption, flank collapse and megatsunami at Tenerife ca. 170 ka. *Nature Communications* vol.8, p.15246, DOI:10.1038/ncomms15246 .
49. Poret, M., Costa, A., Andronico, D., Scollo, S., Gouhier, M., & Cristaldi, A. (2018). Modeling Eruption Source Parameters by Integrating Field, Ground-Based, and Satellite-Based Measurements: The Case of the 23 February 2013 Etna Paroxysm. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(7), 5427-5450.
50. Rhéty M, Harris A, Villeneuve N, Gurioli L, Médard E, O. Chevrel, Bachèlery P (2017) A comparison of cooling-limited and volume-limited flow systems: Examples from channels in the Piton de la Fournaise April 2007 lava-flow field” *G-Cubed* 10.1002/2017GC006839

51. Robert B, Harris AJL, Gurioli L, Médard, E, Sehlke A, Whittington A (2014) "Textural and rheological evolution of basalt flowing down a lava channel" *Bulletin of Volcanology* 76:824, DOI: 10.1007/s00445-014-0824-8
52. Saubin, E., H Tuffen, L Gurioli, J Owen, J M Castro, K Berlo, E. M. McGowan, CI Schipper, K Wehbe (2016) "Conduit dynamics in transitional rhyolitic activity recorded by tuffi-Site vein textures from the 2008-2009 Chaitén eruption" *Frontiers in Earth Science* doi: 10.3389/feart.2016.00059
53. Smekens, J. F., & Gouhier, M. (2018), Observation of SO₂ degassing at Stromboli volcano using a hyperspectral thermal infrared imager. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.018.
54. Soldati A, Harris AJL, Gurioli L., Villeneuve N, Rhéty M, Gomez F., Whittington A (2018) Textural, Thermal and Topographic Constraints on Lava Flow System Structure: the December 2010 Eruption of Piton de La Fournaise. *Bulletin of Volcanology* 80: 74. <https://doi.org/10.1007/s00445-018-1246-9>
55. Tridon, M., V. Cayol, J-L. Froger, A. Augier, and P. Bachèlery, Inversion of coeval shear and normal stress of Piton de la Fournaise flank displacement, *Journal of Geophysical Research:Solid Earth*, doi: 10.1002/2016JB013330, 2016.
56. Ulvrova M., Paris R., Nomikou P., Kelfoun K., Leibrandt S., Tappin D.R., McCoy F.W. (2016). Source of the tsunami generated by the 1650 AD eruption of Kolumbo submarine volcano (Aegean Sea, Greece). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* vol.321, p.125-139, DOI:10.1016/j.jvolgeores.2016.04.034.
57. Ulvrová M., Paris R., Kelfoun K., Nomikou P. (2014). Numerical simulations of tsunami generated by underwater volcanic explosions at Karymskoye Lake (Kamchatka, Russia) and Kolumbo volcano (Aegean Sea, Greece). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14, 401-412.
58. Vlastélic I, Di Muro A, Bachèlery P, Gurioli L, Auclair D, Gannoun A.(2018) Control of source fertility on the eruptive activity of Piton de la Fournaise volcano, La Réunion. *Scientific Report 8:14478* | DOI:10.1038/s41598-018-32809-0
59. Vlastélic I, Gannoun A., Di Muro A., Gurioli L., Bachèlery P., Henot J.M. (2016) Origin and fate of sulfide liquids in hotspot volcanism (La Réunion): Pb isotope constraints from residual Fe–Cu oxides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 194, Pages 179-192

Production scientifique des **utilisateurs** du SNOV (rang A) sur la période **2014-2018**

1. *Beauducel F., and D. Carbone, 2015. A strategy to explore the topography-driven distortions in the tilt field induced by a spherical pressure source. The case of Mt. Etna, Geophys. J. Int., 201(3), 1471-1481, doi: 10.1093/gji/ggv076*
2. Benjamin J., Rosser N.J., Dunning S.A., Hardy R.J., Kelfoun K., Szczuciński W. (2018). Transferability of a calibrated numerical model of rock avalanche run-out: Application to 20 rock avalanches on the Nuussuaq Peninsula, West Greenland. *Earth Surface Processes and Landforms* DOI:10.1002/esp.4469 .
3. Catry, T., N Villeneuve, J.-L. Froger and G Maggio, 2016, "InSAR monitoring using RADARSAT-2 data at Piton de la Fournaise (La Reunion) and Karthala (Grande Comore) volcanoes", In: Harris, A. J. L., De Groeve, T., Garel, F. & Carn, S. A. (eds), *Detecting, Modelling and Responding to Effusive Eruptions*, Geological Society of London: Special Publications 426, <http://doi:10.1144/SP426.20>
4. Chaput, M., V. Pinel, V. Famin, L. Michon, and J.-L. Froger (2014), Cointrusive shear displacement by sill intrusion in a detachment: A numerical approach, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2013GL058813.
5. Chen Y., D. Remy, J.-L. Froger, A. Peltier, N. Villeneuve, J. Darrozes, H. Perfettini, S. Bonvalot (2017), Long-term ground displacement observations using InSAR and GNSS at Piton de la Fournaise volcano between 2009 and 2014. *Remote Sensing of Environment* 194 (2017) 230–247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.038>
6. Chen, Y.; Zhang, K.; Froger, J.-L.; Tan, K.; Remy, D.; Darrozes, J.; Peltier, A.; X., Feng; , H., Li; Villeneuve, N. Long-Term Subsidence in Lava Fields at Piton de la Fournaise Volcano Measured by InSAR: New Insights for Interpretation of the Eastern Flank Motion. *Remote Sens.* 2018, 10, 597. <https://doi.org/10.3390/rs10040597>
7. Conway, S., Wauthier, C., Fukushima, Y., & Poland, M. A retrospective look at the February 1993 east rift zone intrusion at Kīlauea volcano, Hawaii. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 358, 241-251, 2018.
8. Coppola, D., Di Muro, A., Peltier, A., Villeneuve, N., Ferrazzini, V., Favalli, M., Bachelery, P., Gurioli, L., Harris, A.J.L., Moune, S., Vlastelic, I., Galle, B., Arellano, S., 2017, Shallow system rejuvenation and

magma discharge trends at Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 463, 13-24.

9. Costard F., Séjourné A., Kelfoun K., Clifford S., Lavigne F., Di Pietro I., Bouley S. (2017). Modeling tsunami propagation and the emplacement of thumbprint terrain in an early Mars ocean. *Journal of Geophysical Research - Planets* vol.122, DOI:10.1002/2016JE005230 .
10. Doronzo DM, Khalaf E; Dellino P; de Tullio M; Dioguardi F; **Gurioli L**; Mele D; Pascazio G; Sulpizio R (2015) " Local impact of dust storms around a suburban building in arid and semi-arid regions: Numerical simulation examples from Dubai and Riyadh, Arabian Peninsula." *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9) DOI:10.1007/s12517-014-1730
11. Klein J, Mueller SP, Helo C, Schweitzer S, **Gurioli L**, Castro JM (2018) An expanded model and application of the combined effect of crystal-size distribution and crystal shape on the relative viscosity of magmas. *Journal Volcanology Geothermal Research*, 357, 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.018>.
12. Nomikou P., Druitt T., Hübscher C., Mather T.A., Paulatto M., Kalnins L.M., Kelfoun K., Papanikolaou D., Bejelou K., LaMPridou D., Pyle D.M., Carey S., Watts A.B., Weis B., Parks M.M. (2016). Post-eruptive flooding of Santorini caldera and implications for tsunami generation. *Nature Communications* vol.7, DOI:10.1038/ncomms13332 .
13. Özdemir Y., Akkaya I., Oyan U., Kelfoun K. (2016). A debris avalanche at Süphan stratovolcano (Turkey) and implications for hazard evaluation. *Bulletin of Volcanology* vol.78, p.9, DOI:10.1007/s00445-016-1007-6 .
14. Peltier A., J.-L. Froger, N. Villeneuve, T. Catry (2017) Assessing the reliability and consistency of InSAR and GNSS data for retrieving 3D displacement rapid changes, the example of the 2015 Piton de la Fournaise eruptions. *JVGR*. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.03.027>
15. Polacci M., de' Michieli Vitturi M., Arzilli F., Burton M.R., Caricchi L., Carr B., Cerminara M., Cimarelli C., Clarke A.B., Colucci S., Costa A., Degruyter W., Druitt T., Engwell S., Giordano D., Gurioli L., Haddadi B., Kendrick J., Kueppers U., Lamur A., La Spina G., Lavallee Y., Llewellyn E., Mader H.M., Metrich N., Montagna C., Neri A., Rivalta E., Saccorotti G., Sigmundsson F., Spina L., Taddeucci J., (2017) "From magma ascent to ash generation: investigating volcanic conduit processes by integrating experiments, numerical modelling and observations." *Annals of Geophysics* 60: 6, DOI: 10.4401/ag-7449.
16. Poret M., Corradini S, Merucci L., Costa A., Andronico D., Montopoli M., Vulpiani G., Freret-Lorgeril V., 2018. Reconstructing volcanic plume evolution integrating satellite and ground-based data: application to the 23 November 2013 Etna eruption. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 4695–4714, 2018.
17. Remy, D., Froger, J. L., Perfettini, H., Bonvalot, S., Gabalda, G., Albino, F., Cayol, V., Legrand, D., De Saint Blanquat, M., *Persistent uplift of the Lazufre volcanic complex (Central Andes): New insights from PCAIM inversion of InSAR time series and GPS data. Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15, DOI: 10.1002/2014GC005370, 2014.
18. Sahyoun, M., Freney, E., Brito, J., Duplissy, J., Gouhier, M., Colomb, A., ... & Petäjä, T. (2019). Evidence of new particle formation within Etna and Stromboli volcanic plumes and its parameterization from airborne in-situ measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.
19. Sehlke A, Whittington AG; Robert B; Harris A; Gurioli L; Médard E (2014) "Pahoehoe to `a`a transition of Hawaiian lavas: an experimental study" *Bulletin of Volcanology*, 76:876. DOI 10.1007/s00445-014-0876-9
20. Shea T, Hellebrand E, Gurioli L, Hugh T (2014) "Conduit- to localized-scale degassing during Plinian eruptions: Insights from major element and volatile (Cl and H₂O) analysis within Vesuvius AD79 pumice." *Journal of Petrology* 55(2):315-344, DOI:doi:10.1093/petrology/egt069
21. Smittarello, D., Cayol, V., Pinel, V., Peltier, A., Froger, J.-L., & Ferrazzini, V. *Magma propagation at Piton de la Fournaise from joint inversion of InSAR and GNSS. Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 1361– 1387. <https://doi.org/10.1029/2018JB016856> , 2019
22. Wauthier, C., Smets, B., & Keir, D. (2015). Diking-induced moderate-magnitude earthquakes on a youthful rift border fault: The 2002 Nyiragongo-Kalehe sequence, DR Congo. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16(12), 4280-4291.
23. Wauthier, C., V. Cayol, B. Smets, N. d'Oreye, F. Kervyn, *Magma pathways and their interactions inferred from InSAR and stress modeling at Nyamulagira Volcano, D.R. Congo, Remote Sensing*, 7, 15179-15202, doi:10.3390/rs71115179, 2015.

Zanella E, Sulpizio R, Gurioli L, Lanza R (2015) "Temperatures of the pyroclastic density currents deposits emplaced in the last 22 kyr at Somma-Vesuvius (Italy)" *Geological Society Special Publications*, Ort, M.H., Porreca M. & Geissman, J. W. (eds) 2015. "The Use of Palaeomagnetism and Rock Magnetism to Understand Volcanic Processes" *Geological Society, London, Special Publications*, 396:13–33

Annexe A: Production scientifique des acteurs du SNO (publications de rang A, conférences, thèses)

[Production pour laquelle le premier auteur appartient au service]

Publications de rang A

1. Rose Clémence, Brice Foucart, David Picard, Aurélie Colomb, Jean-Marc Metzger, Pierre Tulet, Karine Sellegri: New particle formation in the active volcanic plume of the Piton de la Fournaise: specific features from a long-term dataset, acp-2019-100, en révision mineures 2019.
2. Freney, E., Zhang, Y., Croteau, P., Amodeo, T., Williams, L., Truong, F., Petit, J.-E., Sciare, J., Sarda-Esteve, R., Bonnaire, N., Arumae, T., Aurela, M., Bougiatioti, A., Mihalopoulos, N., Coz, E., Artinano, B., Crenn, V., Elste, T., Heikkinen, L., Poulain, L., Wiedensohler, A., Herrmann, H., Priestman, M., Alastuey, A., Stavroulas, I., Tobler, A., Vasilescu, J., Zanca, N., Canagaratna, M., Carbone, C., Flentje, H., Green, D., Maasikmets, M., Marmureanu, L., Minguillon, M. C., Prevot, A.S.H., Gros, V., Jayne, J., Favez, O. (2019). The second ACTRIS inter-comparison (2016) for Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) : Calibration protocols and instrument performance evaluations. *Aerosol Science and Technology*. doi: 10.1080/02786826.2019.1608901
3. Foucart Brice, Karine Sellegri, Pierre Tulet, Clémence Rose, Jean-Marc Metzger, and David Picard, High occurrence of new particle formation events at the Maïdo high altitude observatory (2150 m), Reunion Island (Indian Ocean), *Atm. Chem. Phys.* 18, 9243-9261, 2018.
4. Farah, A., E. Freney, A. Chauvigne, J-L Baray, C. Rose, D. Picard, A. Colomb, D. Hadad, M. Abboud, W. Farah, and K. Sellegri : Seasonal variation of aerosol size distribution data at the Puy de Dôme station with emphasis on the boundary layer/ free troposphere ségrégation, *Atmosphere*, 9, 244; doi:10.3390/atmos9070244, 2018
5. Zhang, Y., O. Favez, F. Canonaco, D. Liu, G. Mocnik, T. Amodeo, J. Sciare, A.S.H. Prévôt, V. Gros, A. Albinet (2018): Evidence of major secondary organic aerosol contribution to lensing effect black carbon absorption enhancement. *Climate and Atmospheric Science*, 1(47), doi: 10.1038/s41612-018-005
6. Srivastava, D., O. Favez, N. Bonnaire, F. Lucarelli, M. Haeffelin, E. Perraudin, V. Gros, E. Villenave, A. Albinet (2018): Speciation of organic fraction does matter for source apportionment. Part 2: intensive short-term campaign in the Paris area (France). *Science of the Total Environment*, 634, 267-278, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.296 6-2
7. Petit J.-E., T. Amodeo, F. Meleux, B. Bessagnet, L. Menut, D. Grenier, Y. Pellan, A. Ockler, B. Rocq, V. Gros, J. Sciare, O. Favez (2017): Characterising an intense PM pollution episode in March 2015 in France from multi-Site approach and near real time data: climatology, variabilities, geographical origins and model evaluation. *Atmospheric Environment*, 155, 68-84, 2017
8. Rose, C., K. Sellegri, I. Moreno, F. Velarde, M. Ramonet, K. Weinhold, R. Krejci, M. Andrade, A. Wiedensohler, P. Ginot and P. Laj, CCN production by new particle formation in the free troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, doi:10.5194/acp-2016-696, 2017
9. Chauvigné A. , K. Sellegri, M. Hervo, N. Montoux, P. Freville, and P. Goloub, Comparison of the aerosol optical properties and size distribution retrieved by Sun photometer with in-situ measurements at mid-latitude, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 4569-4585, doi:10.5194/amt-9-4569-2016, 2016

Communications dans des conférences internationales

1. Farah A., E. Freney, J. Nicolas, M. Abboud, W. Farah and K. Sellegri: One year of on-line chemistry measurements of the non-refractory submicron aerosol at the Puy de Dome with an emphasis on air mass transport, free troposphere / boundary layer conditions, and organic aerosol sources, EAC Zurich 2017
2. Srivastava, D., Favez O., Bonnaire N., Perraudin E., Gros V., Lucarelli, Villenave E., Albinet A. Aerosols in Paris (France) A synergic approach to perform source apportionment of organic aerosol using offline and online measurements in Positive Matrix Factorization. American Aerosol Research AAAR, 16-20 October 2017, Raleigh, USA. Oral Presentation
3. Lanzafame G.-M., Srivastava D., Bonnaire N., Couvidat F., Favez O., Bessagnet B., Albinet A. **Modelling of SOA markers: simulation through detailed mechanisms and validation by**

- comparison with measurements. A new approach to understand SOA formation.** American Aerosol Research AAAR, 16-20 October 2017, Raleigh, USA. Oral Presentation
4. Albinet A., Tomaz S., Srivastava D., Lanzafame G.-M., Favez O., Jaffrezo J.-L., Bonnaire N., Gros V., Alleman Y., Lucarelli F., Perraudin E., Villenave E. **Understanding of the chemical processes involving nitro- and oxy-PAHs in ambient air and evaluation of SOA PAH contribution on PM via annual and intensive field campaigns.** American Aerosol Research AAAR, 16-20 October 2017, Raleigh, USA. Oral Presentation
 5. Srivastava, D., Favez O., Bonnaire N., Perraudin E., Gros V., Lucarelli F., Villenave E., Albinet A. Aerosols in Paris (France) A synergic approach to perform source apportionment of organic aerosol using offline and online measurements in Positive Matrix Factorization. European Aerosol Conference EAC, 27 August-01 September 2017, Zurich, Switzerland. Oral Presentation
 6. Srivastava, D., Favez O., Bonnaire N., Perraudin E., Gros V., Jaffrezo J.-L., Lucarelli, F., Villenave E., Albinet A. Comparison of Secondary Organic Carbon (SOC) estimates made using indirect techniques in Paris (France). European Aerosol Conference EAC, 27 August-01 September 2017, Zurich, Switzerland. Poster Presentation
 7. Foret G., Michoud V., Formenti P., Gratien A., Beekmann M., Peinado, F., Favez O., Haeffelin M., Dupont J.-C., Bodichon R., Gros V., Gherzi V., Meleux F., Xueref-Remi I. OCAPI collaborative platform: study of two particle pollution episodes in 2016 in Paris. EGU General Assembly Avril 2017, Vienna, Austria. Oral presentation,
 8. Srivastava, D., Favez O., Zhang Y., Bonnaire N., Daellenbach K.R., Chazeau B., Prevot A.S.H., El Haddad I., Perraudin E., Gros V., Villenave E., Albinet A. Source Apportionment of Organic Aerosols in Paris (France) Using Offline-AMS Analysis and Validation of Factors Through the Use of External Markers. American Aerosol Research AAAR, 17-21 October 2016, Portland, USA. Oral Presentation
 9. Srivastava, D., Favez O., Bonnaire N., Perraudin E., Gros V., Villenave E., Albinet A. Investigation of primary and secondary processes in the formation of oxy-PAHs and nitro-PAHs in Paris (France) by conjoining on-line and off-line measurements. American Aerosol Research AAAR, 17-21 October 2016, Portland, USA. Oral Presentation
 10. Zhang Y., Favez O., Gros V., Petit J.-E., Truong F., Amodeo T., Crenn V., Albinet A., Sciare J. 5-year continuous on-line monitoring of the submicron aerosol chemical composition at the SIRTAL-LSCE ACTRIS supersite (Paris area, France). European Aerosol Conference EAC, 6-11 September 2016, Tours, France. Oral Presentation
 11. Chauvigné Aurélien, Sellegri Karine, Hervo Maxime, Montoux Nadège, Freville Patrick, Goloub Philippe, Aliaga Diego, Velarde Fernando, Moreno Isabel, Andrade Marcos, Laj Paolo. Variation of the aerosols properties observed in the mixing layer and in the free troposphere from remote sensing and in-situ measurements performed at high altitude sites, EAC Tours, 2016
 12. Chauvigné, A., Sellegri K., Hervo M., Montoux N., Freville P., Goloub P., Aliaga D., Velarde F., Andrade M. and Laj P., Variation of the aerosols properties observed in the mixing layer and in the free troposphere from remote sensing and in-situ measurements performed at high altitude sites, EAC 2016, Tours

Thèses soutenues

1. Jean-Eudes PETIT - Compréhension des sources et des processus de formation de la pollution particulaire en région Ile de France. Thèse Ineris/LSCE de l'Université de Versailles Saint Quentin en Yveline, soutenue en octobre 2014.
2. Deepchandra SRIVASTAVA - Improving the discrimination of primary and secondary sources of organic aerosol: use of molecular markers and different approaches. Thèse Ineris-EPOC de l'Université de Bordeaux, soutenue en avril 2018.
3. Yunjiang ZHANG - Estimation multi-annuelle des sources d'aérosols organiques et de leurs propriétés d'absorption de la lumière en région parisienne. Thèse Ineris/LSCE de l'Université Paris Saclay, soutenue en février 2019.
4. Antoine Farah, « Propriétés de l'aérosol en Troposphère Libre », co-directrice de thèse Evelyn Freney (LaMP), bourse du Liban, thèse soutenue en décembre 2018
5. Brice Foucart, « Nucléation dans les panaches volcaniques », directions Pierre Tulet (LACy) –K. Sellegri (LaMP), Thèse de la Région Réunion, thèse soutenue en mai 2019
6. Aurélien Chauvigne, « Etude synergétique des propriétés optiques de l'aérosol mesurées in situ sur un site d'altitude et leur répartition verticale mesurée par LIDAR », directions K. Sellegri, N. Montoux (LaMP), financement MENRT, thèse soutenue en décembre 2016

Publications de rang A

1. M. Hulin, F. Gheusi, M. Lothon, V. Pont, F. Lohou, Observations of thermally-driven circulations in the Pyrenees: Comparison of detection methods and impact on atmospheric composition measured at a mountain top, *J. of Applied Meteorology and Climate*, doi: 10.1175/JAMC-D-17-0268.1, 2019.
2. Dommergue Aurelien, Pierre Amato, Romie Tignat-Perrier, Olivier Magand, Alban Thollot, Muriel Joly, Laetitia Bouvier, Karine Sellegri, Timothy Vogel, Jeroen E Sonke, Jean-Luc Jaffrezo, Marcos Andrade, Isabel Moreno, Casper Labuschagne, Lynwill Martin, Qiangong Zhang, Catherine Larose : Methods to investigate the global atmospheric microbiome, *Frontiers in Microbiology*, February 2019 | <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00243>
3. Bedoya-Velásquez, A. E., G. Titos, J. A. Bravo-Aranda, M. Haeffelin, O. Favez, J.-E. Petit, J. A. Casquero-Vera, F. J. Olmo, E. Montilla-Rosero, C. D. Hoyos, L. Alados-Arboledas, J. L. Guerrero-Rascado (2019): *Long-term aerosol optical hygrosopicity study at the SIRTA facility (Paris region, France): synergy between ceilometer and in-situ measurements*. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, doi: 10.5194/acp-2019-12.
4. Boichu, M., O. Favez, V. Riffault, C. Brogniez, J. Sciare, I. Chiapello, C. Lieven, S. Zhang, N. Pujol-Söhne, E. Tison, H. Delbarre, P. Goloub (2019): *Large-scale particulate air pollution and chemical fingerprint of volcanic sulfate aerosols from the 2014-15 Holuhraun flood lava eruption of Bardabunga volcano (Iceland)*. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, doi: 10.5194/acp-2019-228.
5. Collaud Coen, M, Elisabeth Andrews, Diego Aliaga, Marcos Andrade, Hristo Angelov, Nicolas Bukowiecki, Marina Ealo, Paulo Fialho, Harald Flentje, A. Gannet Hallar, Rakesh Hooda, Ivo Kalapov, Radovan Krejci, Neng-Huei Lin, Angela Marinoni, Jing Ming, Nhat Anh Nguyen, Marco Pandolfi, Véronique Pont, Ludwig Ries, Sergio Rodríguez, Gerhard Schauer, Karine Sellegri, Sangeeta Sharma, Junying Sun, Peter Tunved, Patricio Velasquez, and Dominique Ruffieux, Identification of topographic features influencing aerosol observations at High altitude stations, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 12289-12313, <https://doi.org/10.5194/acp-18-12289-2018>, 2018
6. Dall'Osto M., D.C.S. Beddows, A. Asmi, L. Poulain, L. Hao, E. Freney, J. D. Allan, M. Canagaratna, M. Crippa, F. Bianchi, G. de Leeuw, A. Eriksson, H. C. Hansson, J. S. Henzing, C. Granier, P. Laj, T. Onasch, A. Prevot, J. P. Putaud, K. Sellegri, E. Swietlicki, M. Vidal, A. Virtanen, K. Zemann, R. Simo, D. Worsnop, C. O'Dowd, M. Kulmala and Roy. M. Harrison: Novel Insights on New Particle Formation Derived from a Pan-European Observing System, *Nature Scientific Reports* 8, 1482, 2018.
7. Nieminen, Tuomo, Veli-Matti Kerminen, Tuukka Petäjä, Pasi Aalto, Mikhail Arshinov, Eija Asmi, Urs Baltensperger, David Beddows, Paul Beukes, Don Collins, Aijun Ding, Roy Harrison, Bas Henzing, Rakesh Hooda, Min Hu, Urmas Hörrak, Niku Kivekäs, Kaupo Komsaare, Radovan Krejci, Adam Kristensson, Lauri Laakso, Ari Laaksonen, Richard Leitch, Heikki Lihavainen, Nikolaos Mihalopoulos, Zoltán Németh, Wei Nie, Colin O'Dowd, Imre Salma, Karine Sellegri, Birgitta Svenningsson, Erik Swietlicki, Peter Tunved, Vidmantas Ulevicius, Ville Vakkari, Marko Vana, Alfred Wiedensohler, Zhijun Wu, Annele Virtanen, and Markku Kulmala, Global analysis of continental boundary layer new particle formation based on long-term measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 14737-14756, 2018 <https://doi.org/10.5194/acp-18-14737-2018>
8. Pandolfi Marco, Lucas Alados-Arboledas, Andrés Alastuey, Marcos Andrade, Begoña Artiñano, John Backman, Urs Baltensperger, Paolo Bonasoni, Nicolas Bukowiecki, Martine Collaud Coen, Sebastian Conil, Esther Coz, Vincent Crenn, Vadimas Dudoitis, Marina Ealo, Kostas Eleftheriadis, Olivier Favez, Prodromos Fefatzis, Markus Fiebig, Harald Flentje, Patrick Ginot, Martin Gysel, J.S. Bas Henzing, Andras Hoffer, Adela Holubova Smejkalova, Ivo Kalapov, Nikos Kalivitis, Giorgos Kouvarakis, Adam Kristensson, Markku Kulmala, Heikki Lihavainen, Chris Lunder, Krista Luoma, Hassan Lyamani, Angela Marinoni, Nikos Mihalopoulos, Marcel Moerman, José Nicolas, Colin O'Dowd, Tuukka Petäjä, Jean-Eudes Petit, Jean Marc Pichon, Nina Prokopciuk, Jean-Philippe Putaud, Sergio Rodríguez, Jean Sciare, Karine Sellegri, Dimiter B. Stamenov, Erik Swietlicki, Gloria Titos, Thomas Tuch, Peter Tunved, Vidmantas Ulevicius, Aditya Vaishya, Milan Vana, Aki Virkkula, Stergios Vratolis, Ernest Wein gartner, Alfred Wiedensohler, and Paolo Laj : A European aerosol

- phenomenology-6: Scattering properties of atmospheric aerosol particles from 28 ACTRIS sites, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 7877-7911, <https://doi.org/10.5194/acp-18-7877-2018>, 2018.
9. Sartelet, K.N., S. Zhu, S. Moukthar, M. André, J.-M. André, V. Gros, O. Favez, A. Brasseur, M. Redaelli (2018): Emission of semi-volatile organic compounds from traffic and their impact on secondary organic aerosol concentrations. *Atmospheric Environment*, 180, 126-137, doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.
 10. Schmale Julia, Silvia Henning, Stefano Decesari, Bas Henzing, Helmi Keskinen, Mikhail Paramonov, Karine Sellegri, Jurgita Ovadnevaite, Mira L. Pöhlker, Joel Brito, Aikaterini Bougiatioti, Adam Kristensson, Nikos Kalivitis, Iasonas Stavroulas, Samara Carbone, Anne Jefferson, Minsu Park, Patrick Schlag, Yoko Iwamoto, Pasi Aalto, Mikko Äijälä, Nicolas Bukowiecki, Mikael Ehn, Göran Frank, Roman Fröhlich, Arnoud Frumau, Erik Herrmann, Hartmut Herrmann, Rupert Holzinger, Gerard Kos, Markku Kulmala, Nikolaos Mihalopoulos, Athanasios Nenes, Colin O'Dowd, Tuukka Petäjä, David Picard, Christopher Pöhlker, Ulrich Pöschl, Laurent Poulain, André Prévôt, Erik Swietlicki, Meintrat O. Andreae, Paulo Artaxo, Alfred Wiedensohler, John Ogren, Atsushi Matsuki, Seong Soo Yum, Frank Stratmann, Urs Baltensperger, and Martin Gysel: Long-term cloud condensation nuclei number concentration, particle number size distribution, and chemical composition measurements at regionally representative observatories *MS acp-2017-798*, 2018
 11. Wiedensohler, A., A. Andrade; K. Weinhold; T. Müller; W. Birmili; F. Velarde; I. Moreno; R. Forno; M. F Sanchez; P. Laj; P. Ginot; D. N Whiteman; R. Krejci; K. Sellegri, and T. Reichler, « Black carbon émission and transport mechanisms to the free troposphere at the LaPaz/ElAlto (Bolivia) metropolitan area based on the Day of Census (2012), *Atmospheric Environment*, 94, 168-169, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.032>, 2018
 12. Bessagnet B., Menut L., Colette A., Couvidat F., Dan M., Mailler S., Létinois L., Pont V., Rouil L., An evaluation of the CHIMERE model to simulate dust outbreaks across the north Hemisphere in March 2014 *Atmosphere*, doi:10.3390/atmos8120251, 2017.
 13. Ciarelli, G., Aksoyoglu, S., El Haddad, I., Bruns, E. A., Crippa, M., Poulain, L., Äijälä, M., Carbone, S., Freney, E., O'Dowd, C., Baltensperger, U., and Prévôt, A. S. H.: Modelling winter organic aerosol at the European scale with CAMx: evaluation and source apportionment with a VBS parameterization based on novel wood burning smog chamber experiments, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 7653-7669, <https://doi.org/10.5194/acp-17-7653-2017>, 2017.
 14. Drinovec L., A. Gregorič, P. Zotter, R. Wolf, E. A. Bruns, A. S. H. Prévôt, J.-E. Petit, O. Favez, J. Sciare, I. J. Arnold, R. K. Chakrabarty, H. Moosmüller, A. Filep, G. Močnik. The filter loading effect by ambient aerosols in filter absorption photometers depends on the coating of the sampled particles. *Atmospheric Measurement Techniques*, doi: 10.5194/amt-2016-285, 2017
 15. Kontkanen, J., Lehtipalo, K., Ahonen, L., Kangasluoma, J., Manninen, H. E., Hakala, J., Rose, C., Sellegri, K., Xiao, S., Wang, L., Qi, X., Nie, W., Ding, A., Yu, H., Lee, S., Kerminen, V.-M., Petäjä, T., and Kulmala, M.: Measurements of sub-3 nm particles using a particle size magnifier in different environments: from clean mountain top to polluted megacities, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 2163-2187, <https://doi.org/10.5194/acp-17-2163-2017>, 2017.
 16. Petit J.-E., T. Amodeo, F. Meleux, B. Bessagnet, L. Menut, D. Grenier, Y. Pellan, A. Ockler, B. Rocq, V. Gros, J. Sciare, O. Favez (2017): *Characterising an intense PM pollution episode in March 2015 in France from multi-Site approach and near real time data: climatology, variabilities, geographical origins and model evaluation*. *Atmospheric Environment*, 155, 68-84
 17. Schmale J. et al., Collocated observations of cloud condensation nuclei, particle size distributions, and chemical composition, *SCIENTIFIC DATA*, 4:170003 | DOI: 10.1038/sdata.2017.3, 2017
 18. Alastuey, A., Querol, X., Aas, W., Lucarelli, F., Pérez, N., Moreno, T., Cavalli, F., Areskou, H., Balan, V., Catrambone, M., Ceburnis, D., Cerro, J.C., Conil, S., Gevorgyan, L., Hueglin, C., Imre, K., Jaffrezo, J.-L., Leeson, S.R., Mihalopoulos, N., Mitisinkova, M., O'Dowd, C.D., Pey, J., Putaud, J.-P., Riffault, V., Ripoll, A., Sciare, J., Sellegri, K., Spindler, G., Yttri, K.E., 2016. Geochemistry of PM10 over Europe during the EMEP intensive measurement periods in summer 2012 and winter 2013. *Atmos Chem Phys* 16, 6107–6129. <https://doi.org/10.5194/acp-16-6107-2016>
 19. Berger, A., C. Barbet, M. Leriche, L. Deguillaume, C. Mari, N. Chaumerliac, N. Bègue, P. Tulet, D. Gazen, J. Escobar 2016, Evaluation of Meso-NH and WRF/CHEM simulated gas and aerosol chemistry over Europe based on hourly observations, *Atmospheric Research*, 176-177, 43-63, doi: 10.4209/aaqr.2015.05.0342.

20. Cavalli, F., Alastuey, A., Areskou, H., Ceburnis, D., Čech, J., Genberg, J., Harrison, R.M., Jaffrezo, J.L., Kiss, G., Laj, P., Mihalopoulos, N., Perez, N., Quincey, P., Schwarz, J., Sellegri, K., Spindler, G., Swietlicki, E., Theodosi, C., Yttri, K.E., Aas, W., Putaud, J.P., 2016. A European aerosol phenomenology -4: Harmonized concentrations of carbonaceous aerosol at 10 regional background sites across Europe. *Atmos. Environ.* 144, 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.07.050>
21. Ciarelli, G., Aksoyoglu, S., Crippa, M., Jimenez, J.-L., Nemitz, E., Sellegri, K., Äijälä, M., Carbone, S., Mohr, C., O'Dowd, C., Poulain, L., Baltensperger, U., Prévôt, A.S.H., 2016. Evaluation of European air quality modelled by CAMx including the volatility basis set scheme. *Atmos Chem Phys* 16, 10313–10332. <https://doi.org/10.5194/acp-16-10313-2016>
22. Dupont J.C., M. Haeffelin, J. Badosa, T. Elias, O. Favez, J.-E. Petit, F. Meleux, J. Sciare, V. Cremon, J.-L. Bonne: Role of the boundary layer dynamics effects on an extreme air pollution event in Paris. *Atmospheric Environment*, 141, 571-579, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.06.061, 2016
23. Kiendler-Scharr, A., Mensah, A.A., Friese, E., Topping, D., Nemitz, E., Prevot, A.S.H., Äijälä, M., Allan, J., Canonaco, F., Canagaratna, M., Carbone, S., Crippa, M., Dall'Osto, M., Day, D.A., De Carlo, P., Di Marco, C.F., Elbern, H., Eriksson, A., Freney, E., Hao, L., Herrmann, H., Hildebrandt, L., Hillamo, R., Jimenez, J.L., Laaksonen, A., McFiggans, G., Mohr, C., O'Dowd, C., Otjes, R., Ovadnevaite, J., Pandis, S.N., Poulain, L., Schlag, P., Sellegri, K., Swietlicki, E., Tiitta, P., Vermeulen, A., Wahner, A., Worsnop, D., Wu, H.-C., 2016. Ubiquity of organic nitrates from nighttime chemistry in the European submicron aerosol. *Geophys. Res. Lett.* 43, 2016GL069239. <https://doi.org/10.1002/2016GL069239>
24. Zanutta, M., Gysel, M., Bukowiecki, N., Müller, T., Weingartner, E., Areskou, H., Fiebig, M., Yttri, K. E., Mihalopoulos, N., Kouvarakis, G., Beddows, D., Harrison, R. M., Cavalli, F., Putaud, J. P., Spindler, G., Wiedensohler, A., Alastuey, A., Pandolfi, M., Sellegri, K., Swietlicki, E., Jaffrezo, J. L., Baltensperger, U. and Laj, P.: A European aerosol phenomenology-5: Climatology of black carbon optical properties at 9 regional background sites across Europe, *Atmos. Environ.*, 145, 346–364, doi:10.1016/j.atmosenv.2016.09.035, 2016.

Utilisateurs sans auteurs appartenant au SNO (dont nous avons connaissance)

1. Fanourgakis, G. S., Kanakidou, M., Nenes, A., Bauer, S. E., Bergman, T., Carslaw, K. S., Grini, A., Hamilton, D. S., Johnson, J. S., Karydis, V. A., Kirkevåg, A., Kodros, J. K., Lohmann, U., Luo, G., Makkonen, R., Matsui, H., Neubauer, D., Pierce, J. R., Schmale, J., Stier, P., Tsigaridis, K., van Noije, T., Wang, H., Watson-Parris, D., Westervelt, D. M., Yang, Y., Yoshioka, M., Daskalakis, N., Decesari, S., Gysel Beer, M., Kalivitis, N., Liu, X., Mahowald, N. M., Myriokefalitakis, S., Schrödner, R., Sfakianaki, M., Tsimpidi, A. P., Wu, M., and Yu, F.: Evaluation of global simulations of aerosol particle number and cloud condensation nuclei, and implications for cloud droplet formation, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2018-1340>, under review, 2019
2. Tegen, I., Neubauer, D., Ferrachat, S., Siegenthaler-Le Drian, C., Bey, I., Schutgens, N., Stier, P., Watson-Parris, D., Stanelle, T., Schmidt, H., Rast, S., Kokkola, H., Schultz, M., Schroeder, S., Daskalakis, N., Barthel, S., Heinold, B., and Lohmann, U.: The aerosol-climate model ECHAM6.3-HAM2.3: Aerosol evaluation, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-2018-235>, accepted for publication in GMD, 2019.
3. Qi, L., Li, Q., He, C., Wang, X., and Huang, J.: Effects of the Wegener–Bergeron–Findeisen process on global black carbon distribution, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 7459–7479, <https://doi.org/10.5194/acp-17-7459-2017>, 2017.
4. Mihaela Mircea, Bertrand Bessagnet Massimo D'Isidoro, Guido Pirovano, Sebnem Aksoyoglu, Giancarlo Ciarelli, Svetlana Tsyro, Astrid Manders, Johannes Bieser, Rainer Stern, Marta García Vivanco, Cornelius Cuvelier, Wenche Aas, André S. H. Prévôt, Armin Aulinger, Gino Briganti, Giuseppe Calori, Andrea Cappelletti, Augustin Colette, Florian Couvidat, Hilde Fagerli, Sandro Finardi¹, Richard Kranenburg, Laurence Rouil, Camillo Silibello, Gerald Spindler, Laurent Poulain, Jose L. Jimenez, Petri Tiitta, Samara Carbone⁺The EURODELTA III exercise: an evaluation of air quality models' capacity to reproduce the carbonaceous aerosol, *Atmospheric Environment*.

Production scientifique des acteurs (publications de rang A, conférences, thèses)**Papers**

1. Tweed S., Celle-Jeanton H., Cabot L., Huneau F., De Montety V., Nicolau N., Travi Y., Babic M., Aquilina L., Vergnaud-Ayraud V., Leblanc M. 2017. Impact of irrigated agriculture on groundwater resources in a temperate humid region. *Science of the Total Environment*, Elsevier, 2018, 613-614, pp.1302 – 1316. [doi :<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.156>]
2. Mohammed N., Celle-Jeanton H., Huneau F., P. Le Coustumer, G. Bertrand, V. Lavastre, Charrier G., Clauzet M.L. (sous presse) Isotopic and geochemical identification of main groundwater supply sources to an alluvial aquifer, the Allier River valley (France). *Journal of Hydrology (IF 2.656)*, 508, 181-196. [doi: [10.1016/j.jhydrol.2013.10.051](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.051)]
3. Celle-Jeanton H., Schemberg D., Mohammed N., Huneau F., Le Coustumer P. Evaluation of pharmaceuticals in Surface Water: reliability of PECs compared to MECs. *Environment International (IF 6.022)*, 73C:10-2. [doi: [10.1016/j.envint.2014.06.015](https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.06.015)]

Conferences

1. Quenet M., Celle-Jeanton H., Beauger A., Voldoire O., Huneau F., Allain E., Garreau A., Peiry J.L. 2018. Geochemical and isotopic approach to assess fluvial annex – groundwater relationships in an agricultural environment: example of the Auzon oxbow (Allier River, Auvergne, France). *European Geophysical Union, Vienne, Autriche, 8-13/04/2018*.
2. Celle-Jeanton H., Mailhot G., Devidal J.L., Huneau F., Garel E., Clauzet M.L. 2017. Long term chronicles of water physico-chemistry to assess human pressures and climate changes (AUVERWATCH project). *International Long Term Ecological Research Network & LTER-France (Zones Ateliers Network & Critical Zone Observatories) joint conference, Nantes, France, 2-4/10/2017*.
3. Celle-Jeanton H., Mailhot G., Devidal J.L., Huneau F., Garel E., Clauzet M.L. 2017. Long term chronicles of water physico-chemistry to assess human pressures and climate changes (AUVERWATCH project). *44th IAH Congress, Dubrovnik, Croatie, 25-29/09/2017*.
4. Tweed S., Celle-Jeanton H., De Montety V., Travi Y., Aquilina L. Vergnaud-Ayraud V., Nicolau N., Huneau F., Leblanc M. (2016). Impacts of irrigation on groundwater recharge, mixing and quality: sandy aquifer of the Limagne Bourbonnaise (central France). *43rd IAH Congress, Montpellier, France, 25-29/09/2016*.
5. Celle-Jeanton H., Devidal J.L., Mailhot G., Garel E., Huneau F., Clauzet M.L. (2016). The long-term hydrological research site AUVER-WATCH (Allier hydrosystem, France): promoting interdisciplinary research into alluvial aquifers. *35th International Geological Congress, Cape Town, Afrique du Sud, 27/08-04/09/2016*
6. Celle-Jeanton H., Devidal J.L., Bertrand G., Lavastre V., Huneau F., Garel E., Clauzet M.L. (2015). AUVER-WATCH (AUVERgne-Water-Chemistry): an experimental site for researcher and water managers. First two years results of the chemical, isotopic and contaminants long term monitoring. *IAH 2015 Hydrogeology: Back to the future, Rome, Italy, 13-18/09/2015*.
7. Celle-Jeanton H., Mohammed N., Huneau F. Lavastre V., LeCoustumer P., Clauzet M.L. (2014). A combine approach of chemical, isotopic and microbial tracers to determine the origin of nitrates in an alluvial aquifer. Case study of the Allier alluvial system, France. *41st International Association of Hydrogeologists Congress (IAH), Marrakech, Morocco, 15-19/09/2014*.
8. Celle-Jeanton H., Mohammed N., Huneau F., Le Coustumer P., Bertrand G., Lavastre V. (2013). Pharmaceuticals evaluation in surface water and groundwater: PEC (Predicted Environmental Concentration) vs concentrations measured. Case study of the Allier River and its connected alluvial system (Massif Central, France). *40th International Association of Hydrogeologists Congress (IAH), Perth, Australia, 15-20/09/2013*.
9. Mohammed N., Celle-Jeanton H., Batisson I., Bardot C., Colombet J., Huneau F., Le Coustumer P., Clauzet M.L., Lavastre V. (2013). Integrated characterization of groundwater contamination in an alluvial system. Case study of Allier alluvial aquifer (Massif Central, France). *EGU General Assembly 2013, Vienna, Austria, 7-12/04/2013*.
10. Mohammed N., Celle-Jeanton H., Huneau F., Le Coustumer P., Clauzet M.L. (2012). First evaluation of pesticides and pharmaceuticals in the alluvial aquifer of the Allier River (Massif Central, France). *39th International Association of Hydrogeologists Congress (IAH), Niagara Falls, Canada, 16-21/09/2012*.

11. Mohammed N., Celle-Jeanton H., Huneau F., Le Coustumer P. (2012). Assessment of groundwater quality and origin within the alluvial aquifer of the Allier River (Massif Central, France). *34th International Geological Congress (IGC)*, Brisbane, Australia, 5-10/08/2012.
12. Mohammed N., Celle-Jeanton H., Huneau F., Le Coustumer P., Lavastre V., Bertrand G. (2012). Spatial hydrochemical and isotopic variations within the alluvial aquifer of the Allier River (Massif Central, France). *EGU General Assembly 2012*, Vienna, Austria, 22 – 27 April 2012, *Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-8192*.

Technical reports, national conference and publications

1. Celle-Jeanton H., Nicolau N., Gmyr M., Mailhot G., Devidal J.L., Huneau F., Garel E., Clauzet M.L., Siméon O. (2017). Présentation des réseaux DREAL Auvergne Rhône-Alpes et AUVERWATCH (AUVERgne WATER CHEmistry) dédiés au suivi de la contamination en nitrates et de la qualité des eaux de la nappe alluviale de l'Allier (Auvergne, France). *Géologues Les observatoires et bases de données en eaux souterraines, n°195, 89-95, ISSN0016.7916*
2. Celle-Jeanton H. (2017). Rapport AELB 2014-2016. Projet RESEAU (AUVER-WATCH. Rapport final 2014-2016. Rapport technique destiné à l'usage des financeurs du projet : Agence de l'Eau Loire Bretagne, Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la ville de Clermont-Ferrand.
3. Tweed S., Celle-Jeanton H., Cabot L., Huneau F., De Montety V., Nicolau N., Travi Y., Babic M., Aquilina L., Vergneaud-Ayraud V., Leblanc M., Oliosio A., Bahir M., Velluet C. 2017. Impacts de l'irrigation sur le renouvellement, l'origine et la qualité des eaux souterraines. Aquifère des sables de la Limagne Bourbonnaise (France). Rapport technique destiné à la DREAL Auvergne Rhône-Alpes.
4. Celle-Jeanton H. (2014). Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de l'Allier, au niveau du champ captant de Cournon-Dallet-Mezel. Analyse multicritères (hydrodynamique, hydrochimique, géophysique et biologique). Rapport technique destiné à l'usage des financeurs du projet : Plan Loire Grandeur Nature, Agence de l'Eau Loire Bretagne, Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la ville de Clermont-Ferrand.
5. Celle-Jeanton H. (2015). Réunion d'échanges-Acteurs de l'eau en Bourgogne Franche-Comté. Retour d'expérience sur l'hydrosystème Allier et projets sur les systèmes karstiques régionaux. *Séminaire à l'UMR Chrono-environnement, Université de Franche-Comté, Besançon, 16 décembre 2015*.
6. Celle-jeanton H. (2015). Rôle des aquifères dans le fonctionnement des milieux aquatiques. Un exemple d'étude interdisciplinaire : l'hydrosystème Allier. *Séminaire à l'UMR Chrono-environnement, Université de Franche-Comté, Besançon, 13 avril 2015*.
7. Celle-Jeanton H. (2014). Médicaments : ce qu'on ingère, ce qu'on rejette. Minute de la recherche de l'Université de Clermont-Ferrand 2 + CNRS Hebdo du 08/01/2015.
8. Peiry J.L., Beauger A., Celle-Jeanton H., Voltaire O., Casado A. (2014). SOHAL : système d'observation d'une annexe hydraulique de l'Allier. *Semaine de la Recherche : Journées CPER : 7 années de recherche en Auvergne, 8 décembre 2014*.
9. Celle-Jeanton H. (2012). Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de l'Allier, à partir d'une analyse multicritères (hydrodynamique, hydrochimique, géophysique et biologique). Présentation des résultats préliminaires. *Plan Loire Grandeur Nature, 16^{ème} réunion de la Plateforme Recherche Données Informations, Bruxelles, Belgique, 30-31 Juin 2012*.
10. Mohammed N., Celle-Jeanton H. (2011). Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de l'Allier au niveau du champ captant de Cournon-Dallet-Mezel. Une analyse multicritère : géologique, hydrodynamique, hydrochimique, biologique. Présentation du projet. *Plan Loire Grandeur Nature, 14^{ème} journée des jeunes chercheurs, Angers, 21 novembre 2011*.

Regional technical conference dedicated to aquifer managers

Celle-Jeanton H. (2017). Intérêt de la mise en place de sites d'expérimentation et de protocoles d'échantillonnage/analyses dans la compréhension des hydrosystèmes sédimentaires. Journée technique à destination des acteurs de l'eau en région Rhône-Alpes Auvergne, Cournon d'Auvergne, le 11/07/2017.

Post-doctorates

Mélanie QUENET, 2017-2018 (12 mois). Bourse de la Région Auvergne, CPER SYMBIOSE 2015/2020. Qualité des aquifères alluviaux en Auvergne : impact des polluants agricoles sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques. Direction. Post-doctorat en cours.

Sarah TWEED-LEBLANC 2015-2017 (12 mois), bourse de la Région Auvergne, CPER SYMBIOSE 2015/2020. Impacts de l'irrigation sur la recharge, le mélange et la qualité des eaux souterraines :

aquifère sableux de la Limagne Bourbonnaise. Direction. Situation actuelle : Chercheur IRD Montpellier.

PhD

Mohammed N. Investigating the behavior of alluvial systems, thanks to the classical, isotopic and emerging tracers. Case study of the alluvial aquifer of the Allier River (Auvergne, France). Université de Bordeaux, soutenue le 19/05/2014.

Master reports

Bezraud M., Cardoso P.E., Coperey A. (2014). Reconnaissance des paléochenaux de l'Allier à partir de mesures géophysiques. Mémoire de Master 2 Professionnel Géologie de l'Aménagement, Université de Clermont-Ferrand 2.

Hamm M., Rougé, A.C. (2013). Estimation du bilan hydrologique du bassin de la rivière Allier et projet d'aménagement hydraulique. Mémoire de Master 2 Professionnel Géologie de l'Aménagement, Université de Clermont-Ferrand 2.

Kovalcikova K., Rubio G. (2013). Impact du ruisseau des Assats sur la qualité de l'eau pompée dans le champ captant de la ville de Clermont-Ferrand. Mémoire de Master 2 Professionnel Géologie de l'Aménagement, Université de Clermont-Ferrand 2.

Briche A., Duvert A., Ilboudo V. (2012). Estimation du potentiel aquifère de la nappe alluviale de l'Allier à partir de mesures géophysiques (électriques et radar). Mémoire de Master 2 Professionnel Géologie de l'Aménagement, Université de Clermont-Ferrand 2.

Production scientifique des utilisateurs (publications de rang A, conférences, thèses)

[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

Papers

Dumas E., Giraudo M., Goujon E., Halma M., Khili E., Stauffert M., Batisson I., Besse-Hoggan P., Bohatier J., Bouchard P., Celle-Jeanton H., Costa Gomes M., Delbac F., Forano C., Goupil P., Guix N., Husson P., Ledoigt G., Mallet C., Mousty C., Prévot V., Richard C., Sarraute S. 2017. Fate and ecotoxicological impact of new generation herbicides from the triketone family: An overview to assess the environmental risks. J Hazard Mater. 2017 Mar 5; 325:136-156. [doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.11.059]. Epub 2016 Nov 21.

Services d'Observation OPGC

PUYCLOUD

Production scientifique des acteurs

Articles

1. Bianco A., Deguillaume, L., Vaïtilingom, M., Nicol, E., Baray, J.-L., Chaumerliac, N., M. Bridoux: Molecular Characterization of Cloud Water Samples Collected at the Puy de Dôme (France) by Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry, Environmental Science & Technology 2018 52 (18), 10275-10285, DOI: 10.1021/acs.est.8b01964, 2018.
2. Bianco A., Deguillaume, L., Chaumerliac, N., Vaïtilingom, M., Wang, M., Delort, A.-M., Bridoux, M. : Effect of endogenous microbiota on the molecular composition of cloud water: a study by Fourier-transform ion cyclotron resonance mass spectrometry (FT-ICR MS), accepté à Scientific Reports, 2019.
3. Bianco, A., Passananti, M., Deguillaume, L., Mailhot, G., Brigante, M.: Tryptophan and tryptophan-like substances in cloud water: Occurrence and photochemical fate, Atmospheric Environment, 137, 53-61, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.04.034, 2016.
4. Bianco, A., Passananti, M., Perroux, H., Voyard, G., Mouchel-Vallon, C., Chaumerliac, N., Mailhot, G., Deguillaume, L., Brigante, M.: A better understanding of hydroxyl radical photochemical sources in cloud waters collected at the puy de Dôme station – experimental versus modelled formation rates, Atmospheric Chemistry and Physics, doi:10.5194/acp-15-9191-2015, 2015.

- Bianco, A., Vaïtilingom, M., Bridoux, M., Chaumerliac, N., Pichon, J.-M., Piro, J.-L., Deguillaume, L.: Trace metals in cloud water sampled at the puy de Dôme station, *Atmosphere*, 8, 225, 2017.
- Bianco, A., Voyard, G., Deguillaume, L., Mailhot, G., Brigante, M.: Improving the characterization of dissolved organic carbon in cloud water: Amino acids and their impact on the oxidant capacity, *Scientific Reports*, 6, 37420, 2016 doi:10.1038/srep37420, 2016.
- Deguillaume, L., Charbouillot, T., Joly, M., Vaïtilingom, M., Parazols, P., Marinoni, A., Amato, P., Delort, A.-M., Vinatier, V., Flossmann, A., Chaumerliac, N., Pichon, J.-M., Houdier, S., Laj, P., Sellegri, K., Colomb, A., Brigante, M., Mailhot, G. : Classification of clouds sampled at the puy de Dôme (France) based on 10 yr of monitoring of their physicochemical properties, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 1485-1506, 2014.
- Rose, C., Chaumerliac, N., Deguillaume, L., Perroux, H., Mouchel-Vallon, C., Leriche, M., Patryl, L., and Armand, P.: Modeling the partitioning of organic chemical species in cloud phases with CLEPS (1.1), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 2225-2242, <https://doi.org/10.5194/acp-18-2225-2018>, 2018.

Thèses

- Perroux Hélène, Modélisation des processus bio-physico-chimiques du milieu nuageux : devenir de la matière organique, Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2018.
- Wang Miao, Etude des composés organiques volatiles (COV) dans l'atmosphère nuageuse au sommet du Puy de Dôme : partition air/goutte des COV et impact sur la chimie atmosphérique, Thèse de l'Université Clermont Auvergne en cours (début en 2016).

Production scientifique des utilisateurs

Articles

- Amato, P., Besaury, L., Joly, M., Penaud, B., Deguillaume, L., and Delort, A.-M.: Metatranscriptomic exploration of microbial functioning in clouds, *Scientific Reports*, 9, 4383, 10.1038/s41598-019-41032-4, 2019.
- Amato, P., Joly, M., Besaury, L., Oudart, A., Taib, N., Moné, A.I., Deguillaume, L., Delort, A.-M., Debross, D.: Active microorganisms thrive among extremely diverse communities in cloud water, *PLoS ONE* 12(8): e0182869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182869>, 2017.
- Joly, M., Amato, P., Sancelme, M., Vinatier, V., Abrantes, M., Deguillaume, L., Delort, A.-M. : Survival of cloud microbial isolates to atmospheric stress factors, *Atmospheric Environment*, 117, 92-98, 2015.
- Jousse, C., Dalle, C., Canet, I., Lagrée, M., Traïkia, M., Lyan, M., Mendes, C., Sancelme, M., Amato, P., Delort, A.M.: Metabolomic study of the response to cold shock in a strain of *Pseudomonas syringae* isolated from cloud water, *Metabolomics*, 14-11. <https://doi.org/10.1007/s11306-017-1295-7>, 2018.
- Lallement, A., Besaury, L., Eyheraguibel, B., Amato, P., Sancelme, M., Mailhot, G., Delort, A.-M.: Draft Genome Sequence of *Rhodococcus enclensis* 23b-28, a Model Strain Isolated from Cloud Water, *Genome Announcement*, 5-43, e01199-17; DOI: 10.1128/genomeA.01199-17, 2017.
- Lallement, A., Besaury, L., Tixier, E., Sancelme, M., Amato, P., Vinatier, V., Canet, I., Polyakova, O. V., Artaev, V. B., Lebedev, A. T., Deguillaume, L., Mailhot, G., and Delort, A.-M.: Potential for phenol biodegradation in cloud waters, *Biogeosciences*, 15, 5733-5744, <https://doi.org/10.5194/bg-15-5733-2018>, 2018.
- Lallement, A., Vinatier, V., Brigante, M., Deguillaume, L., Delort, A.-M., Mailhot, G.: First evaluation of the effect of microorganisms on steady state hydroxyl radical concentrations in atmospheric waters, *Chemosphere*, 212, 715-722, 2018.
- Lebedev, A.T., Polyakova, O.V., Mazur, D.M., Artaev, V.B., Canet, I., Lallement, A., Vaïtilingom, M., Deguillaume, L., Delort, A.-M.: Detection of semi-volatile compounds in cloud waters by GC×GC-TOF-MS. Evidence of phenols and phthalates as priority pollutants,

9. Renard, P., Canet, I., Sancelme, M., Wirgot, N., Deguillaume, L., Delort, A.-M.: Screening of cloud microorganisms isolated at the puy de Dôme (France) station for the production of biosurfactants, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 12347-12358, 2016 doi:10.5194/acp-16-12347-2016, 2016.
10. Vinatier, V., Wirgot, N., Joly, M., Sancelme, M., Abrantes, M., Deguillaume, L., Delort, A.-M.: Siderophores in cloud waters and potential impact in atmospheric chemistry. Part I: Production by microorganisms isolated at the puy de Dôme station, *Environmental Science and Technology*, 50-17, 9315-9323, doi: 10.1021/acs.est.6b02335, 2016.
11. Wirgot, N., Vinatier, V., Deguillaume, L., Sancelme, M., and Delort, A.-M.: H₂O₂ modulates the energetic metabolism of the cloud microbiome, *Atmospheric Chemistry Physics*, 17, 14841-14851, https://doi.org/10.5194/acp-17-14841-2017, 2017.

Thèses

1. Amato Pierre, L'écosystème atmosphérique, HDR de l'Université Clermont Auvergne, 2017.
2. Bianco Angelica, Formation photoinduite du radical hydroxyle dans la phase aqueuse du nuage : impact sur les acides carboxyliques et les acides aminés, Thèse de l'Université Blaise Pascal, 2016.
3. Lallement Audrey, Impact des processus photochimiques et biologiques sur la composition chimique du nuage, Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2017.
4. Wirgot Nolwenn, Etude du métabolisme microbien dans les nuages : réponse au stress et impact sur la chimie atmosphérique, Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 2017.

PUYGAZ

Production scientifique des acteurs (publications de rang A, conférences, thèses)

Articles avec données PUY-GAZ :

1. Barbet, C., **L. Deguillaume**, **N. Chaumerliac**, M. Leriche, **E. Freney**, **A. Colomb**, **K. Sellegri**, L. Patryl, P. Armand : Evaluation of aerosol chemical composition simulations by the WRF-Chem model at the puy de Dôme station (France), *Aerosol Air Quality Research*, 16, 909-917, 2016.
2. Farah, A., **E. Freney**, A. Chauvigné, J.-L. Baray, C. Rose, D. Picard, **A. Colomb**, D. Hadad, M. Abboud, W. Farah, **K. Sellegri**: Seasonal Variation of Aerosol Size Distribution Data at the Puy de Dôme Station with Emphasis on the Boundary Layer/Free Troposphere Segregation, *Atmosphere*, 9, 244, 2018.
3. **Freney. E.**, **K. Sellegri**, E. Asmi, C. Rose, A. Chauvigne, J.-L. Baray, **A. Colomb**, M. Hervo, N. Montoux, L. Bouvier and D. Picard: Experimental evidence of the feeding of the free troposphere with aerosol particles from the mixing layer, *Aerosol and Air Quality Research*, 2016.

Production scientifique des utilisateurs (publications de rang A, conférences, thèses)

[Production pour laquelle le premier auteur appartient à une équipe extérieure au service]

4. Berger, A., C. Barbet, M. Leriche, **L. Deguillaume**, C. Mari, **N. Chaumerliac**, N. Bègue, P. Tulet, D. Gazen, J. Escobar : Evaluation of Meso-NH and WRF/CHEM simulated gas and aerosol chemistry over Europe based on hourly observations, *Atmospheric Research*, 176-177, 43-63, 2016.
5. Hoerger C.C., A. Werner, C. Plass-Duelmer, S. Reimann, E. Eckart, R. Steinbrecher, J. Aalto, J. Arduini, N. Bonnaire, J. N. Cape, **A. Colomb**, R. Connolly, J. Diskova, P. Dumitrean, C. Ehlers, V. Gros, H. Hakola, M. Hill, J. R. Hopkins, J. Jäger, R. Junek, M. K. Kajos, D. Klemp, M. Leuchner, A. C. Lewis, N. Locoge, M. Maione, D. Martin, K. Michl, E. Nemitz, S. O'Doherty, P. Pérez Ballesta, T. M. Ruuskanen, S. Sauvage, N. Schmidbauer, T. G. Spain, E. Straube, M. Vana, M. K. Vollmer, R. Wegener, and A. Wenger 2014. ACTRIS non-methane hydrocarbon intercomparison experiment in Europe to support WMO-GAW and EMEP observation networks *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 2014 2715-2736, 2015 DOI 10.5194/amt-8-2715-2015

6. Lopez M., M. Schmidt, M. Ramonet, J.-L. Bonne, **A. Colomb**, V. Kazan, P. Laj, and J.-M. Pichon Three years of semicontinuous greenhouse gas measurements at the Puy de Dôme station (central France) *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 2015 3941-3958, DOI 10.5194/amt-8-3941-2015 (AMT)
7. Schultz, Martin G; Schröder, Sabine; Lyapina, Olga; Cooper, Owen R; Galbally, Ian; Petropavlovskikh, Irina; von Schneidemesser, Erika; Tanimoto, Hiroshi; Elshorbany, Yasin; Naja, Manish; Seguel, Rodrigo J; Dauert, Ute; Eckhardt, Paul; Feigenspan, Stefan; Fiebig, Markus; Hjellbrekke, Anne-Gunn; Hong, You-Deog; Kjeld, Peter Christian; Koide, Hiroshi; Lear, Gary; Tarasick, David; Ueno, Mikio; Wallasch, Markus; Baumgardner, Darrel; Chuang, Ming-Tung; Gillett, Robert; Lee, Meehye; Molloy, Suzie; Moolla, Raeesa; Wang, Tao; Sharps, Katrina; Adame, Jose A; Ancellet, Gerard; Apadula, Francesco; Artaxo, Paulo; Barlasina, Maria E; Bogucka, Magdalena; Bonasoni, Paolo; Chang, Limseok; **Colomb, Aurelie**; Cuevas-Agulló, Emilio; Cupeiro, Manuel; Degorska, Anna; Ding, Aijun; Fröhlich, Marina; Frolova, Marina; Gadhavi, Harish; Gheusi, Francois; Gilge, Stefan; Gonzalez, Margarita Y; Gros, Valérie; Hamad, Samera H; Helmig, Detlev; Henriques, Diamantino; Hermansen, Ove; Holla, Robert; Hueber, Jacques; Im, Ulas; Jaffe, Daniel A; Komala, Ninong; Kubistin, Dagmar; Lam, Ka-Se; Laurila, Tuomas; Lee, Haeyoung; Levy, Ilan; Mazzoleni, Claudio; Mazzoleni, Lynn R.; McClure-Begley, Audra; Mohamad, Maznorizan; Murovec, Marijana; Navarro-Comas, Monica; Nicodim, Florin; Parrish, David; Read, Katie A; Reid, Nick; Ries, Ludwig; Saxena, Pallavi; Schwab, James J; Scorgie, Yvonne; Senik, Irina; Simmonds, Peter; Sinha, Vinayak; Skorokhod, Andrey I; Spain, Gerard; Spangl, Wolfgang; Spoor, Ronald; Springston, Stephen R; Steer, Kelvin; Steinbacher, Martin; Suharguniyawan, Eka; Torre, Paul; Trickl, Thomas; Weili, Lin; Weller, Rolf; Xu, Xiaobin; Xue, Likun; Zhiqiang, Ma (2017):Tropospheric Ozone Assessment Report, links to Global surface ozone datasets.PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.876108>

IR RESIF

Réseau sismologique d'Auvergne de l'OPGC

1. Battaglia, J., and Douchain, J.-M. (2016). Réseau sismologiques d'Auvergne. *Revue d'Auvergne*, vol.260-261, pp. 389-406.

Communications a des congrès ou workshops:

1. Vergne, J., Pauchet, H., Bonnin, M. and RESIF-CLB Team (2019). Quality improvement of the French permanent broadband stations with shallow posthole installations, EGU, Vienna, Austria, Poster.
2. Douchain, J.-M., Regis, E. and Battaglia, J. (2017). Evaluation of the new infrastructure for French Permanent Broadband Stations in Auvergne (France), AGU Fall meeting 2017, New Orleans, USA, Poster.
3. Douchain, J.-M., Regis, E. and Battaglia, J. (2017). Evaluation of the new infrastructure for French Permanent Broadband Stations in Auvergne (France), 3èmes Rencontres scientifique et technique RESIF, Saint-Jean-de-Monts, France, Poster.