
Rapport d'expertise

***Réalisation d'une étude historique visant à
mettre en corrélation les dépassements de
dioxyde de soufre relevés sur les stations Bourg
Murat et Grand Coude et les éruptions
volcaniques du Piton de La Fournaise***



Titre et date du rapport d'étude	Réalisation d'une étude historique visant à mettre en corrélation les dépassements de dioxyde de soufre relevés sur les stations Bourg Murat et Grand Coude et les éruptions volcaniques du Piton de la Fournaise	29/11/2017
Référence du rapport et code analytique	RE PR 17 003 A	20 1101 1
Responsable de l'activité et fonction	Chatrapatty BHUGWANT, Ingénieur d'études/Chef de Projets - PR	
Sommaire	Voir page 3	
Liste de diffusion	DEAL de La Réunion et ATMO Réunion	

SOMMAIRE

GLOSSAIRE	4
RESUME NON TECHNIQUE	5
1.1. COMMANDITAIRE DE L'ETUDE	6
1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE.....	6
1.3. POLLUANT SURVEILLE	6
1.4. PLAN DE SITUATION.....	6
1.5. METHODE DE MESURE	9
1.6. PERIODE DE LA SURVEILLANCE	11
1.7. NORMES REGLEMENTAIRES.....	12
1.8. RESULTATS	13
1.9 COMMENTAIRES.....	23
2.0 CONCLUSION	32
2.1 LISTE DES DOCUMENTS EXTERNES.....	33

Glossaire

Généralités

Milieu ambiant : Milieu physique et matériel qui constitue l'environnement dans lequel on vit.

Atmosphère : Couche gazeuse qui entoure la Terre. Les phénomènes météorologiques sont particulièrement actifs dans les premières dizaines de kilomètres (troposphère surtout et stratosphère).

Émission : Rejet d'effluents (gazeux et particulaires) dans l'atmosphère à partir d'une source anthropique ou naturelle (ex. cheminée d'usine, volcan ...).

Immission : L'immission caractérise la concentration des polluants dans l'air ambiant, en un lieu donné. C'est le stade final du cycle de la pollution atmosphérique après concentration des polluants primaires (issus de l'émission) et des polluants secondaires créés après transformation des polluants primaires.

Vent : Le vent est le mouvement de l'air par rapport à la surface terrestre. Il est représenté en général par sa composante horizontale (direction et vitesse) ou suivant un niveau donné, en général fine surface isobare.

Organisme

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DRR : Direction Régionale des Routes

GSFC : Goddard Space Flight Center

IGN : Institut Géographique National

IPGP : Institut de Physique du Globe de Paris

LACy : Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration

OVPF : Observatoire Volcanologique du Piton de La Fournaise

Station/dispositif de surveillance

BMU : Bourg Murat

GCO : Grand Coude

OMI : Ozone Monitoring Instrument

Polluant

SO₂ : Dioxyde de soufre

Unité de mesure

Microgramme par mètre cube : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, millionième de gramme de polluant par mètre cube d'air

Résumé non technique

Constats : Lors des périodes d'éruption, des fortes concentrations en dioxyde de soufre (SO_2) ont été relevées lors des campagnes réalisées à l'aide de tubes à échantillonnage passif autour du volcan Piton de La Fournaise de 2005 à 2008. Cette corrélation « éruptions - fortes concentrations » est confirmée de 2008 à 2016 sur les deux stations fixes BMU (commune du Tampon) et GCO (commune de Saint-Joseph). Cette surveillance atmosphérique a conduit, en 2010, 2015 et 2016 aux dépassements des seuils réglementaires suivis par l'union européenne (UE).

Cela constitue un risque de contentieux avec l'UE pour le dépassement de ces seuils réglementaires, bien que la source de pollution soit d'origine naturelle. En effet, le SO_2 atmosphérique, qu'il soit d'origine anthropique ou naturelle, impacte autant la santé humaine et la végétation.

Objectif et modalités de l'étude : Cette étude vise à mettre en corrélation les fortes concentrations de SO_2 mesurées autour du volcan Piton de La Fournaise et les éruptions volcaniques survenues sur la période 2005-2016.

Conclusion de l'étude :

Au vu des résultats de cette surveillance, il apparaît, pour le dioxyde de soufre (SO_2), que les normes réglementaires suivies par l'UE ont été dépassées à plusieurs reprises en 2010, 2015 et 2016 sur les stations de surveillance BMU et GCO.

Les seuils réglementaires dépassés sont les suivants :

La valeur toxicologique de référence (VTR : moyenne journalière fixée à $26.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été dépassée en 2015 ($293 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 21/05/2015) et en 2016 ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 18/09/2016) sur la station BMU. Ce seuil a été dépassé en 2010 ($111 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 23/10/2010) et en 2015 ($88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 19/05/2015) sur la station GCO. Au total, il y a eu 9 dépassements de la VTR sur les stations BMU et GCO respectivement de janvier 2010 à décembre 2016.

La valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine (VL : moyenne journalière fixée à $125 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$, à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile) a été dépassée 5 fois en 2015 sur la station BMU.

La valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine (VL : moyenne horaire fixée à $350 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$, à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile) a été dépassée 26 fois en 2015 sur cette même station.

Concernant le seuil d'information et de recommandation (SIR : $300 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$), 6 dépassements ont été constatés en 2010 et 1 dépassement enregistré en 2015 sur la station GCO. Sur la station BMU, ce seuil a été dépassé 25 fois en 2015.

Au total, 6 dépassements du seuil d'alerte (SA : $500 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 3 heures consécutives) ont été constatés en 2015 sur la station BMU.

Tous les dépassements de seuils réglementaires en SO_2 relevés sur les stations BMU et GCO ont eu lieu durant des phases éruptives du Piton de la Fournaise.

L'analyse des données de SO_2 avec celles des paramètres météorologiques, géophysiques et satellitaires ont montré que l'origine des dépassements des seuils réglementaires en SO_2 sont essentiellement liées aux éruptions volcaniques du Piton de La Fournaise.

Les résultats de cette étude montrent qu'il y a une forte corrélation entre les activités volcaniques du Piton de La Fournaise et les différents épisodes de pollution en SO_2 relevés sur les stations BMU et GCO de 2008 à 2016.

1.1. Commanditaire de l'étude

M. Michel MASSON, Chef du service prévention des risques et environnement industriels

DEAL de La Réunion

130 rue Léopold Rambaud - 97490 Sainte-Clotilde - Ile de La Réunion

E-mail : michel.masson@developpement-durable.gouv.fr

Affaire Suivie par : Mme Marine BATTISTINI, Chef de l'unité Déchets Air Santé

☎ : 0262 92 41 51- 📠 : 0262 29 37 31

E-mail : marine.battistini@developpement-durable.gouv.fr

Références de la demande : DC 17 030

1.2. Objectif de l'étude

Etude de la contribution d'origine volcanique sur les dépassements de seuils réglementaires de SO₂ constatés sur les stations Bourg Murat (commune du Tampon) et Grand Coude (commune de Saint-Joseph).

1.3. Polluant surveillé

Polluant	Origine	Impact sur l'environnement	Impact sur la santé
DIOXYDE DE SOUFRE (SO₂)	Origine anthropique : Emission de dioxyde de soufre lors de la combustion de combustibles fossiles (fioul, charbon, lignite, gazole...) contenant du soufre. Origine naturelle : Emission des composés soufrés lors d'éruption de volcans ...	➡ Contribue aux pluies acides qui affectent les végétaux et les sols. ➡ Contribue également à la dégradation des matériaux de nombreux monuments.	➡ Irritation des muqueuses de la peau et voies respiratoires supérieures (toux, gêne respiratoire, troubles asthmatiques).

Tableau 1 : Origine et impacts (sanitaire et environnemental) du dioxyde de soufre.

1.4. Plan de situation

Carte de localisation des zones de mesures :
Stations fixes Bourg Murat (BMU) et Grand Coude (GCO)

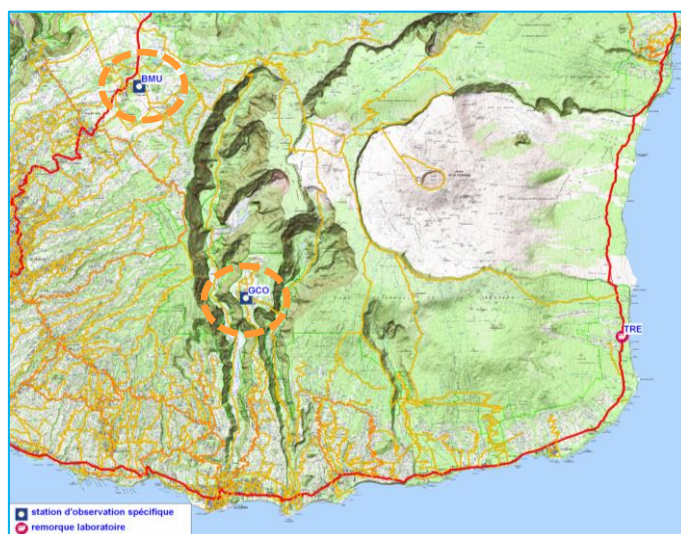


Figure 1 : Localisation des stations de mesures BMU et GCO (**Source** : IGN/Région Réunion - Scan25 @autorisation N°10191).

Description des zones de mesures - AA (analyseur automatique) :

N° station	Dispositif	Emplacement	Commune	Polluant surveillé
Mesures automatiques - AA (surveillance en continue)				
38016	Station fixe-AA	Station fixe implantée dans l'enceinte de l'école Bourg Murat	Le Tampon	SO ₂
38017	Station fixe-AA	Station fixe implantée au n° 14, rue de l'usine à Thé, proche de l'école Grand coude	Saint-Joseph	SO ₂

Tableau 2 : Description des stations de mesures BMU et GCO.

Dispositif de surveillance - Stations fixes (AA) :



Figure 2 : Stations fixes implantées (a) dans l'enceinte de l'école Bourg Murat et (b) à proximité de l'école Grand Coude
(Source : ATMO Réunion).

Les stations d'observation spécifique 'volcan' BMU et GCO ont été financées dans le cadre du POE (Programme Opérationnel Européen), avec le soutien de La Région Réunion et de l'Etat (représenté par la DEAL Réunion).

Sites de mesures à l'aide de tubes à échantillonnage passif (TP) localisés autour du volcan



Figure 3 : Localisation des 24 sites de mesures de SO₂ situées autour du volcan Piton de La Fournaise.
(**Source :** Image ©2016 CNES/Airbus ; ©2017 Google ; Image ©2017 DigitalGlobe ; Google Earth).

Les campagnes de mesures ont été réalisées à l'aide de tubes à échantillonnage passif de SO₂ sur 9 à 24 sites graduellement de septembre 2005 à décembre 2008 sur les communes localisées autour du volcan (cf. **tableau 3**), soit :

- 9 sites surveillés en 2005 ;
- 10 sites surveillés en 2006 ;
- 12 à 22 sites surveillés en 2007 ;
- 22 à 24 sites surveillés en 2008.

Ces campagnes de mesures ont débuté en 2005 suite aux différentes éruptions du volcan les années antérieures. Les panaches de dioxyde de soufre (SO₂) émis lors des phases éruptives ont impactés les zones habitées localisées autour du volcan (*Bhugwant et al., JVGR, 1999*).

Description des zones de mesures - TP (tube à échantillonnage passif) :

N° site	Dispositif	Emplacement	Polluant surveillé
Prélèvements à l'aide de tubes à échantillonnage passif - TP			
1	TP	Sur mât M.-France, dans l'enceinte de l'école Calire Heno, au centre-ville	La Plaine des Palmistes
2		Sur poteau bois F. Tél., face au centre de vacances de la BR	La Plaine des Palmistes
3		Sur poteau bois EDF, en face de l'école Bourg Murat	Le Tampon
4		Dans l'enceinte de l'Observatoire Volcanologique	Le Tampon
5		Sur poteau fer F. Tél., à côté de l'école Basse Vallée	Saint-Philippe
6		Au parking, sur poteau bois EDF, à côté de l'école du Baril	Saint-Philippe
7		Sur arbre, derrière l'église Notre Dame des Laves	Sainte-Rose
8		Sur poteau fer F. Tél., à côté du collège Thérésien Cadet	Sainte-Rose
9		Sur grillage, derrière le Gîte de Bellecombe	Sainte-Rose
10		Sur mât M.-France, derrière le relais du gîte du Pas de Bellecombe	Sainte-Rose
11		A côté de l'école primaire, au 12 ^{ème} Km, sur poteau près de maison N°71	Le Tampon
12		Sur poteau près de maison N°3, dans chemin petit Tampon	Le Tampon
13		Sur l'emplacement du Laboratoire Mobile, sur poteau, proche centre-ville	Saint-Joseph
14		Sur lampadaire, à côté de la Mairie de Saint-Joseph	Saint-Joseph
15		Sur poteau à côté du collège Joseph Hubert	Saint-Joseph
16		A côté du stade de basket ball, proche intersect. rue des Orangers et Edouard Lavie	Saint-Joseph
17		Sur poteau, dans l'enceinte du lycée agricole, proche de la RN2	Saint-Joseph
18		Sur RN2, sur poteau béton, près de la maison n° 600, à Bois Blanc	Sainte-Rose
19		Sur RN2, sur arbre, près du barrage gendarmes, à Bois Blanc	Sainte-Rose
20		Sur RN2 au Tremblet, après barrage gendarmes, sur poteau arrêt bus	Saint Philippe
21		Sur RN2, au Tremblet, sur poteau à côté maison n° 119, avant barrage	Saint Philippe
22		Sur RN2 au case du Tremblet, sur poteau à côté cabine Tél.	Saint Philippe
23		Prendre la D33, sur poteau près de l'école de Grand Coude	Saint-Joseph
24		Prendre la D33, après l'école et terrain de foot, sur poteau béton EDF	Saint-Joseph

Tableau 3 : Description des 24 sites de mesures localisées autour du volcan Piton de La Fournaise.

1.5. Méthode de mesure

Campagne réalisée à l'aide d'un analyseur automatique :

- **Prélèvements :** à l'aide d'un analyseur automatique de SO₂ installé dans une station fixe d'observation spécifique, pour surveiller les émanations du volcan Piton de La Fournaise (cf. **figure 4**).
- **Techniques de mesures (stations fixes BMU & GCO) :**
 - mesure du SO₂ par fluorescence UV à l'aide d'un analyseur 43i SO₂ Thermo E.I. selon la norme NF EN 14212.



Figure 4 : Analyseur THERMO 43i installés dans les stations BMU et GCO (**Source :** ORA).

Dispositif de surveillance - TP :

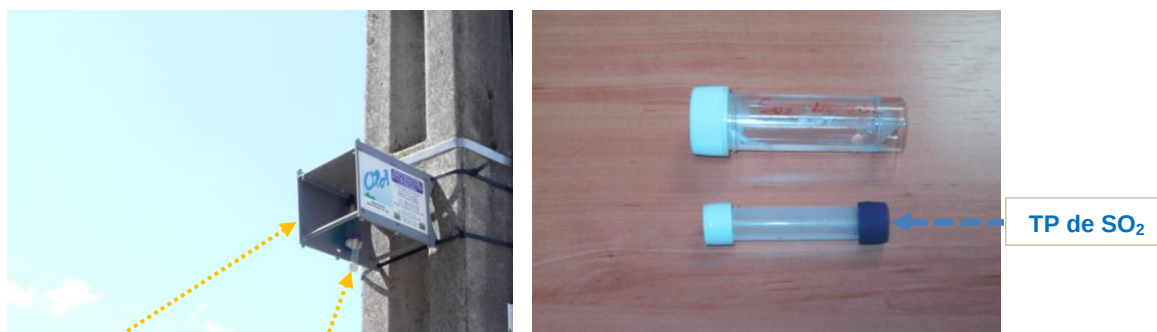


Figure 5 : Abri comportant un tube à échantillonnage passif installé sur un poteau (**Source** : ORA).

Prélèvements :

Les tubes à échantillonnage passif de SO₂ (dioxyde soufre) utilisés sont ceux commercialisés par Gradko International Ltd (Angleterre) (cf. **figure 5**).

La mesure d'un polluant par échantillonnage passif est basée sur le piégeage des polluants sur un absorbant chimique (réactif).

Les échantillonneurs utilisés sont constitués d'un tube cylindrique contenant le réactif et dans lequel l'air ambiant circule par diffusion passive. La quantité en polluant absorbé est proportionnelle à la concentration moyenne dans l'air durant la période d'exposition.

Technique de mesures/analyse :

Les analyses de tubes prélevés sont effectuées en différé par un laboratoire accrédité. Concernant le dioxyde de soufre, l'analyse est effectuée par Gradko International Ltd, en Angleterre (cf. **tableau 4**).

Analyses en laboratoire			
Polluant surveillé	Laboratoire d'analyse	Méthode d'analyse	Norme appropriée
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Gradko International Ltd (Angleterre)	Chromatographie ionique	BS EN 13528

Tableau 4 : Méthode d'analyse effectué en laboratoire sur les tubes à échantillonnage passif.

1.6. Période de la surveillance

Les concentrations en dioxyde de soufre (SO₂) ont été relevées à l'aide de tubes à échantillonnage passif (TP) sur 24 sites sur les communes localisées autour du volcan de 2005 à 2008, lors et en absence des phases éruptives du volcan Piton de La Fournaise.

Le **tableau 5** présente les différentes campagnes de mesures de 7 à 10 jours réalisées sur 9 à 24 sites sur les communes localisées autour du volcan Piton de La Fournaise de 2005 à 2008.

Périodes de surveillance à l'aide de TP de 2005 à 2008 :

Année 2005 :

Nb de sites surveillés	Date début	Date fin	Phase éruptive (O/N)	Description de l'éruption
9	16/09/2005	26/09/2005	N	
9	26/09/2005	06/10/2005	N	
9	06/10/2005	17/10/2005	O	E-C 04/10/2005 10:35 12,5 Dolomieu Sud-Ouest
9	17/10/2005	28/10/2005	O	
9	28/10/2005	07/11/2005	N	
9	07/11/2005	17/11/2005	N	
9	30/11/2005	09/12/2005	N	
9	27/12/2005	03/01/2006	O*	E-L 26/12/2005 13:10 23,3 Plaine des Osmondes

Année 2006 :

Nb de sites surveillés	Date début	Date fin	Phase éruptive (O/N)	Description de l'éruption
10	03/01/2006	12/01/2006	O*	E-L 26/12/2005 13:10 23,3 Flanc Nord + Plaine des Osmondes
10	12/01/2006	23/01/2006	O	
10	23/01/2006	02/02/2006	N	
10	02/02/2006	13/02/2006	N	Bruit de fond : Hors éruption
10	21/03/2006	03/04/2006	N	
10	03/04/2006	18/04/2006	N	
10	18/04/2006	28/04/2006	N	
10	18/05/2006	29/05/2006	N	
10	16/06/2006	26/06/2006	N	
10	26/06/2006	07/07/2006	N	
10	07/07/2006	18/07/2006	N	
10	18/07/2006	26/07/2006	O*	E-L 20/07/2006 0:06 25,6 Flanc Sud Sud-Ouest
10	26/07/2006	04/08/2006	O*	
10	04/08/2006	16/08/2006	O*	
10	16/08/2006	25/08/2006	N	
10	31/08/2006	07/09/2006	O	
10	07/09/2006	15/09/2006	O*	
10	15/09/2006	22/09/2006	O	
10	22/09/2006	29/09/2006	O	
10	29/09/2006	06/10/2006	O	
10	06/10/2006	13/10/2006	O	
10	13/10/2006	20/10/2006	O	
10	20/10/2006	27/10/2006	O	E-CL 30/08/2006 7:42 123,6 Dolomieu Est Sud-Est
10	27/10/2006	03/11/2006	O	
10	03/11/2006	10/11/2006	O	
10	10/11/2006	17/11/2006	O	
10	17/11/2006	24/11/2006	O	
10	24/11/2006	01/12/2006	O	
10	01/12/2006	08/12/2006	O	
10	08/12/2006	15/12/2006	O	
10	15/12/2006	22/12/2006	O	
10	22/12/2006	03/01/2007	O	

Année 2007 :

Nb de sites surveillés	Date début	Date fin	Phase éruptive (O/N)	Description de l'éruption
12	11/01/2007	22/01/2007	N	
12	22/01/2007	02/02/2007	N	
12	02/02/2007	12/02/2007	N	
12	12/02/2007	23/02/2007	O	E-CL 18/02/2007 12:35 1,4 Dolomieu + Flanc Est
12	23/02/2007	05/03/2007	N	
12	16/03/2007	26/03/2007	N	
14	26/03/2007	05/04/2007	O	E-L 30/03/2007 19:00 0,3 Flanc Sud
21	05/04/2007	12/04/2007	O*	
22	12/04/2007	18/04/2007	O*	
22	18/04/2007	26/04/2007	O*	02/04/2007 6:00 29,6 Flanc Sud Sud-Est
22	26/04/2007	03/05/2007	O*	
22	03/05/2007	10/05/2007	O	
22	10/05/2007	21/05/2007	N	
22	21/05/2007	31/05/2007	N	
22	31/05/2007	11/06/2007	N	
22	11/06/2007	22/06/2007	N	
22	22/06/2007	02/07/2007	N	Bruit de fond : Hors éruption
22	23/07/2007	03/08/2007	N	
22	24/08/2007	03/09/2007	N	
22	24/09/2007	03/10/2007	N	

Année 2008 :

Nb de sites surveillés	Date début	Date fin	Phase éruptive (O/N)	Description de l'éruption
22	11/01/2008	21/01/2008	N	
22	12/02/2008	22/02/2008	N	
22	14/03/2008	24/03/2008	N	
22	10/04/2008	21/04/2008	N	
22	13/05/2008	23/05/2008	N	
22	13/06/2008	23/06/2008	N	
22	15/07/2008	25/07/2008	N	
22	13/08/2008	25/08/2008	N	Bruit de fond : Hors éruption
22	12/09/2008	22/09/2008	N	
24	22/09/2008	03/10/2008	O*	E-C 21/09/2008 11:38 10,5 Dolomieu Sud-Ouest
24	11/10/2008	24/10/2008	N	
24	12/11/2008	21/11/2008	N	
24	29/11/2008	10/12/2008	N	
24	16/12/2008	27/12/2008	O*	E-C 14/12/2008 22:55 51,8 Dolomieu Est et Nord

E-L : Eruption latérale ; E-C : Eruption sommitale dans les cratères sommitaux ; Co Collapse

O* : Fortes concentrations de SO₂ relevées lors des périodes éruptives

Concentrations 'de fond' hors éruption

Tableau 5 : Périodes de surveillance de SO₂ sur 9 à 24 sites autour du volcan de 2005 à 2008.

La surveillance de la concentration en SO₂ à l'aide d'analyseurs automatiques (AA) sur les stations Bourg Murat (BMU) et Grand Coude (GCO) a débuté respectivement en février 2008 et en octobre 2010 (cf. **tableau 5**).

Dans ce rapport, seules les données relevées durant la période de septembre 2005 à décembre 2016 seront traitées (cf. tableau 6).

Nb de Sites	Dispositif	Polluants surveillés	Début de campagne	Fin de campagne
Prélèvements à l'aide de tubes à échantillonnage passif (campagnes de 7 à 10 jours)				
9 à 24	TP	SO ₂	16/09/2005	27/12/2008
Nom Station	Dispositif	Polluants surveillés	Début de mesure	Fin de mesure
Mesures automatiques (surveillance en continue)				
BMU	Station fixe	SO ₂	29/02/2008	31/12/2016
GCO	Station fixe	SO ₂	15/10/2010	31/12/2016

Tableau 6 : Surveillance des concentrations de SO₂ sur 9 à 24 sites autour du volcan de 2005 à 2008 et sur les stations BMU et GCO de 2008 à 2016.

1.7. Normes réglementaires

Les résultats de SO₂ obtenus à l'aide des tubes à échantillonnage passifs et d'analyseurs automatiques sont comparés à différentes références réglementaires définies dans le **tableau 7** ci-après :

S.A.	Seuil d'alerte défini dans le code de l'Environnement ¹ et les Directives 2008/50/CE et 2004/107/CE
S.I.R.	Seuil d'information et de recommandation défini dans le code de l'Environnement ¹ et les Directives 2008/50/CE et 2004/107/CE
V.L.	Valeur limite pour la protection de la santé humaine définie dans le code de l'Environnement ¹ et les Directives 2008/50/CE et 2004/107/CE
N.C.	Niveau critique pour la protection de la végétation défini dans le code de l'Environnement ¹ et les Directives 2008/50/CE et 2004/107/CE
O.Q.L.T.	Objectif de qualité sur le long terme défini dans le code de l'Environnement ¹ et les Directives 2008/50/CE et 2004/107/CE
V.T.R.	Valeur Toxicologique de Référence définie par l'ATSDR ² (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1998

1 : Article R221-1 du code de l'Environnement - Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air ambiant

2 : Toxicological profile for sulfur dioxide, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), décembre 1998.

Décret 2010 - 1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air				
Polluant réglementé				
Cible à protéger	Objectif environnemental	Période d'agrégation	Statistique considérée	Valeur de l'objectif
	Dioxyde de soufre - SO₂			
Santé humaine	S.A.	1 heure	Moyenne horaire	500 µg/m ³ pendant 3 heures consécutives
	S.I.R.	1 heure	Moyenne horaire	300 µg/m ³
	V.L.	1 heure	Moyenne horaire	350 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile
		1 jour	Moyenne journalière	125 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile
	O.Q.L.T.	1 année civile	Moyenne annuelle	50 µg/m ³
Végétation	N.C.	1 année civile	Moyenne annuelle	20 µg/m ³
Santé humaine	V.T.R.	1 jour	Moyenne journalière	26,2 µg/m ³

Tableau 7 : Valeurs réglementaires applicables en 2017 (cf. décret n°2010-1250 du 21/10/2010 et ATSDR, 1998).

1.8. Résultats

Relevés de SO₂ obtenus à l'aide de tubes à échantillonnage passif :

Les principales activités anthropiques émettant du dioxyde de soufre (SO₂) sur le territoire de La Réunion sont les activités industrielles, essentiellement les trois centrales thermiques et, dans une moindre mesure, le trafic automobile. La principale activité naturelle sur l'île émettant du dioxyde de soufre est le volcan actif du Piton de La Fournaise.

Le **tableau 8** présente la concentration moyenne annuelle en SO₂ relevée à l'aide de tubes à échantillonnage passif sur les 24 points localisés autour du Piton de La Fournaise de 2005 à 2008.

N° Site	Commune	Moyenne annuelle - SO ₂ (µg/m ³)			
		2005	2006	2007	2008
1	La Plaine des Palmistes	16.8	2.7	4.3	2.5
2	La Plaine des Palmistes	15.1	2.5	2.9	3.3
3	Le Tampon	21.5	4.3	5.9	2.2
4	Le Tampon	18.6	4.5	4.8	2.5
5	Saint-Philippe	13.6	2.6	7.0	5.4
6	Saint-Philippe	14.7	2.8	7.6	2.4
7	Sainte-Rose	13.0	2.8	4.2	3.9
8	Sainte-Rose	13.3	3.1	3.6	2.3
9	Sainte-Rose	17.1	21.4	13.8	7.4
10	Sainte-Rose		27.4	15.8	4.8
11	Le Tampon			9.5	1.9
12	Le Tampon			9.7	3.5
13	Saint-Joseph			36.9	2.3
14	Saint-Joseph			8.3	2.6
15	Saint-Joseph			10.1	1.9
16	Saint-Joseph			9.2	4.7
17	Saint-Joseph			9.0	2.8
18	Sainte-Rose			5.4	3.3
19	Sainte-Rose			5.1	2.0
20	Saint Philippe			28.5	3.7
21	Saint Philippe			8.1	2.2
22	Saint Philippe			7.7	1.6
23	Saint-Joseph				1.1
24	Saint-Joseph				1.9

Tableau 8 : Concentration moyenne annuelle de SO₂ relevée sur 24 points situés autour du volcan du Piton de La Fournaise de 2005 à 2008.

Des dépassements du niveau critique pour la végétation ont été constatés sur le site n° 3 (Le Tampon) en 2005, sur les sites n° 9 et 10 (Sainte-Rose) en 2006 et sur les sites 13 (Saint-Joseph) et 20 (Saint-Philippe) en 2007.

La **figure 6** présente les cartes de concentrations moyennes de SO₂ relevées du 28/10/2005 au 07/11/2005 (absence d'éruption ; **fig. 6.a**) et du 27/12/2005 au 03/01/2006 (phase éruptive ; **fig. 6.b**) sur les points localisés autour du Piton de La Fournaise. Cette représentation permet de visualiser la distribution spatiale de la concentration moyenne du SO₂ sur les différentes communes localisées autour du volcan Piton de La Fournaise. Les **figures 6.c** et **6.d** présentent la carte satellite de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO₂ (en DU) centrée sur La Réunion le 17/10/2005 (absence d'éruption) et le 28/12/2005 (phase éruptive) respectivement.

En absence d'éruption (le 27/12/2005 ; **fig. 6.a**), la concentration de SO₂ demeure globalement faible sur l'ensemble des zones investiguées. En revanche, lors de l'éruption du 26/12/2005 au 18/01/2006 (cf. **tableau 5**), on relève des fortes concentrations en SO₂ sur les secteurs du Pas de Bellecombe et de Bourg Murat (cf. **fig. 6.b**).

Ce constat est confirmé par la distribution spatiale de SO₂ relevée sur les cartes satellites Aura/OMI durant les deux phases distinctes (absence d'éruption le 17/10/2005 ; **fig. 6.c** et éruption en cours le 28/12/2005 ; **fig. 6.d**). Le 28/12/2005, les panaches du volcan ont impacté, en altitude, Le Pas de Bellecombe, Le Tampon ainsi que les zones Sud de l'île et se sont dirigées au sud-est de l'Océan Indien. La commune de Saint-Philippe a été faiblement impactée étant donné que les panaches ont été transportés en altitude.

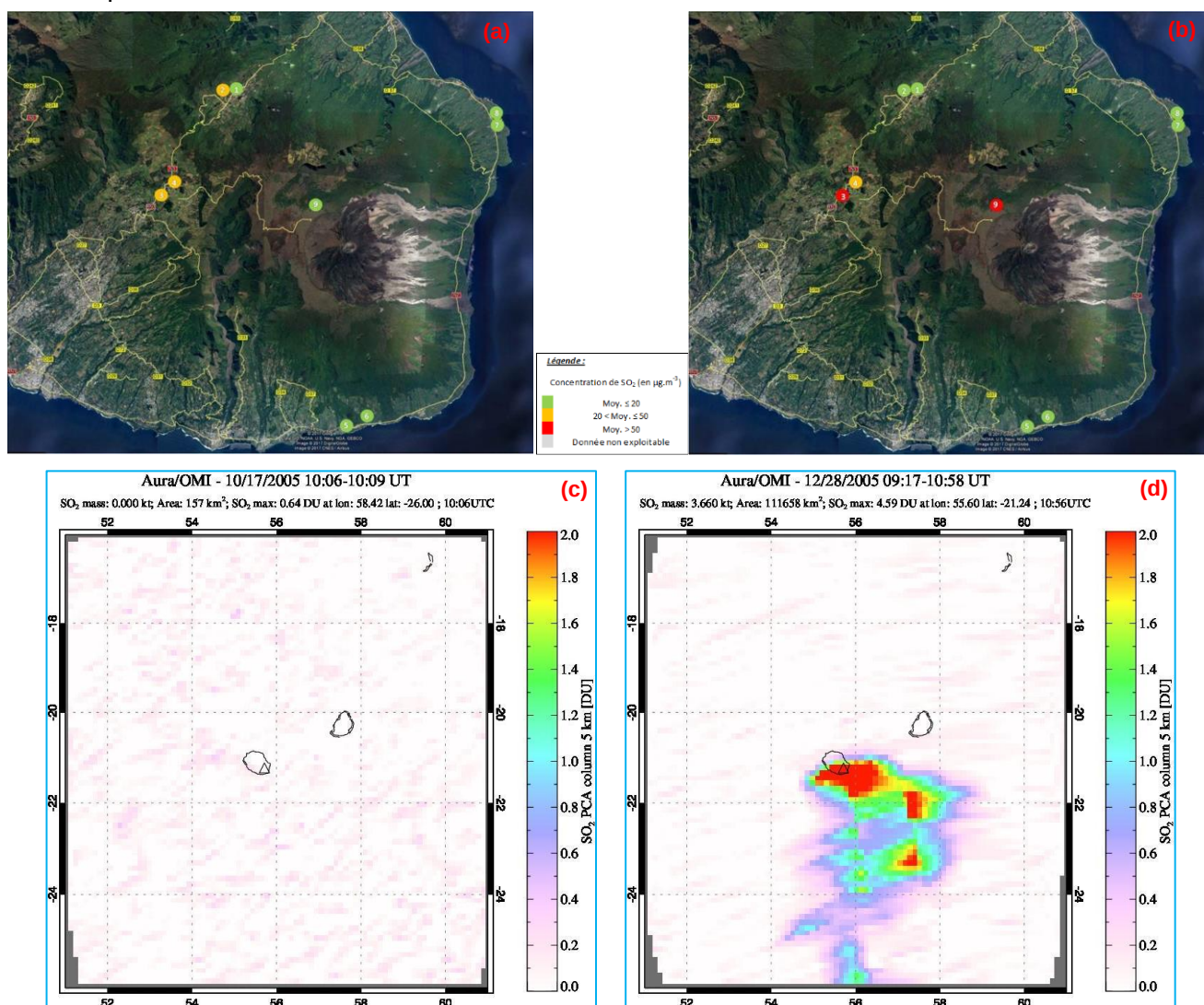


Figure 6 : Carte de concentration moyenne de SO₂ relevée (a) du 28/10/2005 au 07/11/2005 et (b) du 27/12/2005 au 03/01/2006 sur les points localisées autour du Piton de La Fournaise (**Source :** Image ©2017 CNES/Airbus ; ©2017Google ; Image©2017 DigitalGlobe ; Google Earth) ; Distribution spatiale de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO₂ (en DU) calculée au niveau régional centré sur La Réunion (c) le 17/10/2005 à 10h06 TU et (d) le 28/12/2005 à 09h17 TU (**Source :** Aura/OMI, GSFC, Nasa).

La **figure 7** présente les cartes de concentrations moyennes de SO₂ relevées du 03/01/2006 au 12/01/2006 (phase éruptive ; **fig. 7.a**) et du 02/02/2006 au 13/02/2006 (absence d'éruption ; **fig. 7.b**) sur les points localisés autour du Piton de La Fournaise. Les **figures 7.c** et **7.d** présentent la carte satellite de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO₂ (en DU) centrée sur La Réunion le 10/01/2006 (phase éruptive) et le 05/02/2006 (absence d'éruption) respectivement.

Durant la phase éruptive du 26/12/2005 au 18/01/2006 (cf. **tableau 5**), des fortes concentrations de SO₂ sont relevées sur les secteurs du Pas de Bellecombe et Bourg Murat (**fig. 7.a**). En absence d'éruption (du 02/02/2006 au 13/02/2006 ; **fig. 7.b**), les concentrations de SO₂ relevées autour du volcan demeurent globalement faibles sur l'ensemble des zones investiguées. Ceci est confirmé par la distribution spatiale de SO₂ relevée sur les cartes satellites durant les deux phases distinctes (phase éruptive le 10/01/2006 ; **fig. 7.c** et absence d'éruption le 05/02/2006 ; **fig. 7.d**). Le 10/01/2006, les panaches du volcan ont impacté, en altitude, Le Tampon, Le Pas de Bellecombe ainsi que les zones sud-ouest de l'île et se sont dirigées au sud-ouest de l'Océan Indien. La commune de Saint-Philippe n'a pas été impactée étant donné que les panaches ont été transportés en altitude.

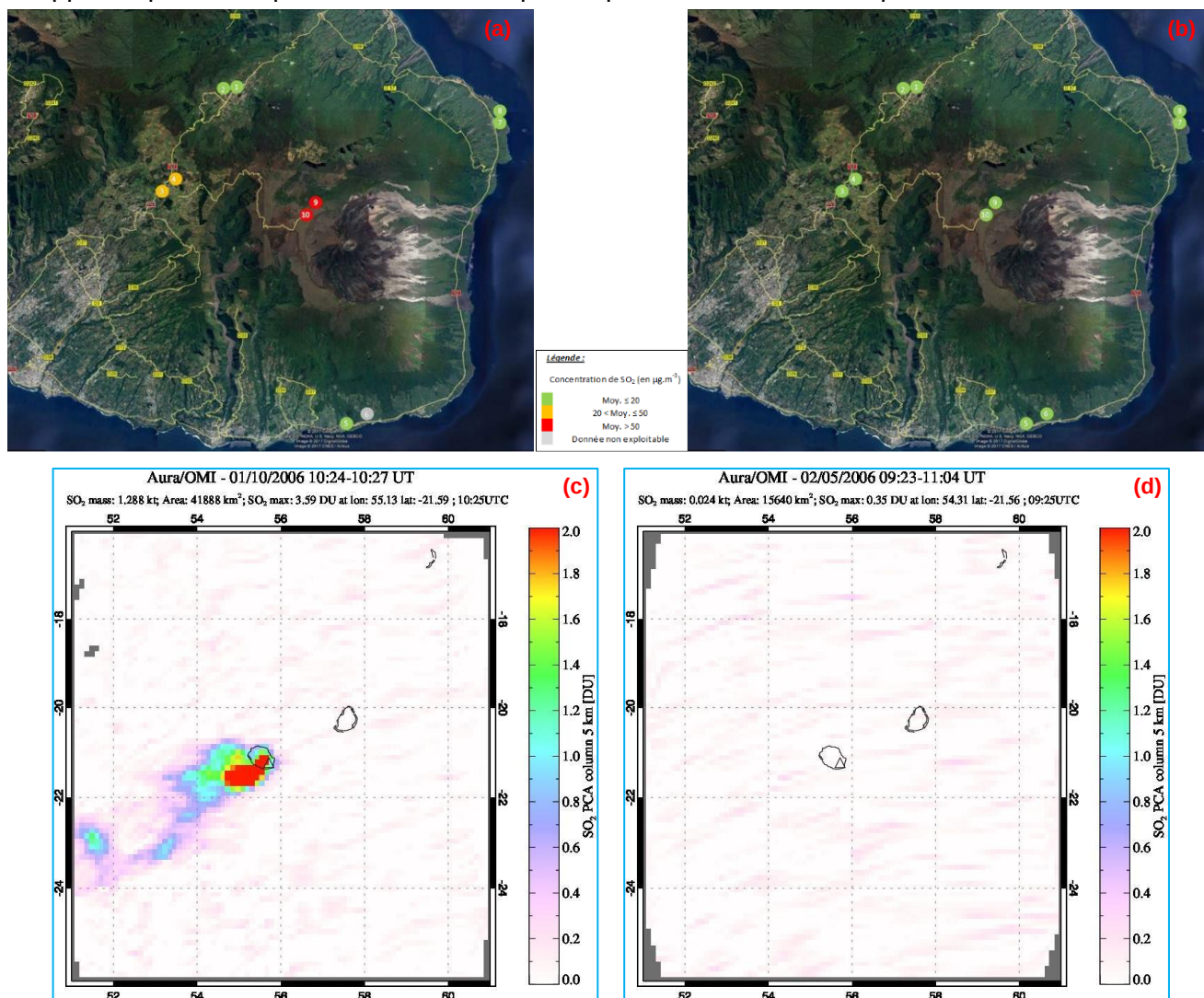


Figure 7 : Carte de concentration moyenne de SO₂ relevée (a) du 03/01/2006 au 12/01/2006 et (b) du 02/02/2006 au 13/02/2006 sur les points localisées autour du Piton de La Fournaise (**Source :** Image ©2017 CNES/Airbus ; ©2017Google ; Image©2017 DigitalGlobe ; Google Earth) ; Distribution spatiale de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO₂ (en DU) calculée au niveau régional centré sur La Réunion (c) le 10/01/2006 à 10h24 TU et (d) le 05/02/2006 à 09h23 TU (**Source :** Aura/OMI, GSFC, Nasa).

La **figure 8** présente les cartes de concentrations moyennes de SO₂ relevées du 12/04/2007 au 18/04/2007 (phase éruptive ; **fig. 8.a**) et du 22/06/2007 au 02/07/2007 (absence d'éruption ; **fig. 8.b**) sur les points localisés autour du Piton de La Fournaise. Les **figures 8.c** et **8.d** présentent la carte satellite de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO₂ (en DU) centrée sur La Réunion le 14/04/2007 (phase éruptive) et le 28/06/2017 (absence d'éruption) respectivement.

Durant la phase éruptive du 02/04/2007 au 02/05/2007 (cf. **tableau 5**), des fortes concentrations de SO₂ sont relevées sur les secteurs du Pas de Bellecombe et du Tampon (**fig. 8.a**). En absence d'éruption (du 22/06/2007 au 02/07/2007 ; **fig. 8.b**), les concentrations de SO₂ relevées autour du volcan demeurent globalement faibles sur l'ensemble des zones investiguées. Ceci est confirmé par la distribution spatiale de SO₂ relevée sur les cartes satellites durant les deux phases distinctes (phase éruptive : le 14/04/2007 ; **fig. 8.c** et absence d'éruption : le 28/06/2007 ; **fig. 8.d**). Le 14/04/2007, les panaches du volcan ont impacté, en altitude, Le Pas de Bellecombe, Le Tampon, le centre de l'île ainsi que les secteurs allant du Sud au Nord de l'île et se sont dirigées au nord-ouest au-dessus de l'Océan Indien. Les communes de Saint-Joseph et Saint-Philippe n'ont pas été impactées étant donné que les panaches ont été transportés en altitude.

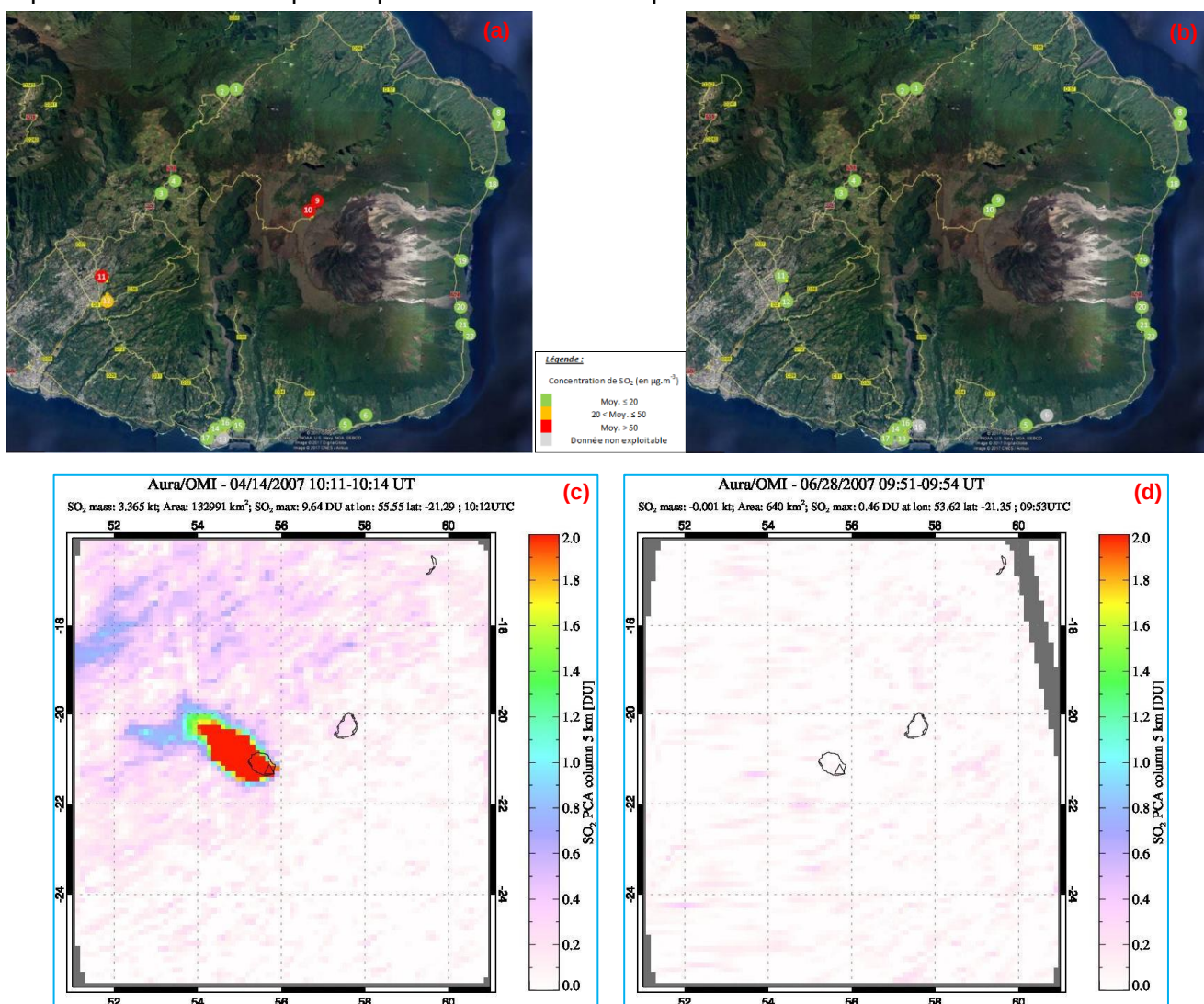


Figure 8 : Carte de concentration moyenne de SO₂ relevée (a) du 12/04/2007 au 18/04/2007 et (b) du 22/06/2007 au 02/07/2007 sur les points localisés autour du Piton de La Fournaise (**Source :** Image ©2017 CNES/Airbus ; ©2017Google ; Image©2017 DigitalGlobe ; Google Earth) ; Distribution spatiale de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO₂ (en DU) calculée au niveau régional centré sur La Réunion (c) le 14/04/2007 à 10h11 TU et (d) le 28/06/2007 à 09h51 TU (**Source :** Aura/OMI, GSFC, Nasa).

La **figure 9** présente les cartes de concentrations moyennes de SO₂ relevées du 13/08/2008 au 25/08/2008 (absence d'éruption ; **fig. 8.a**) et du 22/09/2008 au 03/10/2008 (phase éruptive ; **fig. 8.b**) sur les points localisés autour du Piton de La Fournaise.

Les **figures 9.c et 9.d** présentent la carte satellite de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO_2 (en DU) centrée sur La Réunion le 17/08/2008 (absence d'éruption) et le 30/09/2008 (phase éruptive) respectivement.

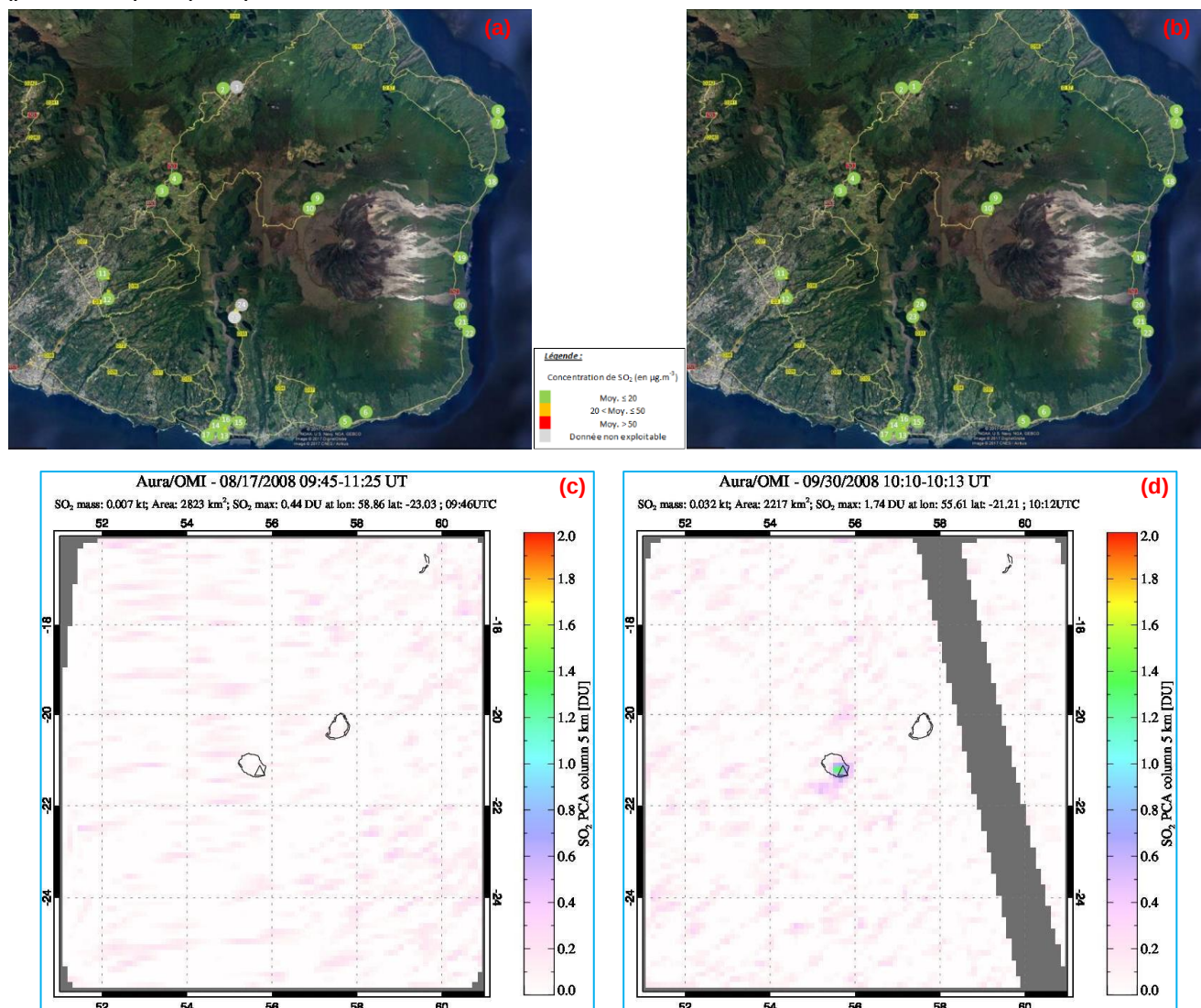


Figure 9 : Carte de concentration moyenne de SO_2 relevée (a) du 13/08/2008 au 25/08/2008 et (b) du 22/09/2008 au 03/10/2008 sur les points localisés autour du Piton de La Fournaise (**Source :** Image ©2017 CNES/Airbus ; ©2017Google ; Image©2017 DigitalGlobe ; Google Earth) ; Distribution spatiale de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO_2 (en DU) calculée au niveau régional centré sur La Réunion (c) le 17/08/2008 à 09h45 TU et (d) le 30/09/2008 à 10h10 TU (**Source :** Aura/OMI, GSFC, Nasa).

En absence d'éruption (du 13/08/2008 au 25/08/2008 ; **fig. 9.a**), les concentrations de SO_2 relevées autour du volcan demeurent globalement faibles sur l'ensemble des zones investiguées. Durant la phase éruptive de faible intensité du 21/09/2008 au 01/10/2008 (cf. **tableau 5**), des concentrations modérées de SO_2 sont relevées sur les secteurs de Pas de Bellecombe et Bourg Murat (**fig. 9.b**). Ceci est confirmé par la faible distribution spatiale de SO_2 relevée sur les cartes satellites durant les deux phases distinctes (absence d'éruption : le 17/08/2008 ; **fig. 9.c** et phase éruptive : le 30/09/2008 ; **fig. 9.d**). Le 30/09/2008, les faibles panaches du volcan ont légèrement impacté, en altitude, Le Pas de Bellecombe et Le Tampon, le centre de l'île ainsi que le secteur Sud de l'île et se sont dirigées au Sud au-dessus de l'Océan Indien. Les communes de Saint-Joseph et Saint-Philippe n'ont pas été impactées étant donné que les faibles panaches ont été transportés en altitude.

La **figure 10** présente les cartes de concentration moyenne annuelle de SO₂ relevée sur les points localisés autour du Piton de La Fournaise de 2005 à 2008. Cette représentation permet de visualiser la distribution spatiale de la concentration annuelle du SO₂ sur les différentes communes localisées autour du volcan Piton de La Fournaise de 2005 à 2008.

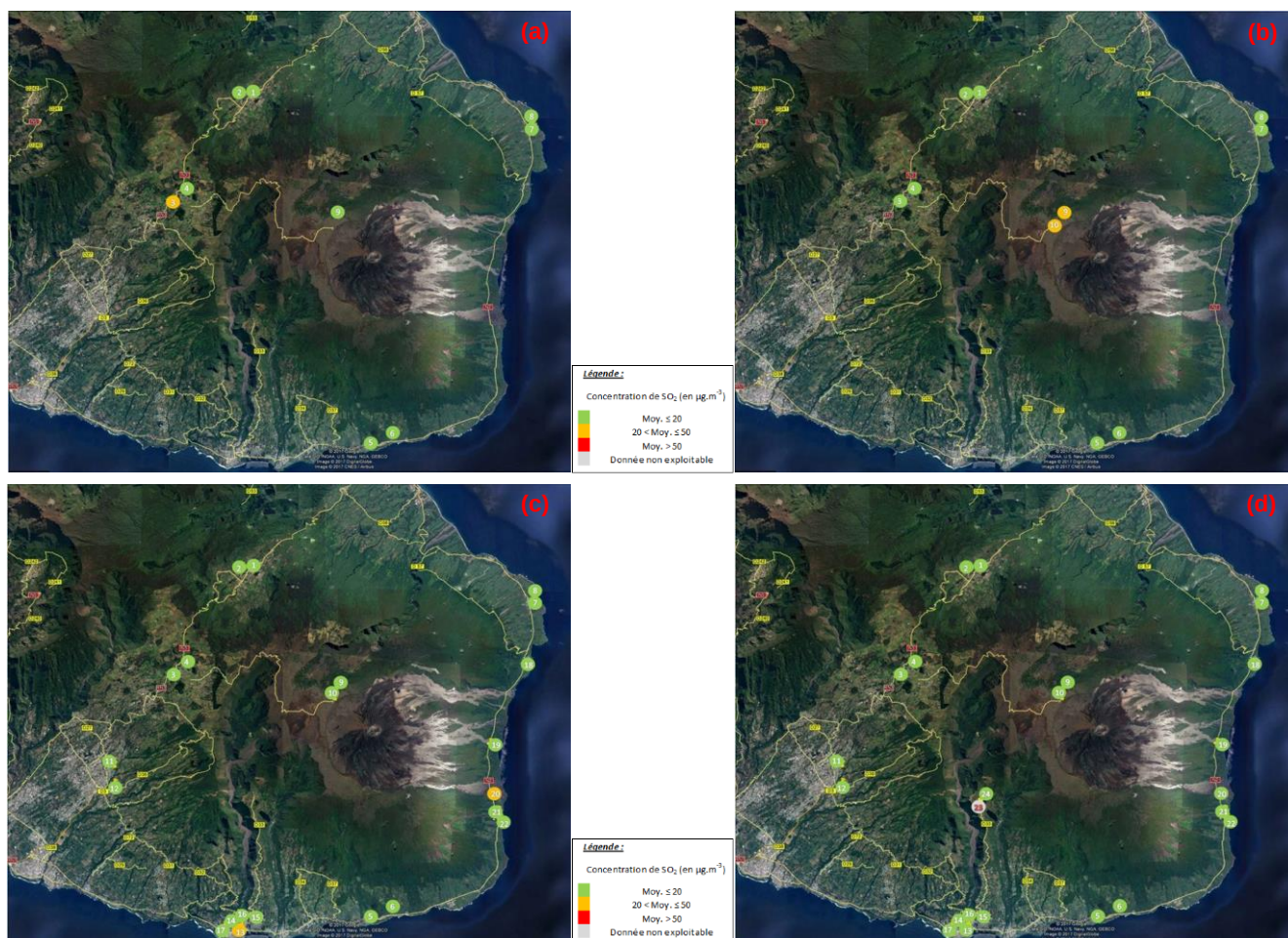


Figure 10 : Carte de concentration moyenne de SO₂ en (a) 2005, (b) 2006, (c) 2007 et (d) 2008 sur les points autour du Piton de La Fournaise (**Source :** Image ©2017 CNES/Airbus ; ©2017Google ; Image©2017 DigitalGlobe ; Google Earth).

Des fortes concentrations en SO₂ émises lors des différentes éruptions du Piton de La Fournaise sont relevées en particulier à l'embouchure des ravines (ex. La Rivière des Remparts, Saint-Joseph ; Ravine Basse Vallée, Saint-Philippe). Des dépassements du niveau critique pour la protection de la végétation ont ainsi été relevés sur certaines zones en 2005, 2006 et 2007 (cf. **tableau 8**). Suite aux épisodes d'éruptions volcaniques réguliers, l'ORA a décidé d'implanter un dispositif de surveillance fixe en continu à proximité du volcan. L'objectif de cette surveillance est surtout d'évaluer l'exposition de la population environnante aux émissions atmosphériques du volcan.

Les campagnes de mesures, réalisées à l'aide de tubes à échantillonnage passifs de SO₂, ont ainsi permis de déterminer l'implantation des stations fixes Bourg Murat (BMU) et Grand Coude (GCO) selon les préconisations du guide d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air (ADEME, 2002). La station BMU est implantée en février 2008 dans l'enceinte de l'école Bourg Murat et celle de GCO est implantée depuis octobre 2010 à proximité de l'école Grand Coude afin d'évaluer l'exposition d'une population sensible aux émanations atmosphériques du volcan lors des éruptions.

Relevés de SO₂ obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques :

Les informations fournies dans les **tableaux 9** et **10** ci-après présentent l'analyse statistique et la synthèse des données pour le dioxyde de soufre (SO₂) relevé sur les stations fixes BMU et GCO durant la période de février 2008 à décembre 2016. À ce titre, une comparaison des relevés a été effectuée avec les différentes références réglementaires.

Dioxyde de soufre (SO ₂)		Année								
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
S.A. : 500 µg/m³	Maximum de la moyenne horaire (µg/m ³) (Date et Heure)	85 le 01/10/2008 à 11h00	22 le 31/05/2009 à 01h00	81 le 20/10/2010 à 09h00	31 le 12/10/2011 à 11h00	6 le 03/02/2012 à 11h00	17 le 19/03/2013 à 11h00	4 le 25/12/2014 à 01h00	1728 le 21/09/2015 à 21h00	267 le 18/09/2016 à 05h00
S.I.R. : 300 µg/m³										
V.L. : 350 µg/m³	Nombre de moyenne horaire (> 350 µg/m ³)	0	0	0	0	0	0	0	26	0
V.L. : 125 µg/m³	Nombre de moyenne journalière (> 125 µg/m ³)	0	0	0	0	0	0	0	5	0
O.Q.L.T. : 50 µg/m³	Moyenne annuelle (µg/m ³)	1	2	2	1	1	0.3	0.4	5	0.2
N.C. : 20 µg/m³										
V.T.R. : 26,2 µg/m³	Maximum de la moyenne journalière	20 le 01/10/2008	8 le 30/05/2009	12 le 20/10/2010	2 Plusieurs dates	2 le 27/06/2012	2 le 13/04/2013	1 Plusieurs dates	293 le 21/05/2015	43 le 18/09/2016

Tableau 9 : Résultats de mesures en SO₂ (µg/m³) relevées sur la station **BMU** de février 2008 à décembre 2016.

Dioxyde de soufre (SO ₂)		Année								
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
S.A. : 500 µg/m³	Maximum de la moyenne horaire (µg/m ³) (Date et Heure)	-	-	533 le 23/10/2010 à 02h00	6 le 01/11/2011 à 04h00	5 le 17/02/2012	11 le 12/11/2013	9 le 04/02/2014	353 le 19/05/2015	92 le 26/05/2016
S.I.R. : 300 µg/m³										
V.L. : 350 µg/m³	Nombre de moyenne horaire (> 350 µg/m ³)	-	-	7	0	0	0	0	1	0
V.L. : 125 µg/m³	Nombre de moyenne journalière (> 125 µg/m ³)	-	-	0	0	0	0	0	0	0
O.Q.L.T. : 50 µg/m³	Moyenne annuelle (µg/m ³)	-	-	5	1	1	0.5	0.5	2	0
N.C. : 20 µg/m³										
V.T.R. : 26,2 µg/m³	Maximum de la moyenne journalière	-	-	111 le 23/10/2010	2 Plusieurs dates	3 le 23/08/2012	3 le 25/12/2013	3 le 04/02/2014	88 le 19/05/2015	12 le 26/05/2016

Tableau 10 : Résultats de mesures en SO₂ (µg/m³) relevées sur la station **GCO** d'octobre 2010 à décembre 2016.

Les **tableaux 9** et **10** présentent les données relevées à l'aide d'analyseurs automatiques de dioxyde de soufre (SO₂) sur les stations BMU et GCO durant la période de février 2008 à décembre 2016.

D'après les données relevées sur la station BMU de 2008 à 2014 :

- Aucun dépassement du seuil d'alerte (S.A.) n'a été constaté ;
- Aucun dépassement du seuil d'information et de recommandation (S.I.R.) n'a été constaté ;
- Aucune valeur limite (V.L.) horaire et/ou journalière pour la protection de la santé humaine n'a été dépassée ;
- La valeur toxicologique de référence (V.T.R.) n'a pas été dépassée.

En revanche, durant l'année 2016, la VTR a été dépassée sur la station BMU. Durant l'année 2015, plusieurs dépassements de seuils réglementaires ont également été constatés sur cette station. Les dépassements de la VL (horaire et journalière) ainsi que celles de la VTR sont présentés dans les **tableaux 9** et **10**.

D'après les données relevées sur la station GCO de 2011 à 2014 et en 2016 :

- Aucun dépassement du seuil d'alerte (S.A.) n'a été constaté ;
- Aucun dépassement du seuil d'information et de recommandation (S.I.R.) n'a été constaté ;
- Aucune valeur limite (V.L.) horaire et/ou journalière pour la protection de la santé humaine n'a été dépassée ;
- La valeur toxicologique de référence (V.T.R.) n'a pas été dépassée.

Toutefois, en 2010 et en 2015, plusieurs dépassements de seuils réglementaires ont été constatés sur cette station. Les dépassements de la VL (horaire et journalière) ainsi que celles de la VTR sont présentés dans les **tableaux 9** et **10**.

Les dépassements du niveau critique pour la végétation et de la VTR relevés sur la station BMU en 2015 et en 2016 ainsi que sur ceux relevés sur la station GCO en 2010 et en 2015 sont présentés dans le **tableau 11** ci-après. Durant l'année 2015, il y a eu 4 éruptions dont deux importantes, en mai et en septembre 2015.

En mai 2015, d'après les bulletins d'activités du 22/05/2015 et du 30/05/2015 émis par l'OVPF/IPGP, l'éruption qui a débuté le dimanche 17 mai 2015 à 09h45 s'est poursuivie jusqu'à la disparition du trémor éruptif le 30 mai 2015 à 20h50 (cf. **figure 11a**). Parallèlement, des fortes concentrations en SO₂ sont relevées du 18/05 au 22/05/2015 sur les stations BMU et GCO (cf. **figure 11b**).

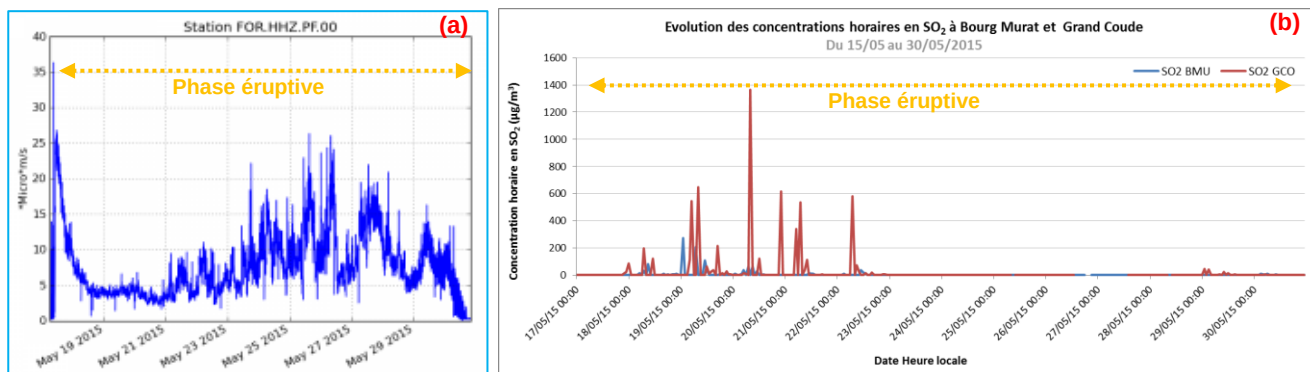


Figure 11 : Evolution (a) du trémor (intensité sismique) relevé sur la station FOR (**Source :** ©OVPF/IPGP) et (b) des concentrations horaires en SO₂ relevées sur BMU et GCO du 17/05 au 30/05/2015 respectivement.

Il y a une forte corrélation entre les activités volcaniques du Piton de La Fournaise et les différents épisodes de pollution (VL et VTR) en SO₂ relevés sur les stations BMU et GCO en 2010, 2015 et 2016.

Date	[SO ₂] > VL & VTR	
	SO ₂ BMU ($\mu\text{g/m}^3$)	SO ₂ GCO ($\mu\text{g/m}^3$)
15/10/2010	4.4	31.3
18/10/2010	2.5	70.7
20/10/2010	12	39.6
21/10/2010	2.1	36.9
23/10/2010	7.8	111.1
18/05/2015	87.2	40.3
19/05/2015	129.4	88.4
20/05/2015	153.9	17
21/05/2015	292.6	10.5
22/05/2015	268.2	9.7
27/08/2015	53.4	2.4
30/08/2015	6.3	40.5
21/09/2015	218.6	0.5
22/09/2015	7.5	27.7
08/10/2015	29	0.5
18/09/2016	42.5	0

> VL journalière
> VL journalière & VTR

Tableau 11 : Dépassements en SO₂ ($\mu\text{g/m}^3$) de la VL journalière et de la VTR sur les stations BMU et GCO de février 2008 à décembre 2016.

La **figure 12** présente les résultats de la simulation de dispersion du panache du Piton de la Fournaise effectuée par le LACy (Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones) à l'aide de l'outil flexfire le 25/08/2015 à 06h00 (**fig. 12.a**), à 10h00 (**fig. 12.b**) et 18h00 (**fig. 12.c**) UTC et le 26/08/2015 à 07h00 (**fig. 12.d**) UTC (11h locale) pour le niveau d'altitude 2 400m.

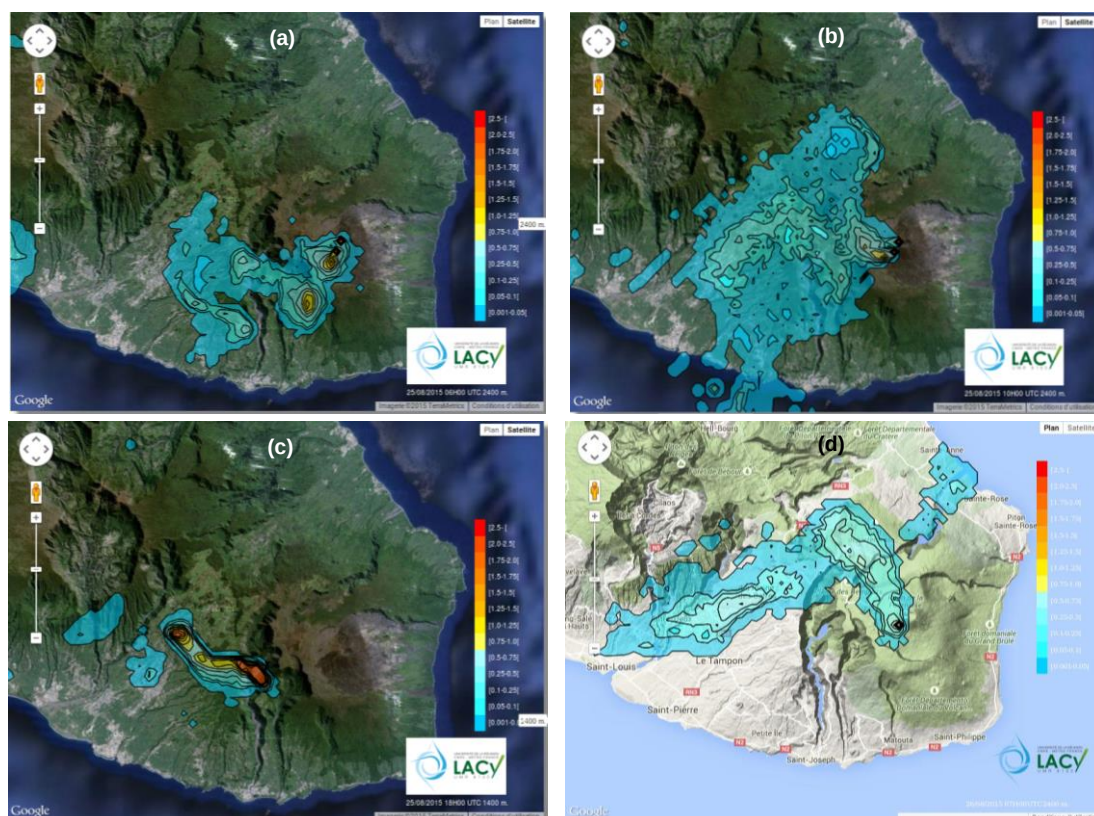


Figure 12 : Simulation de dispersion du panache du Piton de la Fournaise effectuée à l'aide de flexfire le 25/08/2015 à (a) 06h00, (b) 10h00 et (c) 18h00 UTC et (d) le 26/08/2015 à 07h00 UTC (d) (**Source** : LACy ; Imagerie ©2015 TerraMetrics ; ©2015Google).

En fonction des conditions météorologiques et du fait du relief accidenté de l'île, le panache a tendance à se déplacer vers le nord-ouest, avec une partie qui se dirige en direction de Saint-Louis (cf. **figure 12.d**). A cette date, les vents sont relativement faibles et se dirigent vers le Nord en milieu d'après-midi.

Pendant la nuit et en début de matinée, en conditions de brise de terre, les zones de Bourg Murat et Grand Coude sont impactées par les panaches alors qu'en conditions de brise de mer durant la journée et l'après-midi, c'est plutôt la zone de Bourg Murat qui est plus impactée. Tout ceci est confirmé par les fortes concentrations de SO₂ relevées sur les stations BMU et GCO (cf. **tableau 10**), suite au transport des masses d'air via les ravines et les remparts.

Les dépassements du S.A. et du S.I.R. relevés sur les stations BMU et GCO en 2010 et en 2015 sont présentés dans le **tableau 12** ci-après. Durant l'année 2010, les données météorologiques n'étaient pas disponibles sur les stations BMU et GCO.

D'après les données relevées en 2010 et en 2015 :

- 6 dépassements du seuil d'alerte (S.A.) ont été constatés, dont 4 en mai 2015 et 2 en septembre 2015 sur la station BMU ;
- 7 dépassements du seuil d'information et de recommandation (S.I.R.) ont été constatés sur la station GCO, dont 6 en octobre 2010 et 1 en mai 2015 ;
- 25 dépassements du seuil d'information et de recommandation (S.I.R.) ont été constatés sur la station BMU, dont 23 en mai 2015 et 2 en octobre 2015.

Lors des différents dépassements des seuils réglementaires sur la station BMU en 2015, les vents dominants provenaient essentiellement de l'Est, soit du volcan Piton de La Fournaise, avec un transport des masses d'air via les ravines et les remparts. Il en est de même pour le dépassement constaté le 19/05/2015 sur la station GCO, avec une provenance des vents plutôt du secteur NE, soit du volcan.

Année 2015	[SO ₂] > SIR		Origine des vents	
	SO ₂ _BMU (µg/m ³)	SO ₂ _GCO (µg/m ³)	DV_BMU	DV_GCO
18/05/2015 01:00	319	0	NNE	NE
19/05/2015 00:00	3	353	NE	NE
19/05/2015 05:00	543	180	ENE	NE
19/05/2015 07:00	319	206	ENE	NE
19/05/2015 08:00	646	218	NNE	NE
20/05/2015 08:00	1367	35	NE	ONO
20/05/2015 22:00	615	1	NNE	N
20/05/2015 23:00	309	1	NE	N
21/05/2015 00:00	454	1	NE	N
21/05/2015 01:00	509	1	NNE	N
21/05/2015 03:00	860	1	NE	ONN
21/05/2015 04:00	629	1	NE	N
21/05/2015 05:00	338	3	NE	N
21/05/2015 06:00	719	7	NE	N
21/05/2015 07:00	537	20	NNE	N
21/05/2015 11:00	421	16	ONN	SSE
21/05/2015 12:00	354	10	N	SSO
21/05/2015 21:00	328	2	NE	N
21/05/2015 23:00	526	4	ENE	S
22/05/2015 00:00	689	3	ENE	SSE
22/05/2015 01:00	882	3	NE	ESE
22/05/2015 02:00	1014	7	NNE	SSO
22/05/2015 03:00	1057	12	NE	ONO
22/05/2015 04:00	922	13	NE	NO
22/05/2015 05:00	493	15	ENE	ONN
22/05/2015 06:00	708	23	ENE	OSO
22/05/2015 07:00	582	16	ENE	ONO
22/05/2015 08:00	431	14	NNE	O
21/09/2015 19:00	1180	1	NE	S
21/09/2015 20:00	1186	1	NE	S
21/09/2015 21:00	1728	1	NE	SSE
21/09/2015 22:00	983	1	NE	SSE

Année 2010	[SO ₂] > SIR	
	SO ₂ _BMU (µg/m ³)	SO ₂ _GCO (µg/m ³)
18/10/2010 07:00	2	387
18/10/2010 08:00	3	311
23/10/2010 01:00	56	523
23/10/2010 02:00	42	533
23/10/2010 03:00	18	395
23/10/2010 04:00	10	391

	> SA
	> SA & SIR

Tableau 12 : Bilan des dépassements du SIR et du SA en SO₂ (µg/m³) relevées sur les stations BMU et GCO de février 2008 à décembre 2016.

1.9 Commentaires

Evolution des concentrations journalières en SO₂ sur BMU et GCO en 2010, 2015 et 2016 :

La **figure 13** présente l'évolution des concentrations journalières en SO₂ sur les stations BMU et GCO en 2010, 2011 (pas d'éruption), 2015 et 2016, années durant lesquelles les différents dépassements de seuils réglementaires (NC et VTR) ont été relevés. En l'absence d'éruption volcanique (en 2011 ; **fig. 13.a**), la concentration journalière en SO₂ relevée sur les stations BMU et GCO demeure très faible voire négligeable ($< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{jour}$).

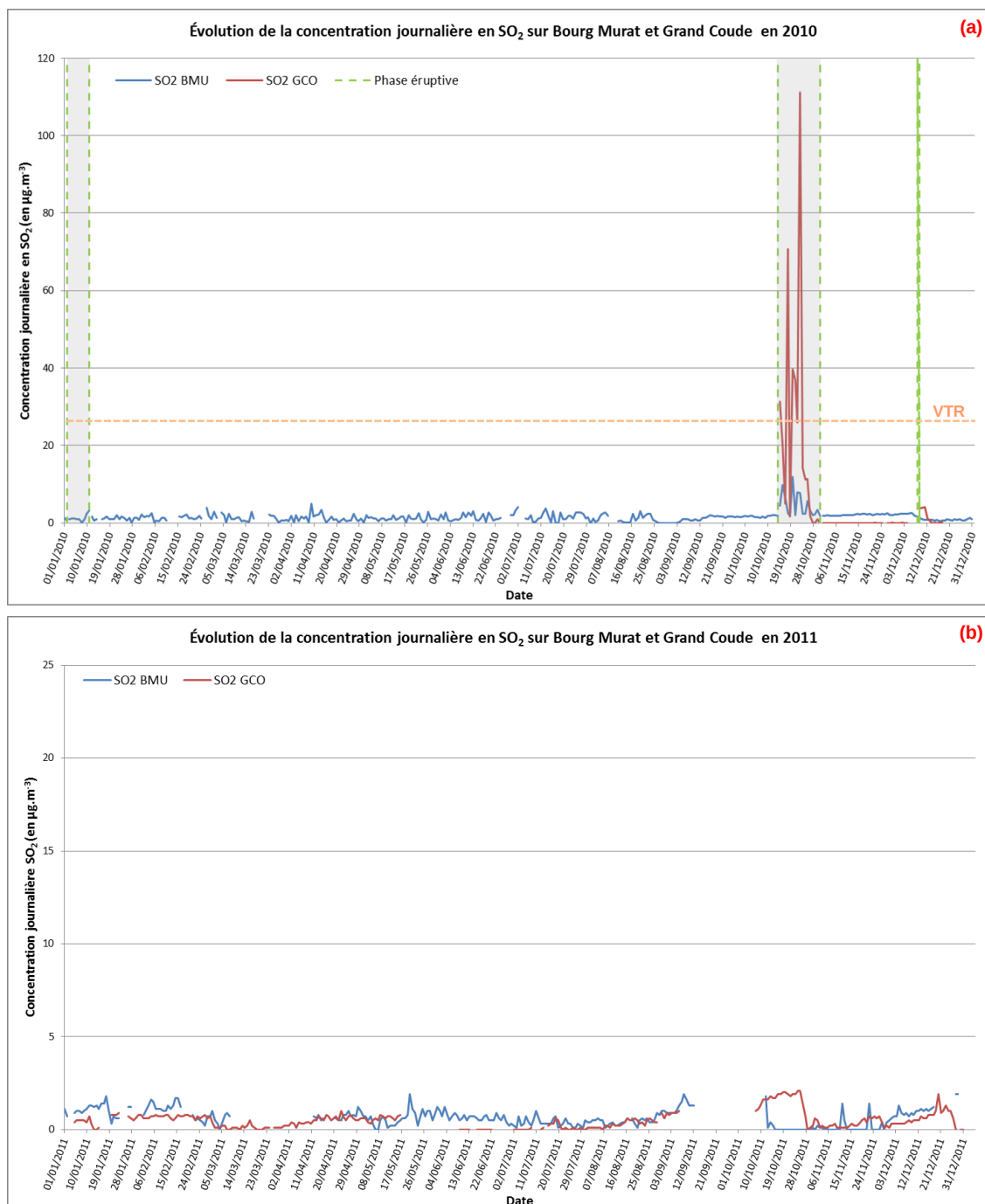


Figure 13 : Evolution des concentrations journalières en SO₂ sur les stations BMU et GCO en (a) 2010 et (b) 2011 (absence d'éruption).

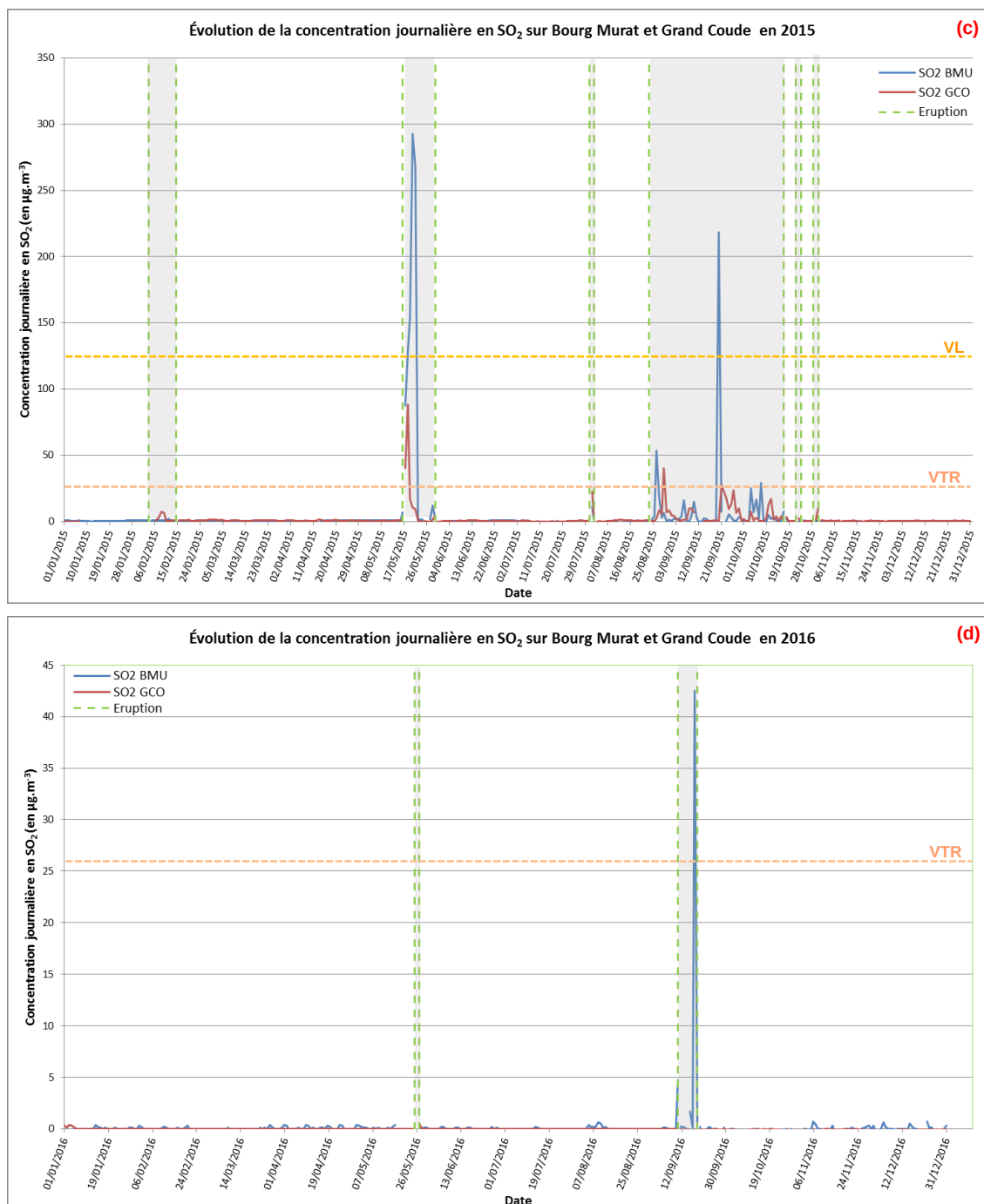


Figure 13 (suite) : Evolution des concentrations journalières en SO₂ sur les stations BMU et GCO en (c) 2015 et (d) 2016.

Zoom sur l'épisode de pollution en SO₂ relevé sur les stations BMU et GCO en mai 2015

La **figure 14** présente l'évolution de la concentration horaire en SO₂ relevée sur les stations BMU et GCO du 15 mai au 24 mai 2015. On relève les différents dépassements du SIR et du SA pour le SO₂ sur la période du 18/05/2015 à 01h00 au 22/05/2015 à 8h00 sur les stations BMU et GCO.

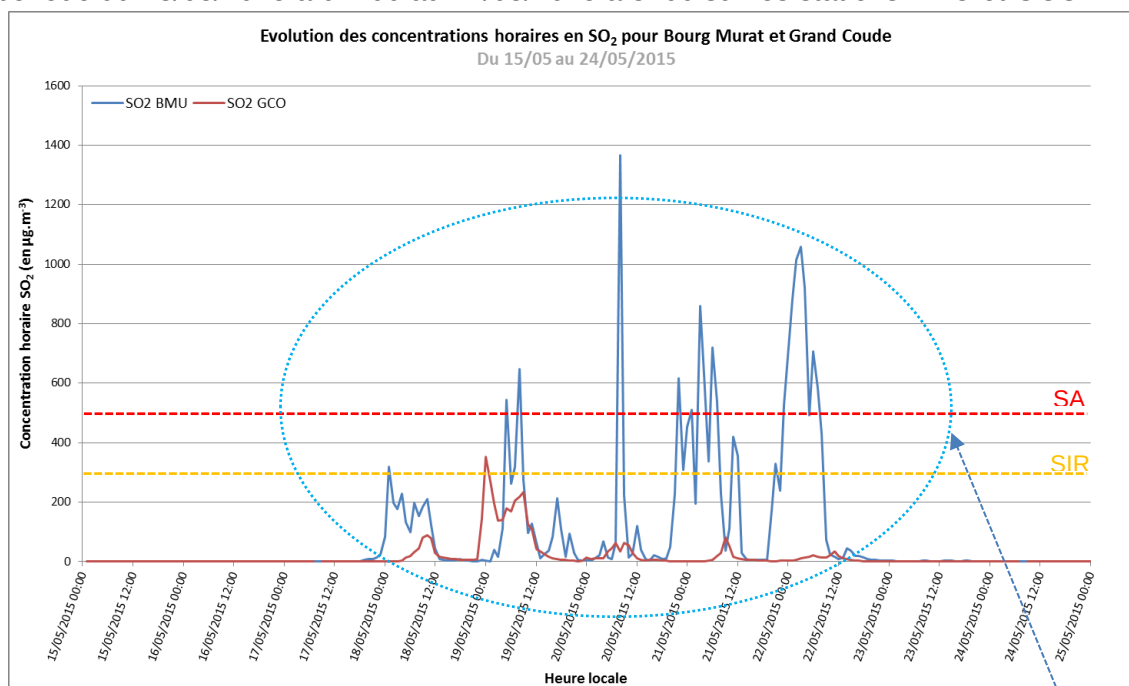


Figure 14 : Evolution des concentrations horaires en SO₂ sur les stations BMU et GCO du 15/05/2015 au 24/05/2015.

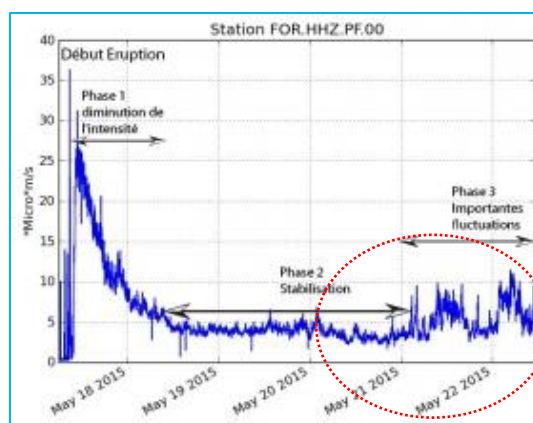


Figure 15 : Evolution du tremor (intensité sismique) relevé sur la station FOR du 17/05 au 22/05/2015 (**Source** : ©OVPF/IPGP).

Depuis le début de cette éruption le 17 mai 2015, dans son bulletin d'activité du 22 mai 2015 à 19h00, l'OVPF/IPGP indique que le trémor a montré des fluctuations importantes, avec des périodes durant lesquelles son niveau a doublé (cf. **fig. 15**). Selon ce bulletin, depuis le début de cette éruption, 101 séismes volcano-tectoniques (20/j en moyenne) ont été identifiés ainsi que 28 effondrements. Le flux de SO₂ mesuré par l'OVPF a atteint un pic le 17 mai 2015, avec une dispersion principale du panache dans le secteur Nord (Partage) et Ouest (enclos). Cette phase éruptive (cf. **fig. 15**) est corrélée aux pics et aux dépassements de seuils réglementaires en SO₂ relevés sur BMU et GCO (cf. **fig. 14**).

La photographie prise à proximité du point éruptif par l'OVPF le 24 mai 2015 montre qu'au niveau de l'activité volcanique, la hauteur des fontaines de lave semble être similaire à celles du 20/05/2015, avec d'importantes émanations de gaz, notamment du dioxyde de soufre (cf. **figure 16** ci-après).



Figure 16 : Photographie prise par l'équipe de l'OVPF lors de l'observation du 24/05/2015 (**Source :** ©OVPF/IPGP).

La rose des vents calculée durant l'épisode de dépassement des seuils réglementaires en SO_2 du 15/05/2015 au 24/05/2015 montrent que les vents dominants proviennent principalement du secteur NNE (Nord à nord-est) (cf. **figure 17**). Durant cette période, de très fortes concentrations en SO_2 proviennent principalement du secteur NE (nord-est), par des processus dynamiques et d'écoulement des masses d'air contaminées en SO_2 via les ravines et les remparts (cf. **figure 17**). Parallèlement, les concentrations en SO_2 relevées sur la station GCO sont relativement faibles ($\sim 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et proviennent principalement du secteur Ouest.

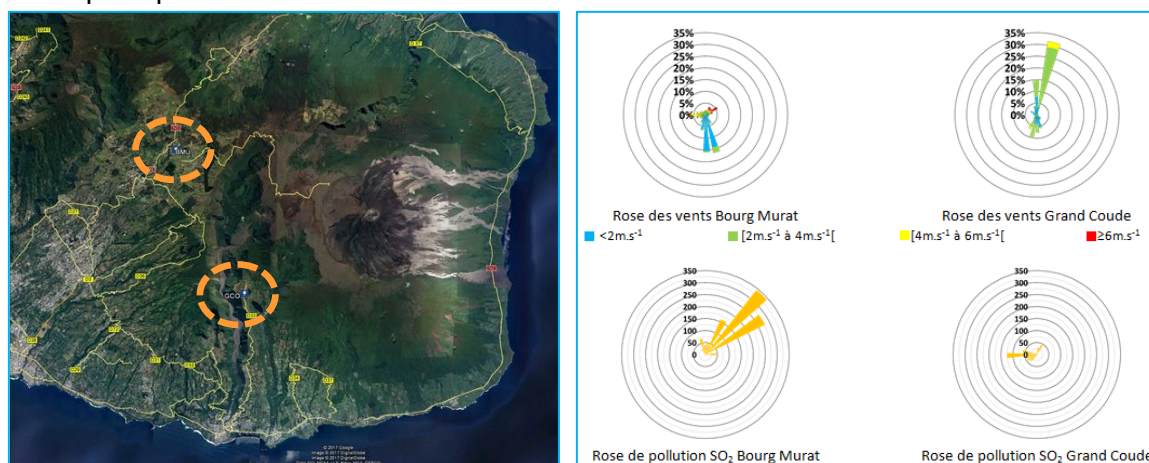


Figure 17 : Rose des vents et de pollution en SO_2 sur les stations BMU et GCO du 15/05/2015 au 24/05/2015.

Lors des dépassements du seuil d'information et de recommandation (SIR) ainsi que du seuil d'alerte (SA) en SO_2 relevé le 22/05/2015 sur la station BMU, l'image satellite Aura/OMI montre qu'à cette date les panaches de SO_2 émis par le volcan ont impacté d'autres régions de l'île (cf. **figure 18**).

Il en est de même pour les dépassements du SIR relevés sur les stations BMU et GCO le 19/05/2015, date à laquelle les zones du Tampon et de Grand Coude ont été impactées par les panaches de SO_2 émis par le volcan (cf. **figure 18**).

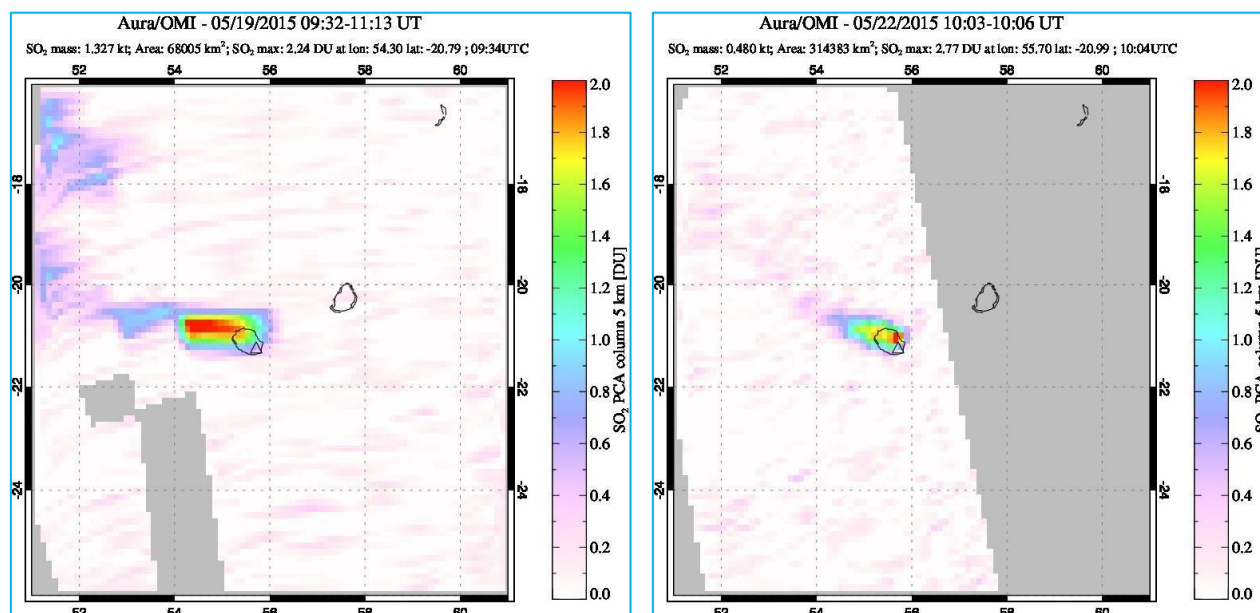


Figure 18 : Distribution spatiale de la concentration (intégrée sur une colonne de 5 km) en SO₂ (en DU) calculée au niveau régional à La Réunion le 19/05/2015 à 09h32 TU et le 22/05/2015 à 10h03 TU (**Source :** Aura/OMI, GSFC, Nasa).

Zoom sur l'épisode de pollution en SO₂ relevé sur la station BMU en septembre 2015

La **figure 19** présente l'évolution de la concentration horaire en SO₂ relevée sur les stations BMU et GCO du 19 septembre 2015 au 24 septembre 2015. On relève le dépassement du SIR le 21/09/2015 à 19h00 et du SA le 21/09/2015 de 21h00 à 22h00 sur la station BMU (cf. **figure 19**). Parallèlement, la concentration en SO₂ relevée sur la station GCO est faible.

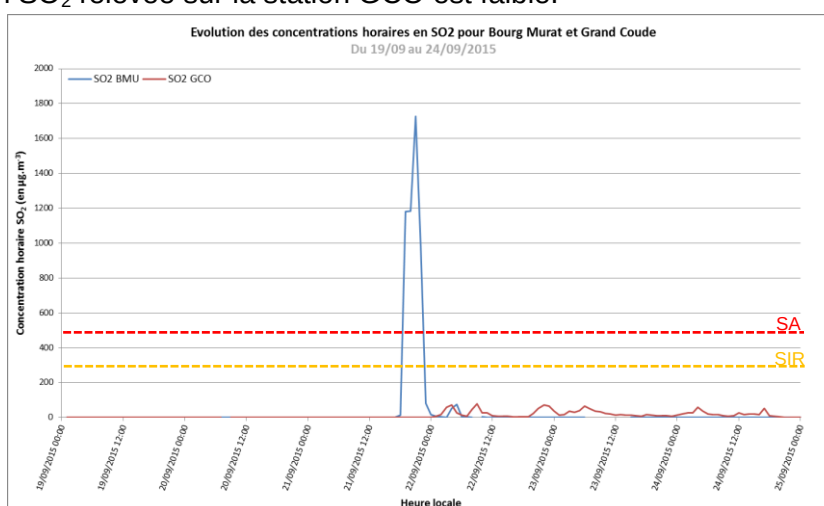


Figure 19 : Evolution des concentrations horaires en SO₂ sur les stations BMU et GCO du 19/09/2015 au 24/09/2015.

Depuis le début de cette nouvelle éruption, soit le 14 juillet 2015 à 00h50, dans son bulletin d'activité du 24 septembre 2015 à 10h00, l'OVPF indique que la situation est stabilisée, qu'il s'agisse de la sismicité, des déformations et des flux de gaz. L'ensemble des indicateurs reste cependant à des niveaux élevés, comme il a été précisé dans ses derniers bulletins de l'OVPF.

La **figure 20** présente le RSAM (intensité sismique) enregistré par la station Rivals (RVL) du 26/08/2015 au 22/09/2015.

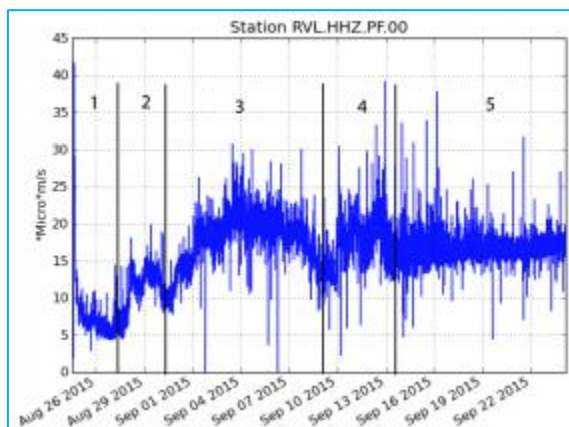


Figure 20 : RSAM (intensité sismique) enregistré par la station Rivals depuis le début de l'éruption (**Source** : ©OVPF/IPGP).

Depuis le 24 août 2015, d'après l'OVPF, 5 phases d'activités sismiques sont distinguées, avec une activité importante observée le 21/09/2015 soir durant laquelle des fortes concentrations (> SIR et SA) en SO₂ ont été enregistrées sur la station BMU (cf. **figure 20**).

La **figure 21** présente la rose des vents calculée du 19/09/2015 au 24/09/2015, soit durant l'épisode de dépassement des seuils réglementaires en SO₂ du 21/09/2015. Celle-ci montre que les vents dominants proviennent principalement du secteur Nord et en partie du sud-ouest sur la station BMU et du secteur Nord et Sud sur la station GCO (cf. **figure 21**).

Durant cette période, des très fortes concentrations de SO₂ proviennent principalement du secteur NE (nord-est), soit des panaches du volcan, via des processus dynamiques (transport) et d'écoulement des masses d'air contaminées par les ravines et les remparts. Parallèlement, sur la station GCO, les concentrations en SO₂ relevées sont relativement faibles (~50 µg/m³) et proviennent du secteur Ouest et en partie du nord-est.

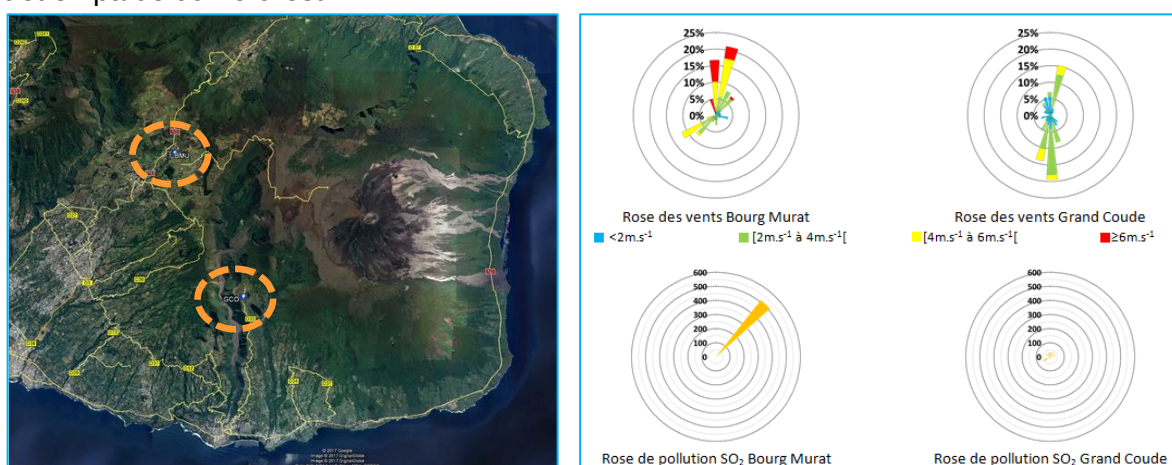


Figure 21 : Rose des vents et de pollution en SO₂ sur les stations BMU et GCO du 19/09/2015 au 24/09/2015.

Lors du dépassement du seuil d'alerte en SO_2 relevé le 21/09/2015, l'image satellite Aura/OMI montre qu'à cette date la zone du Tampon a de nouveau été impactée par les panaches de SO_2 émis par le volcan (cf. **figure 22**).

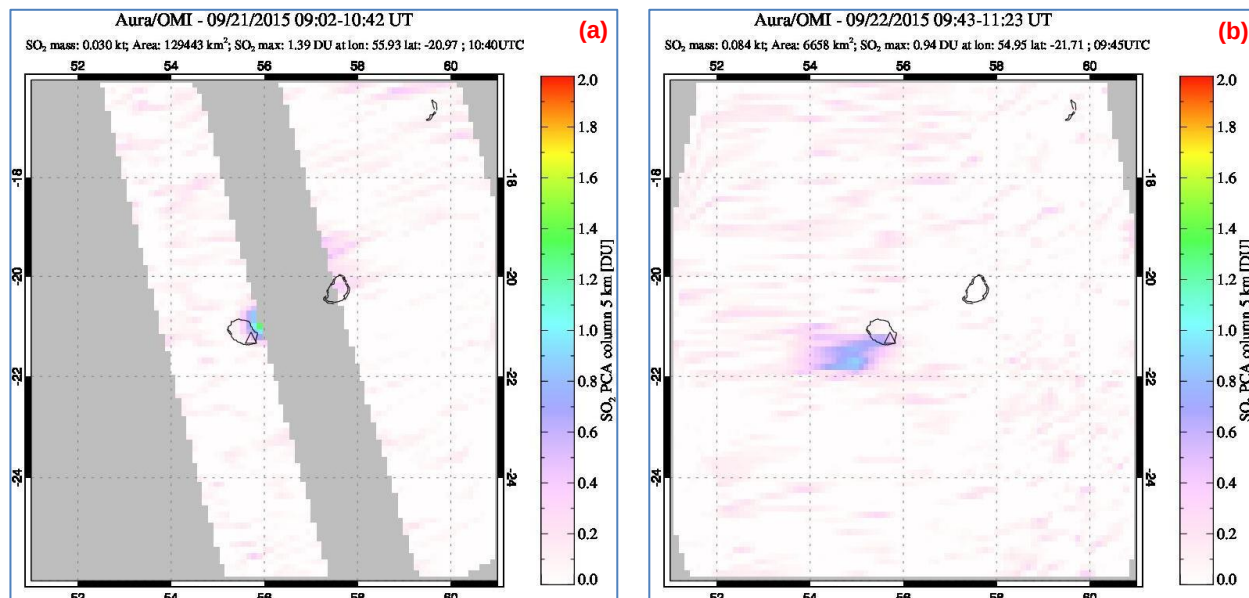


Figure 22 : Distribution spatiale de la concentration en SO_2 calculée au niveau régional à La Réunion (a) le 21/09/2015 à 09h02 TU et (b) le 22/09/2015 à 09h43 TU (**Source :** Aura/OMI, Goddard Space Flight Center, Nasa).

Durant les différents épisodes d'éruption volcaniques en 2015, des forts dégazages ont été constatés, comme attestées par les photographies prises par les caméras de l'OVPF (cf. **figure 23** ci-après).

La **figure 23** ci-après présente des photographies de l'éruption prises par les caméras de l'IPGP/OVPF à partir du (a) Piton Partage le 31/07/2015 soir et (b) Piton de Bert le 22/09/2015 matin (date à laquelle un SA a été enregistré sur BMU), illustrant la dispersion notable des panaches.

Le point d'éruption, l'intensité du trémor, les vents, les pluies et le relief très accidenté de l'île conditionnent la distribution spatiale du panache émis par le volcan lors des éruptions et influencent les concentrations de SO_2 relevées sur les stations BMU et GCO.



Figure 23 : Photographies de l'éruption prises par les caméras de l'IPGP/OVPF à partir du (a) Piton Partage le 31/07/2015 soir et (b) Piton de Bert le 21/09/2015 matin (**Source :** ©OVPF/IPGP).

Différences observées entre émissions et immissions de SO₂ lors d'éruptions

D'une manière générale, avec les moyens techniques et outils disponibles actuellement, il est difficile d'appréhender l'exposition de la population réunionnaise à la pollution en SO₂ induite par les émanations du volcan suite à la variabilité des différents paramètres et processus en jeu. Le point d'éruption dans l'enclos, les conditions météorologiques, le relief accidenté de l'île, la dynamique atmosphérique, la hauteur de la couche limite marine et la couche d'inversion, sont autant de facteurs qui vont influencer les concentrations de SO₂ relevées au niveau du sol.

La carte satellite du 03/10/2015 à 9h26 TU (cf. **figure 24.a**) montre que le panache de SO₂ en altitude a impacté les secteurs sud-ouest et Nord à Est de La Réunion et celle du 06/10/2015 à 9h57 TU montre que quasiment l'ensemble de La Réunion est impactée par le panache de SO₂ en altitude (cf. **figure 24.b**).

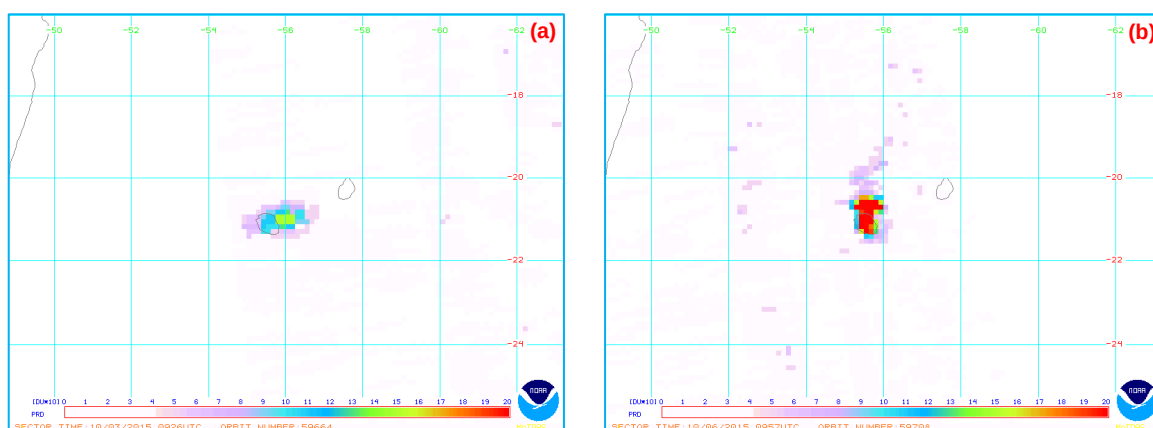


Figure 24 : Distribution spatiale de la concentration en SO₂ au niveau régional à La Réunion (a) le 03/10/2015 à 09h26 TU et (b) le 06/10/2015 à 09h57 TU (**Source :** NOAA, Nasa).

Le bulletin d'activité de l'OVPF du 17 octobre 2015 montre que l'éruption qui a débuté le 24/08/2015 à 18h50 se poursuit. D'après ce bulletin, les indicateurs géophysiques et géochimiques continuent à montrer des évolutions très nettes depuis le 12/10/2015. Depuis le 24/09/2015, l'intensité du trémor éruptif évolue à la hausse. La **figure 25** montre clairement que depuis le 12/10/2015 la pente est très forte, avec un saut le 14/10/2015.

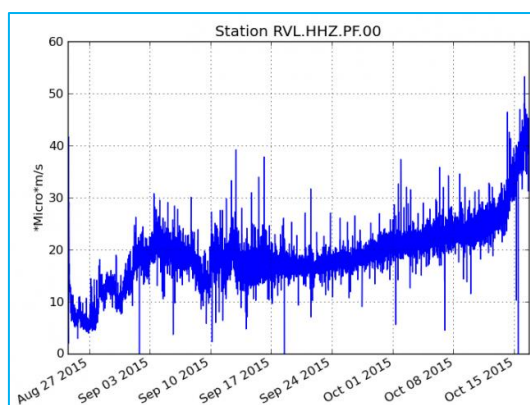


Figure 25 : Evolution de l'intensité du signal sismique (RSAM) sur les dernière 24H le 30/10/2015 (**Source :** OVPF/IPGP).

Parallèlement, sur les stations de mesures, les concentrations en SO₂ relevées lors du passage des satellites le 03/10/2015 et le 06/10/2015 sont négligeables (cf. **tableau 13**).

Date Heure	SO ₂ _BMU (µg/m ³)	SO ₂ _GCO (µg/m ³)
01/10/2015 04:00	0.3	0
01/10/2015 05:00	0	0
01/10/2015 06:00	1	0
01/10/2015 07:00	3.3	0
06/10/2015 04:00	3	1
06/10/2015 05:00	4	1
06/10/2015 06:00	4.5	1.3
06/10/2015 07:00	7	1.3

 Horaire de passage du satellite

Tableau 13 : Concentration horaire en SO₂ relevée sur BMU et GCO lors du passage du satellite le 03/10/15 et le 06/10/15.

Ces résultats montrent que la pollution observée en altitude n'est pas forcément relevée in-situ, sur les stations de mesures au niveau de la surface terrestre, notamment à cause de la variabilité des différents processus tels que la dynamique atmosphérique et les conditions météorologiques locales. Par ailleurs certaines zones habitées non couvertes (ex. l'Est de l'île) ont pu être impactées par des panaches d'origine volcanique.

2.0 Conclusion

L'objectif de cette étude est de déterminer la contribution d'origine volcanique sur les dépassements de seuils réglementaires en dioxyde de soufre (SO₂) constatés sur les stations de Bourg Murat et de Grand Coude, dans le cadre d'un rapportage des données auprès de la Commission européenne.

Durant la période de 2005 à 2008, des campagnes de mesures ont été réalisées par l'ORA à l'aide de tubes à échantillonnage passif de SO₂ sur 24 sites des communes localisées autour du volcan.

Depuis le début de la surveillance du SO₂ autour du volcan (2005), en fonction du point d'éruption, les zones habitées le plus régulièrement impactées par les panaches du volcan sont notamment, Le Tremblet, Le Pas de Bellecombe, Basse Vallée, Grand Coude et Bourg Murat. Ce suivi a permis de prédéfinir deux zones, à Bourg Murat et à Grand Coude, pour l'implantation de 2 stations de surveillance.

Du 1^{er} mars 2008 au 31 décembre 2016, l'ORA a mené une surveillance atmosphérique sur les stations de surveillance BMU (commune du Tampon) et GCO (commune de Saint-Joseph).

À l'aide d'analyseurs automatiques, les concentrations en dioxyde de soufre (SO₂) ont été relevées durant cette période de surveillance sur ces deux stations.

Au vu des résultats de cette surveillance, il apparaît, pour le dioxyde de soufre (SO₂), que les normes réglementaires ont été dépassés à plusieurs reprises en 2010, 2015 et 2016 sur ces stations de surveillance (cf. **tableaux 9 et 10**).

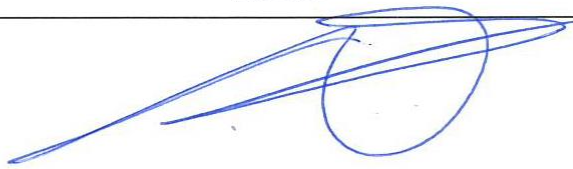
L'analyse des données de SO₂ avec celles des paramètres météorologiques, géophysiques et satellitaires ont montré que l'origine des dépassements des seuils réglementaires en SO₂ relevées sur les stations BMU et GCO sont essentiellement liées aux éruptions volcaniques du Piton de La Fournaise. Par contre, les fortes intensités du trémor relevées lors des éruptions ne sont pas systématiquement corrélées aux fortes concentrations de SO₂ relevées. En effet, la distribution spatiale des panaches est régie notamment par le relief très accidenté de l'île, l'intensité des sources d'émission des panaches et les conditions météorologiques locales et à méso-échelle. Le temps de réponse d'une station de mesure dépend donc de ces différents facteurs.

DIFFUSION

⇒ *DEAL de La Réunion.*

MISE A JOUR

INDICE	DATE	OBJET DE LA MODIFICATION	PAGE(S) MODIFIEES
A	29 novembre 2017	Bilan des résultats de mesures de SO ₂ réalisées sur 9 à 24 sites autour du volcan de 2005 à 2008 et sur les stations BMU et GCO de 2008 à 2016	Toutes

	REDIGE PAR	REU PAR
NOM	Chatrapatty BHUGWANT	Bruno SIEJA
FONCTION	Ingénieur d'études/Chef de Projets Polluants réglementés	Directeur
VISA		

Conditions de diffusion :

- L'ensemble des données relatives aux mesures de la qualité de l'air dans le cadre de cette surveillance est disponible sur le site internet de l'ORA à l'adresse suivante : <http://www.atmo-reunion.net>
- Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'ORA.
- Les rapports et données ne seront pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à ORA en termes de : nom de l'étude (**Réalisation d'une étude historique visant à mettre en corrélation les dépassements de dioxyde de soufre relevés sur les stations Bourg Murat et Grand Coude et les éruptions volcaniques du Piton de la Fournaise**) ».
- L'ORA ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations, travaux intellectuels et/ou publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

2.1 Liste des documents externes

Publications

- Bhugwant C., B. Siéja, L. Perron, E. Rivière et T. Staudacher, Impact régional du dioxyde de soufre d'origine volcanique induit par l'éruption du Piton de La Fournaise (Ile de La Réunion) en juin-juillet 2001, **Pollution Atmosphérique**, n° 176, 527-539, octobre-décembre 2012.
- Bhugwant C., B. Siéja, M. Bessafi, T. Staudacher et J. Ecomier, Atmospheric sulfur dioxide measurements during the 2005 and 2007 eruptions of the Piton de La Fournaise volcano: Implications for human health and environmental changes, **Journal of Volcanology and Geothermal Research : JVGR**, Vol. 184, Issues 1-2, Pages 208-224, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.04.012>, July 2009.
- Tulet, P., Di Muro, A., Colomb, A., Denjean, C., Duflot, V., Arellano, S., Foucart, B., Brioude, J., Sellegri, K., Peltier, A., Aiuppa, A., Barthe, C., Bhugwant, C., Bielli, S., Boissier, P., Boudoire, G., Bourriane, T., Brunet, C., Burnet, F., Cammas, J.-P., Gabarro, F., Galle, B., Giudice, G., Guadagno, C., Jeamblu, F., Kowalski, P., Leclair de Bellevue, J., Marquestaut, N., Mékies, D., Metzger, J.-M., Pianezze, J., Portafaix, T., Sciare, J., Tournigand, A., and Villeneuve, N., First results of the Piton de la Fournaise STRAP 2015 experiment: multidisciplinary tracking of a volcanic gas and aerosol plume, **Atmos. Chem. Phys.**, 17, 5355-5378, <https://doi.org/10.5194/acp-17-5355-2017>, 2017.

Réglementation et guides associés aux textes réglementaires

- Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 du ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat, relatif à la qualité de l'air.
- ADEME, Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air. ADEME Éditions, référence 4307, Paris, 2002.
- NF EN 14212 - Air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde de soufre par fluorescence UV.
- Arrêté du 21 Octobre 2010, relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public, octobre 2010.
- Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, mai 2008.
- Arrêté préfectoral n° 2011-1320/SG/DRCTCV du 2 septembre 2011 relatif à la procédure d'information et d'alerte du public, et de mesures d'urgence, en cas d'épisodes de pollution atmosphérique.
- Arrêté préfectoral n° 2016 - 907/SG/DRCTCV du 23 mai 2016 relatif au déclenchement des procédures d'information, de recommandation et d'alerte en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant par le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), les fines particules en suspension (PM₁₀) et l'ozone (O₃).
- Arrêté préfectoral n°4518 du 15/09/2014 approuvant le dispositif départemental ORSEC « volcan piton de la Fournaise », daté du 24/08/2015.
- Arrêté préfectoral n°4518 du 15/09/2014 approuvant le dispositif départemental ORSEC « volcan piton de la Fournaise », daté du 30/10/2015.

Documents externes

- Bulletin d'activité du jeudi 22 mai 2015 à 19h00 (Heure locale), OVPF/IPGP, <http://www.ipgp.fr/fr/dernieres-actualites/344>
- Bulletin d'activité du jeudi 24 septembre 2015 à 10h00 (Heure locale), OVPF/IPGP, <http://www.ipgp.fr/fr/dernieres-actualites/344>