

Evaluation du risque volcanique à La Réunion et prise en compte dans la gestion de crise. Rapport final

hib-2 d7-hia

.89 3740,46 -625.5

hib hz





BRGM/RP-64469-FR

de-hia hib

Février 2015



Evaluation du risque volcanique à La Réunion et prise en compte dans la gestion de crise.

Rapport final

BRGM/RP-64469-FR

Février 2015

S. Bès de Berc

Vérificateur :

Nom : C. Negulescu

Fonction : Ingénieur Structure

Date : 06/03/15

Signature :

Approbateur :

Nom : S. Roy

Fonction : Directeur DAT

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.





Mots-clés : risque volcanique, scénarios, aléa, gestion de crise, La Réunion, Piton de la Fournaise.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Bès de Berc S (2015) – Evaluation du risque volcanique à La Réunion et prise en compte dans la gestion de crise. Rapport final. BRGM/RP-64469-FR, 91 p., 69 fig.

© BRGM, 2015, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Cette étude fait suite à une première phase du projet intitulée « Evaluation du risque volcanique à La Réunion et prise en compte dans la gestion de crise. Phase 1 : analyse de la vulnérabilité des enjeux ¹» réalisée dans le cadre de la convention BRGM/DGPR (MEDDTL) N° CV 0007326 du 16 avril 2010. La première phase du projet comporte également une étude réalisée par l' l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise de l'Institut de Physique du Globe de Paris (OVPF/IPGP), sur l'amélioration de l'aléa volcanique.

L'étude a pour finalité la préparation de documents portant sur la caractérisation des effets des éruptions du Piton de la Fournaise pour la préparation du dispositif Orsec (Sécurité Civile). Il s'agit de permettre aux autorités, aux services de l'état, aux collectivités, et aux entreprises de se préparer à la survenance de scénarios éruptifs inhabituels sur le volcan du Piton de la Fournaise (non envisagés dans la version actuelle Plan de Secours Spécialisé volcan) afin de réduire le risque volcanique à la Réunion.

En accord avec le comité de pilotage lors de la phase 1, la zone d'étude se concentre en particulier sur les 8 communes potentiellement les plus impactées par les aléas volcaniques, à savoir : Saint-Pierre, Petite-Ile, Saint-Joseph, Saint-Philippe, Sainte-Rose, Saint-Benoît, la Plaine-des-Palmistes et le Tampon.

Dans la première phase de l'étude, le BRGM a réalisé un inventaire des enjeux et la caractérisation de leur vulnérabilité face aux différents aléas volcaniques.

L'inventaire, l'évaluation et la cartographie des principaux enjeux a été réalisée à partir des données existantes, accessibles et disponibles. Des groupes d'enjeux ont été définis : population, bâti courant, bâtiments stratégiques, milieu naturel, milieu agricole, réseaux routier et aérien, réseaux d'eau, d'électricité et télécommunications.

Concernant le bâti courant, des typologies ont été affectées aux habitations de la zone étudiée lors de missions sur le terrain. Des courbes de fragilités ont été sélectionnées à partir des résultats d'études antérieures.

Il a été décidé d'effectuer un relevé systématique des bâtiments jugés critiques dans la gestion de crise et les opérations des secours. Sur les 8 communes étudiées, un total de 122 établissements stratégiques a été identifié lors d'une mission de terrain.

L'évaluation de la vulnérabilité des principaux types d'enjeux s'est appuyée sur une analyse bibliographique.

En parallèle, l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (OVPF) a réalisé la caractérisation des aléas volcaniques associés à l'activité récente (derniers 5.000 ans) sur l'ensemble du massif du Piton de la Fournaise (Di Muro et al., 2012² et Di Muro et al, 2015³).

¹ P. Gehl, S. Bès de Berc, V. Bastone et J. Druon (2012) – Evaluation du risque volcanique à La Réunion et prise en compte dans la gestion de crise. Phase 1 : analyse de la vulnérabilité des enjeux. Rapport BRGM/RP-59953-FR –.

² A. Di Muro, P. Bachelery, P. Boissier, P.A. Davoine, P. Fadda, M. Favalli, V. Ferrazzini, A. Finizola, G. Leroi, G. Levieux, P. Mairine, F. Manta, L. Michon, A. Morandi, R. Nave, A. Peltier, C. Principe, T. Ricci, G. Roult, C. Saint-Marc, T. Staudacher, N. Villeneuve (2012) - Evaluation de l'aléa volcanique à La Réunion - Rapport Final – Année I,

L'étude a permis de définir la variabilité des styles éruptifs possibles pour ce volcan basaltique et de quantifier les paramètres qui caractérisent chaque catégorie éruptive (localisation, degré d'explosivité, volume, durée, évolution temporelle et spatiale de l'activité, dispersion des produits éruptifs).

La phase II du projet objet du présent rapport a consisté à évaluer les effets attendus pour chaque type de phénomène à partir des cartes et résultats de la phase 1, et à réaliser 15 scénarios de risque volcanique (croisement des évènements et des enjeux) donnant les impacts des évènements sur le milieu.

Pour chacun des 15 scénarios considérés, les résultats sont présentés selon la même trame :

- contexte des enjeux et vulnérabilités;
- déroulement du scénario
- synthèse des personnes impliquées et des dégâts en distinguant :
 - la population ;
 - les réseaux (routes, eau potable, ...) ;
 - l'agriculture et l'élevage ;
 - les incendies.

Les estimations du nombre de personnes impliquées prennent pour hypothèse de travail qu'il n'y a pas eu d'évacuations préalables des populations. Cependant, en cas d'éruption dans les zones étudiées dans le présent rapport, les précurseurs enregistrés par l'OVPF devraient permettre d'anticiper les zones pouvant être impactées par une éruption, permettant alors l'évacuation préalable et la mise en sécurité des populations.

Les résultats obtenus seront pris en compte pour l'actualisation des documents de gestion de crise (plan ORSEC).

Il convient de noter que le choix de l'emplacement des scénarios permet d'apporter un exemple concret des phénomènes possibles et de leurs conséquences, mais n'exclut pas l'occurrence d'une éruption en d'autres points des communes considérées.

³ A. Di Muro, P. Bachèlery, S. Barsotti, S. Bielli-Bousquet, P. Boissier, N. Braukmuller, Y. Brugier, R. Buettner, R. Carey, C. Cavalière, P.A. Davoine, M. De Michieli-Vitturi, J. Durand, I. Frese, L. Gurioli, P. Mairine, G. Marchini, J. McPhie, N. Métrich, L. Michon, A. Morandi, M. Ort, M. Pichavant, C. Principe, C. Saint-Marc, P.E. Tulet, D. Vergani, N. Villeneuve, G. Walther, G. Wörner, B. Zimanowski (2015) – Evaluation de l'aléa volcanique à La Réunion – Rapport Final – Année II.

Sommaire

1. Glossaire	11
2. Introduction	13
2.1. CONTEXTE	13
2.2. OBJECTIFS	13
2.3. PROGRAMME TECHNIQUE ET RESULTATS ATTENDUS	14
2.4. PRESENTATION DES RESULTATS	16
3. Scenarios	18
3.1. RAPPELS DES DONNEES DE REFERENCE ET DE LA METHOD	OLOGIE18
 3.2. LE TAMPON 3.2.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités 3.2.2. Déroulement du scénario – Type 1a 3.2.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts 	22 22 23 25
 3.3. SAINT-PIERRE 3.3.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités 3.3.2. Déroulement du scénario – Type 1a 3.3.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts 	27 27 28 31
 3.4. SAINT-JOSEPH – SCENARIO A 3.4.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités 3.4.2. Déroulement du scénario – Type 1a 3.4.3. Synthèse des personnes impliquées et desdégâts 	33 33 35 37
 3.5. SAINT-JOSEPH – SCENARIO B 3.5.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités 3.5.2. Déroulement du scénario – Type 1b 3.5.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts 	39 39 41 44
 3.6. SAINT-PHILIPPE – SCENARIO A 3.6.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités 3.6.2. Déroulement du scénario – Type 1a 3.6.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts 	45 45 46 48
 3.7. SAINT-PHILIPPE – SCENARIO B 3.7.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités 3.7.2. Déroulement du scénario – Type 2a 3.7.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts 	49 49 51 54

3.8. PITON I	DE LA FOURNAISE – SCENARIO A	55
3.8.1.Co	ontexte des enjeux et vulnérabilités	55
3.8.2.De	éroulement du scénario – Type 2b	55
3.9. PITON I	DE LA FOURNAISE – SCENARIO B	
3.9.1.Co	ontexte des enieux et vulnérabilités	
3.9.2.De	éroulement du scénario – Type 1a	57
3.10. Pl	TON DE LA FOURNAISE – SCENARIO C	59
3.10.1.	Contexte des enjeux et vulnérabilités	59
3.10.2.	Déroulement du scénario – Type 1a	59
3.11. Pl	TON DE LA FOURNAISE – SCENARIO D	61
3.11.1.	Déroulement du scénario – Type 2a	62
3.11.2.	Synthèse des personnes impliquées et des dégâts	64
3.12. SA	AINTE-ROSE – SCENARIO A	65
3.12.1.	Contexte des enjeux et vulnérabilités	65
3.12.2.	Déroulement du scénario – Type 1b	67
3.12.3.	Synthèse des personnes impliquées et des dégâts	69
3.13. SA	AINTE-ROSE – SCENARIO B	71
3.13.1.	Contexte des enjeux et vulnérabilités	71
3.13.2.	Déroulement du scénario – Type 1b	73
3.13.3.	Synthèse des personnes impliquées et des dégâts	75
3.14. PA	AS DES SABLES – SCENARIO A	77
3.14.1.	Contexte des enjeux et vulnérabilités	77
3.14.2.	Déroulement du scénario – Type 1a	78
3.14.3.	Synthèse des personnes impliquées et des dégâts	79
3.15. PA	AS DES SABLES – SCENARIO B	80
3.15.1.	Contexte des enjeux et vulnérabilités	80
3.15.2.	Déroulement du scénario – Type 1c	81
3.15.3.	Synthèse des personnes impliquées et des dégâts	83
3.16. SA	AINTE-ANNE	85
3.16.1.	Contexte des enjeux et vulnérabilités	85
3.16.2.	Déroulement du scénario – Type 1a	
3.16.3.	Synthèse des personnes impliquées et desdégâts	
4. Conclusions	8	

Liste des illustrations

Figure 1 - Class	ses de dynamises éruptifs du Piton de la Fournaise - Ces 5 classes ont ensuite simplifiées en trois groupes de Scenarios type (Figure 2)	été 5
Figure 2 - Class	ses de dynamises éruptifs du Piton de la Fournaise1	6
Figure 3 - Carte	e globale présentant les zones choisies pour les scénarios ainsi que les coulées choisies pour ces scénarios sur la carte de densité des cônes éruptifs (OVPF) scan IGN©. Les rift zones (axes de districution de l'activité volcanique) sont représentées par les lignes pointillées bleues (axes principaux) et vertes (axes secondaires) – cf. OVPF	et 8
Figure 4 – Dens	sité de cônes (OVPF) 1	9
Figure 5 : Proba	abilité d'effondrement pour les quatre typologies de toitures recensées (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR) – TOIT_T A : toiture de tôle en excelle état (neuve avec en général des renforts anti-cycloniques) ; TOIT_T B : toiture tôle en moyen état ; TOIT_T C : toiture de tôle en mauvais état (forte corrosion plaques métalliques) ; TOIT_TV : toiture avec ouverture en verre ou plastique (lucarne) ; TOIT_D : dalle en béton armé	s ent de des 20
Figure 6 : Carte	e croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune du Tampon sur fonds Scan 25 IGN©2	1 2
Figure 7 : Déco	upage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/F 59953-FR)2	२Р- 23
Figure 8 : Ouve	rture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN© 2	:4
Figure 9 : Exter	nsion des coulées de lave et des cônes de scories du scenario du Tampon. Fon orthophoto IGN©2	ds 24
Figure 10 : Exte	ension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEF les principaux enjeux2	[•] et 25
Figure 11 : Cart	te croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Pierre, secteur de Piton Mont-Vert / Mont-Vert Les Bas sur Scan 25 IGN©2	x I fonds ?7
Figure 12 : Déc	oupage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM 59953-FR)2	/RP- 28
Figure 13 : Ouv	rerture de fissures, formation de fontaines de lave et effondrement du Piton Mon Vert. Fonds orthophoto IGN©2	ıt- 29
Figure 14 : Exte	ension des coulées de lave du scenario de Saint-Pierre. Fonds orthophoto IGN@	930
Figure 15 : Exte	ension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEF les principaux enjeux	⊃ et ⊧1
Figure 16 : Cart	te croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) et les enjeu (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Joseph secteur Manapany sur fonds Scan 25 IGN©3	x 1 3
Figure 17 : Déc	oupage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM 59953-FR)	/RP- 34
Figure 18 : Ouv	rerture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN $@3$	5
Figure 19 : Exte	ension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A de Saint-Jose Fonds orthophoto IGN©3	∍ph. ¦6
Figure 20 : Exte	ension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEF les principaux enjeux	^{>} et 57

Figure 21 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Joseph secteur Langevin sur fonds Scan 25 IGN©
Figure 22 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP- 59953-FR)40
Figure 23 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©41
Figure 24 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B de Saint-Joseph. Fonds orthophoto IGN©
Figure 25 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux
Figure 26 : Carte de densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) sur la commune de Saint-Philippe, secteur du Puys Ramond sur fonds Scan 25 IGN©
Figure 27 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP- 59953-FR)
Figure 28 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©47
Figure 29 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A de Saint-Philippe. Fonds orthophoto IGN©
Figure 30 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Pilippe secteur Piton Mare d'Arzule sur fonds Scan 25 IGN©.
Figure 31 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP- 59953-FR)
Figure 32 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©51
Figure 33 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B de Saint-Philippe. Fonds orthophoto IGN©
Figure 34 : Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scenario B de Saint-Philippe. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm ³
Figure 35 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux
Figure 36 : Carte de densité des cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) au sommet du Piton de La Fournaise sur fonds Scan 25 IGN© et lac de lave
Figure 37 : Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scenario B de Saint-Philippe. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm3
Figure 38 : Carte de densité des cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) au sommet du Piton de La Fournaise sur fonds Scan 25 IGN© et coulées de lave sur le flanc sud du cratère Dolomieu
Figure 39- vue en relief de la zone du scénario B Piton de La Fournaise, de la fissure et des fontaines de lave (orthophoto IGN©)
Figure 40- vue en relief de la zone du scénario B Piton de La Fournaise, de la fissure et des coulées de lave (orthophoto IGN©)58
Figure 41 : Carte de densité des cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) au sommet du Piton de La Fournaise sur fonds Scan 25 IGN© et coulées de lave sur le flanc nord du cratère Dolomieu

Figure 42-	Vue en relief de la zone du scénario C Piton de la Fournaise, de la fissure et des fontaines de lave (orthophoto IGN©)60
Figure 43-	vue en relief de la zone du scénario C Piton de La Fournaise, de la fissure et des coulées de lave (orthophoto IGN©)
Figure 44	: Carte de la densité de cônes éruptifs (source OVPF) sur la commune de Saint-Philippe.
Figure 45-	Vue en relief de la zone du scénario D Piton de la Fournaise, de la fissure et des fontaines de lave (orthophoto IGN©)62
Figure 46-	Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scénario D Piton de La Fournaise. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm3
Figure 47	- Vue en relief de la zone du scénario D Piton de La Fournaise, de la fissure et des coulées de lave (orthophoto IGN©)64
Figure 48	: Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Rose secteur Piton Galets sur fonds Scan 25 IGN©65
Figure 49	: Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP- 59953-FR)
Figure 50	: Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN© 67
Figure 51	: Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A de Sainte-Rose. Fonds orthophoto IGN©
Figure 52	: Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux
Figure 53	: Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Sainte-Rose secteur Piton Sinific sur fonds Scan 25 IGN© 71
Figure 54	: Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP- 59953-FR)
Figure 55	: Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN© 73
Figure 56	: Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B de Sainte-Rose. Fonds orthophoto IGN©
Figure 57	: Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux
Figure 58	: Carte croisant de la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) dans le secteur du cratère Commerson sur fonds Scan 25 IGN©
Figure 59	: Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN© 78
Figure 60	: Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A du Pas des Sables. Fonds orthophoto IGN©
Figure 61	: Carte croisant de la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) dans le secteur du cratère Commerson sur fonds Scan 25 IGN©
Figure 62	: Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN© 81
Figure 63	: Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B du Pas des Sables. Fonds orthophoto IGN©
Figure 64	: Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scenario B du Pas des Sables. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm3

Figure 65 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 13) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Joseph secteur Manapany sur fonds Scan 25 IGN©85
Figure 66 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP 59953-FR)
Figure 67 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©87
Figure 68 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario de Sainte-Anne. Fonds orthophoto IGN©
Figure 69 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux

1. Glossaire

Age BP (¹⁴C) : Age évalué par radiochronologie. Par convention, le temps qui s'est écoulé avant l'année 1950. La calibration de l'âge BP permet sa conversion dans l'âge de calendrier (Age AD) le plus probable.

Alea : l'aléa traduit, en un point donné, la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définies. Les principaux aléas volcaniques sont : les retombées de cendres ou de blocs, les coulées de laves, les gaz volcaniques, les séismes.

Cendres : dépôt formé de fragments de taille < 2 mm constitué de magma pulvérisé ou de roches broyées.

Cheveux de Pelé : filaments de lave très fluide, trempés en filaments vitreux lors de leur éruption.

Enjeux : éléments exposés à un aléa. Ils peuvent être humains, économiques ou environnementaux.

Fontaines de lave : jet de roches en fusion ; la hauteur moyenne des fontaines produites par le Piton de la Fournaise est de seulement 20 m, mais des fontaines plus importantes 100-400 mètres peuvent se former lors des éruptions les plus intenses.

Lapilli : fragment de lave projeté par les volcans et dont la taille est comprise entre 2 et 64 mm

Phréato-magmatique : Eruption au cours de laquelle le magma réchauffe brutalement des fluides (eau) rencontrée sur son trajet, provoquant son ébullition et évaporation et sa mise en pression. Cette dernière provoque in fine des explosions de roches profondes et anciennes et du magma pulvérisé en particules fines, les cendres volcaniques.

Risque : c'est la confrontation d'un aléa et d'un enjeu.

Scorie : Fragment de lave vacuolaire de faible-moyenne densité (projection volcanique)

Spatter : Fragments très fluides de lave fondue émis par une bouche éruptive qui s'aplatissent lors de leur retombé au sol

Strombolien : Explosions de faible intensité de lave produites par l'arrivée de bulles de gaz à la surface. Les fragments suivent des trajectoires approximativement paraboliques.

Vulnérabilité : la fragilité d'un enjeu face à un aléa donné.

2. Introduction

2.1. CONTEXTE

Le Piton de la Fournaise est l'un des volcans les plus actifs au monde (une éruption tous les 9 mois en moyenne, avec souvent plusieurs éruptions dans la même année). C'est également l'un des plus surveillés et dont l'activité contemporaine (post 1900 AD⁴) est la mieux connue : il produit essentiellement des coulées de lave fluides (basalte), assorties de projections de scories et lapillis s'accumulant en cônes de petit volume.

La plupart des éruptions historiques (post 1640 AD) sont de relativement courte durée (< 6 mois) et se sont produites à l'intérieur de l'Enclos Fouqué (97%), zone inhabitée et cernée par un haut rempart d'effondrement. Quelques éruptions (3% : 1708 ; 1774 ; 1776 ; 1800 ; 1977 ; 1986 ; 1998) ont pu sortir de l'Enclos pour menacer ou endommager les zones habitées et les plantations agricoles sur le flanc est du volcan. Des dispositions sont prévues dans le PSS (Plan de Secours Spécialisé) volcan pour ces deux cas de figures, et appliquées en routine.

Pourtant, les études géologiques ont montré que i) des éruptions hors Enclos peuvent se produire aussi sur le très peuplé flanc ouest, ii) une activité explosive (projections de blocs et cendres) peut avoir lieu au niveau du cône sommital, iii) des éruptions de très longue durée (éruptions pluriannuelles ; lacs de lave) peuvent avoir lieu. Ces phénomènes qui se produisent plus rarement, comme lors de la dernière éruption de 2007 où le cratère sommital de Dolomieu s'est effondré, et qui a généré des émanations importantes de gaz, cendres et cheveux de Pelé, peuvent atteindre des zones habitées lointaines (dont Saint-Denis) par transport par les Alizés. Ces phénomènes sont ainsi susceptibles de générer des préjudices à la population et au cheptel (cheveux de Pélé en particulier). Aucune préparation à de tels scénarios de risque n'est envisagée à ce jour.

2.2. OBJECTIFS

La présente étude s'inscrit dans un programme comportant 2 phases. La phase 1 porte sur l'inventaire, la caractérisation et la mise en forme des données disponibles sur les aléas et les enjeux. La phase 2 a consisté à réaliser l'étude du risque au travers de scénarios accompagnés de recommandations opérationnelles.

La phase 1 désormais terminée, a permis de traiter les points suivants :

- ✓ Effectuer l'inventaire des dynamismes éruptifs du Piton de la Fournaise. Tâche réalisée par l'OVPF (Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise de l'Institut de Physique du Globe de Paris).
- Compiler les données existantes de cartographie, de zonage des paramètres du risque volcanique à La Réunion en effectuant notamment une recherche bibliographique sur le sujet :
 - o Aléa (OVPF) ;
 - vulnérabilité des enjeux (BRGM).

⁴ Age calendaire. Voir glossaire.

La phase 2, dans laquelle s'inscrit le présent rapport, a pour objectifs :

- ✓ finaliser la recherche documentaire sur le risque, par le BRGM en collaboration avec l'OVPF.
- ✓ Caractériser les scenarii de référence pour l'aléa volcanique dans les différents secteurs du massif volcanique (fiches descriptives de l'évolution spatiale et temporelle de l'aléa) et quantifier les effets attendus pour chaque type de phénomène. Réalisé en phase 2 par l'OVPF.
- Réalisation de scénarios de risque volcanique (croisement des évènements et des enjeux) donnant les impacts des évènements sur le milieu. Réalisé en phase 2 par le BRGM avec l'appui de l'OVPF.
- Prise en compte des résultats dans les documents de gestion de crise (plan ORSEC) par l'EMZPCOI (Etat-major de Zone Protection Civile Océan Indien) avec l'appui du BRGM et de l'OVPF.
- ✓ Préparer les données pour l'analyse de scénarios de risque et les présenter sous forme de fiches descriptives, réalisé par le BRGM avec l'appui de l'OVPF.
- Etudier les possibilités d'accès du public aux éruptions en toute sécurité, en indiquant pour chaque scénario les moyens qui devront nécessairement être mis en œuvre par les autorités (OVPF et BRGM en étroite collaboration avec l'EMZPCOI).

Le programme a fait appel aux compétences et aux connaissances de l'Observatoire Volcanique du Piton de la Fournaise de l'Institut de Physique du Globe de Paris (OVPF/IPGP) qui, depuis 1979, a pour mission la surveillance de ce volcan actif. De ce fait, il a acquis une connaissance fine des caractéristiques des éruptions passées et, par-là, une compréhension poussée de la dynamique du volcan. La définition des éruptions passées de référence implique la mise à jour des cartographies des d'événements de référence (effusifs, explosifs) récents (derniers 5000 ans / phase 1 du projet).

Le BRGM dans le cadre de ses activités d'Appui aux Politiques Publiques est missionné par l'Etat pour approfondir l'évaluation des risques volcaniques dans le but de réduire les risques encourus dans les zones exposées et d'améliorer la préparation à une crise volcanique majeure (Orientations des activités d'appui aux politiques publiques du BRGM pour l'année 2015).

L'inventaire des dynamismes éruptifs et l'évaluation des aléas afférents ont été effectués par l'OVPF/IPGP dans la première phase de l'étude (Di Muro et al., 2012⁵).

L'inventaire des enjeux, leur caractérisation et l'évaluation de leur vulnérabilité, a été effectué par le BRGM dans la première phase de l'étude en 2011 (Rapport BRGM/RP-59953-FR, Gehl et al., 2012).

2.3. PROGRAMME TECHNIQUE ET RESULTATS ATTENDUS

La phase 1 dédiée au BRGM a porté sur les éléments suivants :

- ✓ Inventaire, identification et cartographie des principaux enjeux à partir des données existantes, accessibles et disponibles ;
- ✓ Analyse bibliographique de la vulnérabilité aux aléas volcaniques ;
- ✓ Evaluation de la vulnérabilité des principaux types d'enjeux de la Réunion.

⁵ A. Di Muro, P. Bachelery, P. Boissier, P.A. Davoine, P. Fadda, M. Favalli, V. Ferrazzini, A. Finizola, G. Leroi, G. Levieux, P. Mairine, F. Manta, L. Michon, A. Morandi, R. Nave, A. Peltier, C. Principe, T. Ricci, G. Roult, C. Saint-Marc, T. Staudacher, N. Villeneuve (2012) - Evaluation de l'aléa volcanique à La Réunion - Rapport Final – Année I.

Durant la phase 1, l'étude de l'IPGP/OVPF a quant à elle porté sur:

- ✓ L'établissement de catalogues des événements éruptifs et sismiques ;
- ✓ L'identification des principaux événements explosifs depuis 5000 ans ;
- ✓ La modélisation et la cartographie de l'envahissement par les coulées de laves ;
- ✓ La détermination de l'activité volcano-tectonique ;
- ✓ La quantification de la perception du risque volcanique par la population.

Lors de la phase 1 de l'étude, à partir des produits d'éruptions historiques et préhistoriques l'OVPF a défini 5 types de classes de dynamismes éruptifs. Chaque classe peut-être divisée en sous-groupes en fonction de l'intensité des phénomènes et de leur fréquence (voir Figure 1, issue du rapport de l'OVPF de la phase 1).

Scenarii	Explosivité	Fréquence
1	Strombolienne	annuelle
	Petites fontaines (<10 - 50 m) de lave	
2a	sur petite(s) fracture(s)	annuelle
	Grandes fontaines (> 100 m) de lave	
2b	sur grande(s) fracture(s)	pluriséculaire
	Grande fontaine de lave (> 100 m) –	
3a	courte durée (< 1mois)	centennale
	Grande fontaine de lave (> 100 m) –	
3b	moyenne durée (plusieurs mois)	pluriséculaire
	Grande fontaine de lave (> 100 m) –	
3c	longue durée (années)	pluriséculaire
4a	Phréatique faible	pluriannuelle
	i medaque lable	pranamache
4b	Phréatique violente	centennale
5a	Phréato-magmatique faible	pluriannuelle
		(pluri)-
5b	Phréato-magmatique violente	séculaire ?
5c	Phréato-magmatique très violente	pluriséculaire

Figure 1 - Classes de dynamises éruptifs du Piton de la Fournaise - Ces 5 classes ont ensuite été simplifiées en trois groupes de Scenarios type (

Figure 2).

Chaque scenario à fait l'objet d'une description de l'évolution temporelle et spatiale des dynamismes éruptifs dans des cas de référence. Les données cartographiques acquises en phase 1 ont permis de contraindre la modélisation de la dispersion des cendres potentiellement émises par les différentes classes de dynamismes éruptifs au Piton de la Fournaise.

n	Scenario	Frequence	Source des projections et émissions	Durée	Hauteur projections (par rapport au sol) m	Hauteur max panache (par rapport au sol) km	Dispersion max cendres (épaisseurs sous vent > 1 cm) km	Evenement de Reference
1	Strombolienne	annuelle	cône ou série de cônes sur fracture <12. km	heures - mois rarement ans	10-100	12.	<1	Janvier 2010.
2	Hawaiienne	seculaire	cône ou série de cônes sur fracture <12. km	jours-semaines	100-500	110.	< 6 km	Chisny 1600 AD
3	Phreatomagmatique	seculaire	cratére sommital	heures-jours	possible II bouche magmatique	115.	<15 km	1860 AD

Figure 2 - Classes de dynamises éruptifs du Piton de la Fournaise

A partir de ces classes de dynamisme le BRGM, en collaboration avec l'OVPF, a réalisé des cartes de risques qui ont consisté à croiser les aléas et les enjeux.

Pour chaque commune ayant une emprise sur le volcan (Le Tampon, Saint-Pierre, Petite-Ile, Saint-Joseph, Saint-Philippe, Sainte-Rose, La Plainte-des-Palmistes, Saint-Benoît), un ou plusieurs scenarios ont été étudiés, représentatifs de l'activité éruptive attendue.

Le choix des scénarios a été fait par l'OVPF et le BRGM après validation par le comité de pilotage. Au total, 15 scénarios ont été réalisés.

A partir de ce descriptif des impacts attendus en termes de répartition spatiale et de dommages l'EMZPCOI pourra préparer les fiches réflexes associées à chaque scénario qui serviront pour l'intervention des autorités en cas de crise et la gestion opérationnelle de crise.

2.4. PRESENTATION DES RESULTATS

Dans le chapitre suivant intitulé « Scénarios », les résultats complets pour chaque secteur d'étude considéré, sont présentés.

Dans un premier temps, il est rappelé comment les secteurs et les scénarios ont été définis, les données de vulnérabilité utilisées ainsi que les grands principes qui ont été retenus pour obtenir les résultats. Les références aux études précédentes sont systématiquement indiquées.

Par la suite, pour chaque scénario considéré (4 secteurs sont concernés par 2 scénarios et 1 secteur, celui du Piton de la Fournaise, est traité à travers 4 scénarios), les résultats sont présentés selon la même trame :

- contexte des enjeux et vulnérabilités;
- déroulement du scénario
- synthèse des personnes impliquées et des dégâts en distinguant :

- \circ la population ;
- o les réseaux (routes, eau potable, ...);
- l'agriculture et l'élevage ;
- \circ les incendies.

3. Scenarios

3.1. RAPPELS DES DONNEES DE REFERENCE ET DE LA METHODOLOGIE

A partir des dynamismes éruptifs types définis et décrits par l'OVPF, 15 scénarios ont été étudiés sur l'ensemble des communes situées sur le massif du volcan.



Figure 3 - Carte globale présentant les zones choisies pour les scénarios ainsi que les coulées choisies pour ces scénarios sur la carte de densité des cônes éruptifs (OVPF) et scan IGN©. Les rift zones (axes de districution de l'activité volcanique) sont représentées par les lignes pointillées bleues (axes principaux) et vertes (axes secondaires) – cf. OVPF.

La localisation des scenarios a été choisie par l'OVPF et le BRGM en accord avec les demandes du comité de pilotage, en fonction des principaux axes volcaniques sur lesquels l'activité volcanique du Piton de La Fournaise se distribue (cf. Rapports OVPF) Figure 3-.

Sur chaque commune faisant l'objet d'un scénario, le choix de la zone d'occurrence est basé sur la densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire les zones où la probabilité d'occurrence d'un événement est la plus probable (Figure 4). Les principaux autres critères de localisation des scénarios sont la présence d'enjeux, l'intérêt pour la gestion opérationnelle de crise ou encore la proximité d'un événement historique.



Figure 4 – Densité de cônes (OVPF)

Les scénarios ont été choisis en fonction de la cohérence du dynamise éruptif avec la zone d'occurrence.

Chaque axe volcanique a fait l'objet de plusieurs scenarios :

Rift Zone NO-SE :

- Le Tampon
- Piton de La Fournaise A, B, C et D
- Pas des Sables A et B,

Rift Zone SE :

Saint-Philippe A et B

Rift Zone NE :

- Sainte-Rose A et B

Vincendo - Saint-Pierre :

- Saint-Pierre
- Saint-Joseph A et B

Sainte-Rose - Saint-Benoît :

- Sainte-Anne

Les produits éruptifs indiqués dans les scénarios sont fonction du type de scénario choisi, décrit dans le rapport OVPF : fissures éruptives, volumes de lave (épaisseurs des coulées, vitesse d'écoulement ...), fontaines de lave, cônes de scories.

La durée des scénarios proposés est comprise entre quelques heures et environ 1 mois, (voire plusieurs années pour la partie sommitale), cela correspond à la phase d'activité la plus intense de chaque éruption. Aussi cette durée ne tient pas comptes des phases de précurseurs (microsismicité, déformations, émissions gazeuses) et des phases d'interruption d'émissions de lave et de projections. Les durées moyennes réelles de l'ensemble de l'activité sont donc plus de l'ordre de plusieurs jours à plusieurs mois (voir année pour l'activité lac de lave sommitale, cf. rapport OVPF).

La vulnérabilité du bâti et en particulier des toitures aux dépôts de projections a été décrit dans le rapport BRGM/RP-59953-FR. Au regard des simulations de dépôts de cendre réalisées par l'OVPF, et des probabilités d'effondrement des typologies de toitures recensées (Figure 5), des proportions d'habitations endommagées sont apportées dans le recensement des dégâts.

Par ailleurs, il est estimé dans la suite du rapport que la durée d'émission de cendres est environ équivalente au 1/3 de la durée totale de l'éruption (observations OVPF).



Figure 5 : Probabilité d'effondrement pour les quatre typologies de toitures recensées (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR) – TOIT_T A : toiture de tôle en excellent état (neuve avec en général des renforts anti-cycloniques) ; TOIT_T B : toiture de tôle en moyen état ; TOIT_T C : toiture de tôle en mauvais état (forte corrosion des plaques métalliques) ; TOIT_TV : toiture avec ouverture en verre ou plastique (lucarne) ; TOIT_D : dalle en béton armé.

Pour chaque type de scénario, une description précise des phénomènes pouvant survenir autour d'une éruption ont été décrit dans le rapport OVPF afin de permettre aux services de la Préfecture d'appréhender les risques auxquels s'exposeraient les touristes en cas d'accès aux sites d'éruption.

Il est par ailleurs rappelé dans le rapport OVPF, les principales remarques et contraintes concernant l'accès aux sites concernés par l'activité volcanique.

Les estimations du nombre de personnes impliquées ou sans-abris sont issues d'hypothèses de travail, et sont évaluées en fonction du nombre d'habitations dont les toitures ont été endommagées par les retombées de cendres, ou du nombre approximatif d'habitations qui ont été détruites par les coulées de lave.

L'ensemble des autres dégâts résulte du croisement cartographique entre les hypothèses du scénario éruptif et les enjeux.

Les estimations faites sur le nombre de personnes impactées par la présence de cendres au sol et dans l'air, prennent en considération que seules les personnes ayant des difficultés respiratoires sont directement exposées. Comme indiqué dans le rapport BRGM/RP59983-FR, la présence de cendres en suspension dans l'atmosphère ne provoque pas de victimes directes mais peut occasionner une gêne psychologique et provoquer des maladies respiratoires à plus long terme.

Les estimations du nombre de personnes impliquées prennent pour hypothèse de travail qu'il n'y a pas eu d'évacuations préalables des populations. Cependant, en cas d'éruption dans les zones étudiées dans le présent rapport, les précurseurs enregistrés par l'OVPF devraient permettre d'anticiper les zones pouvant être impactées par une éruption, permettant alors l'évacuation préalable et la mise en sécurité des populations.

Enfin, l'ouverture de bouches éruptives est précédée par plusieurs précurseurs qui, pour des éruptions hors enclos pourront avoir un impact sur la population. Les précurseurs sont la sismicité, les déformations, les émissions gazeuses qui auront un impact potentiel direct ou indirect sur la population : éboulements, fissures sur les routes, infiltrations gazeuses dans les nappes phréatiques, pouvant alors générer des mouvements de panique.

Le choix d'emplacement de ces scénarios permet d'apporter un exemple concret des phénomènes possibles et de ses conséquences, mais n'exclut pas l'occurrence d'une éruption en d'autres points de la commune.

3.2. LE TAMPON

3.2.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur du Vingt-Troisième (Figure 6).



Figure 6 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune du Tampon sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté correspond à une zone d'habitat dispersé (zones rurales avec généralement des bâtiments anciens) d'une part et à une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens) - Figure 7-.



Figure 7 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

La zone d'habitat dispersé est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels. 95% des toits sont en tôles dont 85% sont en état moyen, donc assez vulnérables aux retombées de projections volcaniques (cendre, lapillis ...) - Figure 5-.

La zone d'habitat individuel mixte est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels. 95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections (Figure 5).

3.2.2. Déroulement du scénario – Type 1a

Durée du scénario : 3 jours.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone du Vingt-Troisième sur une longueur totale de l'ordre de 1.5km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 8). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 8 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : A la fin de l'éruption, deux cônes de scories d'une dizaine de mètres de hauteur se sont formés. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures, quelques maisons dispersées et des serres sont recouvertes d'environ 60 cm de ces matériaux (Figure 9). Un volume de lave d'environ 4Mm³ s'est écoulé.



Figure 9 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario du Tampon. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les émissions de gaz et les dépôts de cendres sont importants. La pression modélisée est supérieure à 1.3kPa après 6h d'activité, soit 3.9 après 24h.

La plupart des toits en tôle en mauvais état et quelques toits en tôle en état moyen se sont effondrés blessant une dizaine de personnes (hypothèse de travail pour le scénario).

Le réseau AEP est coupé en différent points (Figure 10). L'alimentation de tout le quartier est perturbée. Deux réservoirs d'eau sont impactés.



Figure 10 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.2.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

Une soixantaine de maisons est détruite par la coulée. Une dizaine de personnes est impliquée par les effondrements de toits en tôles. Plus de 100 personnes sont déplacées.

b. Réseaux :

Routes = la RN3 est totalement coupée au niveau du Dix-Septième. Les accès doivent se faire par les routes secondaires.

Le réseau AEP est coupé sur la trajectoire de la coulée et 1 réservoir d'eau est détruit. Tous les habitants du secteur sont privés d'eau potable.

c. Agriculture/élevage :

Un élevage avicole est en partie détruit, un grand nombre d'animaux s'est échappé dans la nature.

d. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.

3.3. SAINT-PIERRE

3.3.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur de Piton Mont-Vert / Mont-Vert Les Bas.



Figure 11 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Pierre, secteur de Piton Mont-Vert / Mont-Vert Les Bas sur fonds Scan 25 IGN©.



Figure 12 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

Le secteur impacté correspond à une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens) ce qui signifie qu'elle est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels (Figure 12). C'est une zone qui est caractérisée par 55% des habitations en rez-de-chaussée et 45% avec un étage. 75% de ces habitations sont construites en parpaings.

95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections.

3.3.2. Déroulement du scénario – Type 1a

Durée du scénario : 30h (phase la plus intense de l'éruption).

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone du Piton de Mont-Vert sur une longueur totale de l'ordre de 2km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une

quarantaine de mètres (Figure 13). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 13 : Ouverture de fissures, formation de fontaines de lave et effondrement du Piton Mont-Vert. Fonds orthophoto IGN©

Phase 2 : après quelques heures, deux cônes de scories d'une vingtaine de mètres de hauteur se sont formés. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures, une trentaine de maisons sont recouvertes d'environ 60 cm de ces matériaux. La lave s'écoule depuis les fissures. Au bout de 6h, la coulée principale a progressé jusqu'à Mont-Vert les Bas, impactant une cinquantaine de maisons sur son passage (Figure 14).

Une partie du Piton Mont-Vert traversé par les fissures éruptives s'effondre, ensevelissant les maisons situées à proximité.

Au bout de 30h, la coulée de Mont Vert a atteint le haut de la Ravine des Cafres les Hauts. Par ailleurs une coulée dans la ravine a atteint la mer 9h après le début des écoulements.

Au total 1.6 Mm³ de lave se sont écoulés après 30 heures.

L'école de Mont Vert est isolée, les accès par la route sont coupés des deux côtés par des coulées. La mairie annexe est impactée par les coulées et isolée.

Le collège Emilien Adam de Villiers a été fortement impacté par la coulée. Ses ouvertures étant très vulnérables aux poussées latérales de type coulées de lave (vitres simples sans protection).



Figure 14 : Extension des coulées de lave du scenario de Saint-Pierre. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée supérieure à 1.1kPa après 6h d'activité. La plupart des toits en tôle en mauvaise état et quelques toits en tôle d'état moyen se sont effondrés blessant une dizaine de personnes.

Le réseau AEP est coupé en différent points (Figure 15). L'alimentation de tout le quartier est perturbée. Un réservoir d'eau est impacté.



Figure 15 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.3.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

- Une centaine de maison directement impactées par les écoulements de lave = détruites ou fortement endommagées et toutes évacuées.

- 300 personnes sans logement
- La mairie annexe évacuée, impactée par une coulée

- L'école primaire de Mont-Vert les Bas isolée (RD29 coupée par deux coulées de lave). 150 élèves évacués.

- Le collège Emilien Adam de Villiers évacué

b. Réseaux

Routes :

- La RN2 est coupée à proximité de la Ravine des Cafres
- La RD29 et la RD72 sont coupées en plusieurs points isolant une partie de Mont-Vert les Bas.
- AEP : Le réseau AEP fortement endommagé

<u>Trafic aérien</u> : le trafic est totalement interrompu sur l'aérodrome de Saint-Pierre impacté par le panache de cendres.

c. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.

3.4. SAINT-JOSEPH – SCENARIO A

3.4.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur de Besave/Manapany (Figure 16).



Figure 16 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Joseph secteur Manapany sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté correspond à une zone d'habitat dispersé à l'amont (zones rurales avec généralement des bâtiments anciens) et à une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens).



Figure 17 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

La zone d'habitat dispersé est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels. 95% des toits sont en tôles dont 85% sont en état moyen, donc assez vulnérables aux retombées de projections volcaniques (cendre, lapillis ...).

La zone d'habitat individuel mixte est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels. 95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections.
3.4.2. Déroulement du scénario – Type 1a

Durée du scénario : 24h.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone de Besave sur une longueur totale de l'ordre de 1.5km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 8). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 18 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, deux cônes de scories une vingtaine de mètres de hauteur se sont formés. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures, une maison et des serres sont recouvertes d'environ 10 cm de ces matériaux (Figure 19). Un volume de lave d'environ 1.3Mm³ s'est écoulé.



Figure 19 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A de Saint-Joseph. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression maximum qui depasse 1.3kPa sur 6h. La plupart des toits en tôle en mauvaise état et quelques toits en tôle d'état moyen se sont effondrés blessant une dizaine de personnes.

Le réseau AEP est coupé en différent points (Figure 20). L'alimentation de tout le quartier est perturbée. Deux réservoirs d'eau sont impactés.



Figure 20 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.4.3. Synthèse des personnes impliquées et desdégâts

a. Population :

- Une trentaine de maisons directement impactées par les écoulements de lave = détruites ou fortement endommagées et toutes évacuées. Par ailleurs les habitations environnantes sont évacuées par crainte de l'extension des coulées amont.
- 300 personnes sans logement
- 5 personnes impliquées par les effondrements de toits en tôles.
- Le LEP semble menacé par les coulées, il est évacué.

b. Réseaux

- <u>Routes</u> : une coulée s'est formée dans la ravine des Grègues fragilisant l'enjambement de la RN2. La route est coupée à la circulation.
- AEP : Le réseau AEP fortement endommagé
- <u>Trafic aérien</u> : le trafic est totalement interrompu sur l'aérodrome de Saint-Pierre impacté par le panache de cendres.

c. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.

3.5. SAINT-JOSEPH – SCENARIO B

3.5.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur situé en amont de Langevin (Figure 21).



Figure 21 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Joseph secteur Langevin sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté correspond à une zone d'habitat dispersé (zones rurales avec généralement des bâtiments anciens) d'une part et à une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens).



Figure 22 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

La zone d'habitat dispersé est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels. 95% des toits sont en tôles dont 85% sont en état moyen, donc assez vulnérables aux retombées de projections volcaniques (cendre, lapillis ...).

La zone d'habitat individuel mixte est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels. 95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections.

3.5.2. Déroulement du scénario – Type 1b

Durée du scénario : 9 jours.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone située en amont du Piton Langevin sur une longueur totale de l'ordre de 3km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 23). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 23 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, trois cônes de scories une vingtaine de mètres de hauteur se sont formés au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures, une maison et des serres sont recouvertes d'environ 60 cm de ces matériaux (Figure 24). Un volume de lave d'environ 13Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 5m.



Figure 24 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B de Saint-Joseph. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée supérieure à 1.3kPa sur 6h, donc 15kPa sur 3 jours. La plupart des toits en tôle en mauvaise état et quelques toits en tôle d'état moyen se sont effondrés blessant deux personnes.

Par ailleurs sous le vent (secteur NO) à proximité du secteur d'interaction entre la lave et la mer, les dépôts de cendre sont importants.

Le réseau AEP est coupé en différent points (Figure 25). L'alimentation de tout le quartier est perturbée. Deux réservoirs d'eau sont impactés.



Figure 25 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.5.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

- 200 à 300 maisons sont impactées par les coulées. Les accès à Langevin sont totalement coupés par des coulées. Une dizaine de personnes impliquées par les effondrements de toits en tôles.
- Plusieurs centaines de personnes sont déplacées et sans logement. Une cinquantaine de personne est bloquée à Langevin sans possibilité d'être évacué par voie terrestre.
- Toute la population de Langevin est impactée par les cendres en suspend dans l'air. De nombreuses crises d'asthmes sont répertoriées.

b. Réseaux

<u>Routes</u> = la RN2 est totalement coupée de part et d'autre de Langevin et au niveau du Plateau.

<u>AEP</u> = le réseau AEP est coupé en plusieurs points sur la trajectoire de la coulée.

<u>Trafic aérien</u> : le trafic est totalement interrompu sur l'aérodrome de Saint-Pierre impacté par le panache de cendres.

c. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.

3.6. SAINT-PHILIPPE – SCENARIO A

3.6.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune.

Il n'y a pas d'enjeux humains permanents dans cette partie de la commune. Il s'agit du secteur des Puys Raymond.



Figure 26 : Carte de densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) sur la commune de Saint-Philippe, secteur du Puys Ramond sur fonds Scan 25 IGN©.



Figure 27 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

3.6.2. Déroulement du scénario – Type 1a

Durée du scénario : 5 jours

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone du Puys Raymond sur une longueur totale de l'ordre de 2km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une

quarantaine de mètres (Figure 28). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 28 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, un cône de scories d'une vingtaine de mètres de hauteur s'est formé au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures sur environ 60 cm d'épaisseur. Un volume de lave d'environ 13Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 3m.

La coulée a atteint le fond de la ravine Basse Vallée, créant un embâcle : les eaux de la rivière ne s'écoulent plus dans un premier temps.



Figure 29 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A de Saint-Philippe. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée qui depasse 0.73kPa sur 6h. Les émissions de cendres durent environ 30h, soit environ 3.7kPa.

3.6.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

Le gîte de Basse Vallée est évacué.

Le Baril et Basse-Vallée sont évacués par crainte de l'arrivée des coulées de lave. Environ 300 personnes sans logement.

Quelques personnes asthmatiques à la Plaine des Cafres accueillies dans les hopitaux.

b. Réseaux

Routes : le haut de la route forestière de Basse-Vallée est sous la coulée.

AEP : sans objet

c. Incendie :

Des incendies ravagent les zones pourtour. L'accès pour les pompiers est complexe.

3.7. SAINT-PHILIPPE – SCENARIO B

3.7.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune.

Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur situé en amont de Saint-Philippe, au nord du Piton Mare d'Arzule (Figure 30).



Figure 30 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Pilippe secteur Piton Mare d'Arzule sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté comprend :

- une zone d'habitat dispersé (zones rurales avec généralement des bâtiments anciens),
- une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens),
- une zone de lotissement (ensemble de villas neuves très homogènes),
- un centre-ville



Figure 31 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

La zone d'habitat dispersé est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels. 95% des toits sont en tôles dont 85% sont en état moyen, donc assez vulnérables aux retombées de projections volcaniques (cendre, lapillis ...).

La zone d'habitat individuel mixte est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels. 95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections.

La zone de lotissement est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels avec des toits en tôle à 95% dont l'état est moyen donc vulnérable aux retombées volcaniques.

La zone de centre-ville est caractérisée par environ 80% de bâtiments à usage mixte (résidentiel et commerçants). 80% des toits sont en tôle dont 55% est en état moyen, donc assez vulnérable aux retombées volcaniques (cendres, lapillis).

3.7.2. Déroulement du scénario – Type 2a

Durée du scénario : 25 jours.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone située en amont du Piton Mare d'Arzule sur une longueur totale de l'ordre de 3km. Des projections de lave forment des grandes fontaines d'une hauteur d'une centaine de mètres (Figure 32). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 32 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures/jours, un cône de scories une vingtaine de mètres de hauteur s'est formé au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures sur environ 60 cm d'épaisseur. Un volume de lave d'environ 32Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 5m.

Les coulées ont atteint la mer au niveau de la Pointe de la Mare d'Arzule. Un panache de vapeur et d'acides de plusieurs km se produit à l'interaction explosive de type phréatomagmatique entre la lave et la mer. Un cône de scorie s'est formé à cette interface. L'interaction explosive lave – mer représente une source supplémentaire de cendres et de lappillis en plus de ce qui étaient émis au niveau des fissures éruptives.



Figure 33 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B de Saint-Philippe. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée qui dépasse 1kPa. Les émissions de cendres durent plusieurs jours, avec une pression supérieure à 14kPa à proximité des bouches éruptives les plus actives jusqu'à 1 km sous le vent. Les dépôts peuvent rapidement atteindre une épaisseur supérieure à 1m (14 kPa).

Par ailleurs sous le vent (secteur NO) à l'interaction entre la lave et la mer, des dépôts de cendres de faible épaisseur impactent tout le secteur de Saint-Philippe.



Figure 34 : Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scenario B de Saint-Philippe. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm³

Le réseau AEP est coupé en différent points (Figure 35), tout le secteur centre de Saint-Philippe est coupé d'eau.



Figure 35 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.7.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

Une trentaine de maisons sont impactées par les coulées. Les accès à Saint-Philippe sont totalement coupés par des coulées : la RN2 est coupée de part est d'autre de Saint-Philippe. Plusieurs centaines de personnes ont été évacuées. Une cinquantaine de personne est bloquée à Saint-Philippe sans possibilité d'être évacué par voie terrestre. Les habitants des Sables Blancs craignent l'arrivée de nouvelles coulées qui pourraient les impacter.

Toute la population de Saint-Philippe est impactée par les cendres en suspens dans l'air. De nombreuses crises d'asthmes sont répertoriées.

Bâtiments stratégiques :

La caserne de pompier et la gendarmerie sont détruites par les coulées.

b. Réseaux :

<u>Routes</u> = la RN2 est totalement coupée de part et d'autre de Saint-Philippe.

<u>AEP</u> = le réseau AEP est coupé en plusieurs points sur la trajectoire de la coulée.

c. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.

3.8. PITON DE LA FOURNAISE – SCENARIO A

3.8.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à la plus forte probabilité d'occurrence des éruptions du Piton de La Fournaise, à savoir le cône central (Figure 36).



Figure 36 : Carte de densité des cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) au sommet du Piton de La Fournaise sur fonds Scan 25 IGN© et lac de lave.

Il n'y a pas de présence humaine permanente dans la zone.

3.8.2. Déroulement du scénario – Type 2b

Durée du scénario : plusieurs années

Pendant un tel scénario, des scénarios différents (type 1 ou 2a) peuvent se produire en d'autres points de l'édifice.

Eruption d'un volume de magma important (40Mm³) émis sur plusieurs années et associées à la présence d'un lac de lave permanent dans le cratère Dolomieu. Le lac de lave alimente un panache de gaz et vapeur qui a une faible charge solide et atteint une hauteur moyenne d'environ 0.1-1km.

L'activité du lac de lave est associée à l'édification de rempart de scories et spatter de quelques dizaines de mètres de hauteur et à la formation d'une plateforme lavique pendant les phases de débordement. L'activité « passive » du lac de lave peut être interrompue par des évènements éruptifs magmatiques plus violents (fontaines) qui peuvent produire i) des émissions de gaz et cheveux de Pelé ayant un impact sur des portions significatives de l'île et ii) pendant les événements magmatiques les plus violents on peut avoir : la dispersion de couches de lapillis (diamètre moyen < 1cm) d'épaisseur faible à modérée sur plusieurs centaines de mètres autour du lac de lave et la dispersion de faibles épaisseurs de cendres

fines et cheveux de Pelé jusque dans la Plaine des Cafres avec des concentrations importantes au niveau du Pas de Bellecombe (Figure 37).



Figure 37 : Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scenario B de Saint-Philippe. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm3

Les émissions de gaz permanentes qui peuvent atteindre des concentrations importantes dans les secteurs ouest du volcan et en particulier au niveau du cratère.

Impact important sur la végétation.

Effondrements des parois du cratère accompagnés d'explosions.

Par ailleurs, en saison cyclonique, lors d'événements pluvieux intenses types cyclones ou tempêtes tropicales, des interactions magma/eau sont possibles pouvant générer des explosions phréatomagmatiques de type Scenario type 3 (voir rapport OVPF).

Suite à une activité latérale type Piton de la Fournaise D, le lac de lave peut être drainé ou baisser de niveau, favorisant les interactions lave/fluides, créant des explosions phréatomagmatiques.

Une colonne de cendre de type 1860 peut se former dans ces conditions : diamètre basal de 100m qui monte dans l'atmosphère avec un panache qui s'étale vers Sainte-Rose et Saint-Philippe.

3.9. PITON DE LA FOURNAISE – SCENARIO B

3.9.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à l'une des zones de plus forte probabilité d'occurrence des éruptions du Piton de La Fournaise, à savoir sur la bordure sud du cratère Dolomieu.

Il n'y a pas de présence humaine permanente dans la zone.



Figure 38 : Carte de densité des cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) au sommet du Piton de La Fournaise sur fonds Scan 25 IGN© et coulées de lave sur le flanc sud du cratère Dolomieu.

3.9.2. Déroulement du scénario – Type 1a

Durée du scenario : 20 heures

Ouverture de fissures sur le flanc sud du cratère Dolomieu sur environ 1km de longueur et selon une direction parallèle au bord du cratère puis perpendiculaire (selon la ligne de plus grande pente). Des projections de lave forment de petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres.

Volume écoulé 1Mm³

Dispersion de lapillis, cheveux de Pélé et de gaz à proximité immédiate des fissures.



Figure 39- vue en relief de la zone du scénario B Piton de La Fournaise, de la fissure et des fontaines de lave (orthophoto IGN©)



Figure 40- vue en relief de la zone du scénario B Piton de La Fournaise, de la fissure et des coulées de lave (orthophoto IGN©)

3.10. PITON DE LA FOURNAISE – SCENARIO C

3.10.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à l'un des zones de plus forte probabilité d'occurrence des éruptions du Piton de La Fournaise, à savoir sur la bordure nord du cratère Dolomieu.

Il n'y a pas de présence humaine permanente dans la zone.



Figure 41 : Carte de densité des cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) au sommet du Piton de La Fournaise sur fonds Scan 25 IGN© et coulées de lave sur le flanc nord du cratère Dolomieu.

3.10.2. Déroulement du scénario – Type 1a

Durée du scénario : 30 heures.

Ouverture de fissures sur le flanc sud du cratère Dolomieu sur environ 600m de longueur et selon une direction perpendiculaire au bord du cratère (selon la ligne de plus grande pente). Des projections de lave forment de petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres.

Volume écoulé 1.7Mm³



Figure 42- Vue en relief de la zone du scénario C Piton de la Fournaise, de la fissure et des fontaines de lave (orthophoto IGN©)



Figure 43- vue en relief de la zone du scénario C Piton de La Fournaise, de la fissure et des coulées de lave (orthophoto IGN©)

Dispersion de cendres jusque dans la Plaine des Cafres avec des concentrations importantes au niveau du Pas de Bellecombe.

3.11. PITON DE LA FOURNAISE – SCENARIO D

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune

Il n'y a pas de présence humaine permanente dans la zone.



Figure 44 : Carte de la densité de cônes éruptifs (source OVPF) sur la commune de Saint-Philippe.

3.11.1. Déroulement du scénario – Type 2a

Durée du scénario : 3 semaines

Phase 1 : ouverture de fissures dans la Plaine des Osmondes au Nord du Piton de Crac et au travers du rempart à l'Ouest du Piton de Jouvacourt sur une longueur totale de l'ordre de 2.5km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 45). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 45- Vue en relief de la zone du scénario D Piton de la Fournaise, de la fissure et des fontaines de lave (orthophoto IGN©)

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres au bout de 6h sont importants, avec une pression modélisée supérieure à 0.80kPa sur 6h. Les émissions de cendres durent environ 1 semaine, soit des pressions qui depassent 22.4kPa. Des petites quantités de cendres fines sont ramenées par le vent jusqu'à la Plaine des Palmistes.



Figure 46- Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scénario D Piton de La Fournaise. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm3

Phase 3 : après quelques heures, un cône de scories d'une vingtaine de mètres de hauteur s'est formé au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures sur environ 60 cm d'épaisseur. Un volume de lave d'environ 23Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 5m, atteignant la mer en aval.

Les coulées ont atteint la mer. Un panache de vapeur et d'acides de plusieurs km se produit à l'interaction explosive de type phréatomagmatique entre la lave et la mer. Un cône de scorie s'est formé à cette interface. L'interaction explosive lave – mer peut représenter une source supplémentaire de cendres et de lapillis en plus de ceux qui étaient émis au niveau des fissures éruptives.



Figure 47 - Vue en relief de la zone du scénario D Piton de La Fournaise, de la fissure et des coulées de lave (orthophoto IGN©)

3.11.2. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

La population afflue autour des différents accès au volcan et à la coulée : Pas de Bellecombe, Grand Brulé/ Route des Laves par Sainte-Rose et par Saint-Philippe. On dénombre d'importants embouteillages qui empêchent les forces de l'ordre et les secours d'atteindre normalement les zones impactées par les coulées.

Certains habitants de la Plaine des Palmistes et les touristes présents au Pas de Bellecombe se plaignent de gènes occasionnés par les cendres dans l'air.

b. Réseaux :

La route RN2 est totalement coupée par la coulée sur 1.5km.

c. Incendies :

Des incendies se sont déclenchés dans les zones végétalisées autour de la coulée.

3.12. SAINTE-ROSE – SCENARIO A

3.12.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur situé en amont de Sainte-Rose, vers Piton Galets.



Figure 48 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Rose secteur Piton Galets sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté comprend :

- une zone d'habitat individuel dispersé (zones rurales avec généralement des bâtiments anciens),

- une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens),

- une zone d'habitat individuel dense (zone proche du centre-ville, avec mélange de villas et d'immeubles de petite taille),

- une zone de lotissement (ensemble de villas neuves très homogènes),

- un centre-ville



Figure 49 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

La zone d'habitat dispersé est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels. 95% des toits sont en tôles dont 85% sont en état moyen, donc assez vulnérables aux retombées de projections volcaniques (cendre, lapillis ...).

La zone d'habitat individuel mixte est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels. 95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections.

La zone d'habitat individuel dense est à usage résidentiel à 80% et présente des toitures en tôle dont 40% est en état moyen et 20% en mauvaise état, donc vulnérable aux retombées volcaniques.

La zone de lotissement est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels avec des toits en tôle à 95% dont l'état est moyen donc vulnérable aux retombées volcaniques.

La zone de centre-ville est caractérisée par environ 80% de bâtiments à usage mixte (résidentiel et commerçants). 80% des toits sont en tôle dont 55% est en état moyen, donc assez vulnérable aux retombées volcaniques (cendres, lapillis).

3.12.2. Déroulement du scénario – Type 1b

Durée : 15 jours.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone située en amont de Sainte-Rose, vers le Piton Galets sur une longueur totale de l'ordre de 3.6km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 50). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 50 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, deux cônes de scories une vingtaine de mètres de hauteur se sont formés au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures sur environ 60 cm d'épaisseur. Un volume de lave d'environ 20Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 5m.



Figure 51 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A de Sainte-Rose. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée qui depasse 1.3kPa sur 6h, soit 25.6kPa pendant les 5 jours d'émission de cendres. Les toitures en mauvais état s'effondrent.

Le réseau AEP est coupé en différent points (Figure 52). L'alimentation de tout le centre de Sainte-Rose est perturbée.



Figure 52 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.12.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

Le centre-ville est évacué et en grand partie détruit par les coulées. Environ 300 personnes sont sans-abris.

Tout le centre de Sainte-Rose est fortement impacté par les retombées de pluie acide et cendre émises par l'interaction de la lave et de la mer.

Bâtiments stratégiques :

La caserne des pompiers et la gendarmerie sont détruites par la coulée.

b. Réseaux :

<u>AEP</u> : le réseau AEP est coupé en plusieurs points. L'alimentation en eau potable du centreville est totalement interrompue.

<u>Routes</u> : Les principaux axes routiers permettant de rejoindre le centre ont été coupés par les coulées. La RN2 est totalement coupée de part et d'autre de Sainte-Rose.

c. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.
3.13. SAINTE-ROSE – SCENARIO B

3.13.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur situé en amont de Sainte-Rose, vers Piton Sinific.



Figure 53 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Sainte-Rose secteur Piton Sinific sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté comprend :

- une zone d'habitat individuel dispersé (zones rurales avec généralement des bâtiments anciens),

- une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens),
- une zone de lotissement (ensemble de villas neuves très homogènes),



Figure 54 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

La zone d'habitat dispersé est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels. 95% des toits sont en tôles dont 85% sont en état moyen, donc assez vulnérables aux retombées de projections volcaniques (cendre, lapillis ...).

La zone d'habitat individuel mixte est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels. 95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections.

La zone de lotissement est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels avec des toits en tôle à 95% dont l'état est moyen donc vulnérable aux retombées volcaniques.

3.13.2. Déroulement du scénario – Type 1b

Durée : 17 jours.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone située en amont de Piton Sainte-Rose, vers le Piton Sinific sur une longueur totale de l'ordre de 2.3km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 55). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 55 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, deux cônes de scories une vingtaine de mètres de hauteur se sont formés au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont

déposés autour des fissures sur environ 60 cm d'épaisseur. Un volume de lave d'environ 22Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 5m.



Figure 56 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B de Sainte-Rose. Fonds orthophoto IGN©

Une autre fissure s'est formée à l'amont de la première. La coulée s'arrête rapidement dans les hauteurs.

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression maximum modélisée de 0.94kPa sur 6h, soit 18.8 pendant les 5 jours d'émissions de cendres.



Figure 57 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.13.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

Le centre-ville est évacué et en grand partie détruit par les coulées. Environ 300 personnes sont sans-abris.

Le collège et l'école primaire sont évacués.

Les cendres impactent fortement les habitants.

b. Elevages :

Elevages de lapins et de Porc détruits

c. Bâtiments stratégiques :

La mairie est détruite par la coulée.

d. Réseaux :

<u>AEP</u> : le réseau AEP est coupé en plusieurs points.

<u>Routes</u> : Les principaux axes routiers permettant de rejoindre le centre ont été coupés par les coulées. La RN2 est totalement coupée au sud de Piton Sainte-Rose.

e. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.

3.14. PAS DES SABLES – SCENARIO A

3.14.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Il n'y a pas d'enjeux humains permanents dans cette partie de la commune. Il s'agit du secteur situé à proximité du cratère Commerson (Figure 58).



Figure 58 : Carte croisant de la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) dans le secteur du cratère Commerson sur fonds Scan 25 IGN©.

3.14.2. Déroulement du scénario – Type 1a

Durée : 24h.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone du cratère Commerson, sur une longueur totale de l'ordre de 1.2km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 59). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 59 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, un cône de scories d'une vingtaine de mètres de hauteur s'est formé au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures sur environ 60 cm d'épaisseur. Un volume de lave d'environ 1.3Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 3m.



Figure 60 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario A du Pas des Sables. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée supérieure à 0.74kPa.

3.14.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

Des centaines de personnes affluent dans la zone pour voir la coulée. Des touristes qui étaient au volcan sont bloqués de l'autre côté de la coulée. On dénombre d'importants embouteillages qui empêchent les forces de l'ordre et les secours d'atteindre normalement les zones impactées par les coulées.

Les habitants de la Plaine des Cafres et de la Plaines des Palmistes sont fortement impactés par les retombées de cendres. De nombreux malaises.

b. Réseaux

Routes : la route d'accès au volcan est totalement coupée et le volcan rendu inaccessible.

AEP : sans objet

c. Incendie :

Des incendies ravagent les zones pourtour. L'accès pour les pompiers est complexe.

3.15. PAS DES SABLES – SCENARIO B

3.15.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Il n'y a pas d'enjeux humains dans cette partie de la commune. Il s'agit du secteur situé à proximité du cratère Commerson (Figure 61).



Figure 61 : Carte croisant de la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) dans le secteur du cratère Commerson sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté ne présente pas directement d'enjeux humains permanents.

3.15.2. Déroulement du scénario – Type 1c

Durée : 18 jours.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone du cratère Commerson, sur une longueur totale de l'ordre de 3km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur moyenne d'une quarantaine de mètres et qui peuvent atteindre une hauteur maximale de 100 m (Figure 62). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 62 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, un cône de scories d'une vingtaine de mètres de hauteur s'est formé au niveau des fissures. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures sur environ 60 cm d'épaisseur. Un volume de lave d'environ 24Mm³ s'est écoulé sur une épaisseur d'environ 3m.



Figure 63 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario B du Pas des Sables. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée supérieure à 0.67kPa soit 16kPa pendant 6 jours. De faibles quantités de cendres fines atteignent la Plaine des Cafres et la Plaine des Palmistes.



Figure 64 : Dépôts de cendres modélisés (OVPF) sur le scenario B du Pas des Sables. Contours en kPa ; Pour reference, 0.1 kPa correspond à un depôt de 0.7 cm de cendres avec une densité de 1.4 g/cm3

3.15.3. Synthèse des personnes impliquées et des dégâts

a. Population :

De nombreuses personnes affluent dans la zone pour voir la coulée. Des touristes qui étaient au volcan sont bloqués de l'autre côté de la coulée. On dénombre d'importants embouteillages qui empêchent les forces de l'ordre et les secours d'atteindre normalement les zones impactées par les coulées.

Les habitants de la Plaine des Cafres et de la Plaines des Palmistes sont fortement impactés par les retombées de cendres. De nombreux malaises.

A la Plaine des Palmistes on s'inquiète de la propagation de la coulée, créant quelques mouvements de paniques.

b. Réseaux

Routes : la route d'accès au volcan est totalement coupée et le volcan rendu inaccessible.

AEP : sans objet

c. Incendie :

Des incendies ravagent les zones pourtour. L'accès pour les pompiers est complexe.

3.16. SAINTE-ANNE

3.16.1. Contexte des enjeux et vulnérabilités

Le choix de la zone correspond à une forte densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire une zone où la probabilité d'occurrence d'un événement est plus probable que sur le reste du territoire de la commune. Par ailleurs la zone choisie est une zone à enjeu. Il s'agit du secteur de Piton Armand – Sainte-Anne (Figure 65).



Figure 65 : Carte croisant la densité de cônes éruptifs (source OVPF, cf Figure 4) et les enjeux (densité de population et établissements de concentration de population) sur la commune de Saint-Joseph secteur Manapany sur fonds Scan 25 IGN©.

Le secteur impacté correspond à une zone d'habitat dispersé à l'amont (zones rurales avec généralement des bâtiments anciens), une zone d'habitat individuel mixte (mélange de villas neuves et de bâtiments plus anciens) et des lotissements (ensemble de villas neuves très homogènes).



Figure 66 : Découpage des communes en îlots homogènes (données issues du rapport BRGM/RP-59953-FR)

La zone d'habitat dispersé est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels. 95% des toits sont en tôles dont 85% sont en état moyen, donc assez vulnérables aux retombées de projections volcaniques (cendre, lapillis ...).

La zone d'habitat individuel mixte est caractérisée par environ 95% de bâtiments résidentiels. 95% des habitations ont des toits en tôles dont 85% sont dans un état moyen, ils seront donc plus vulnérables aux retombées et accumulations de cendres et de projections.

La zone de lotissement est caractérisée par 100% de bâtiments résidentiels avec des toits en tôle à 95% dont l'état est moyen donc vulnérable aux retombées volcaniques.

3.16.2. Déroulement du scénario - Type 1a

Durée du scénario : 4 jours.

Phase 1 : ouverture de fissures dans la zone de Piton Armand sur une longueur totale de l'ordre de 1.5km. Des projections de lave forment des petites fontaines d'une hauteur d'une quarantaine de mètres (Figure 8). L'activité initiale caractérisée par les fontaines est suivie par des explosions stromboliennes (Phase 2).



Figure 67 : Ouverture de fissures et formation de fontaines de lave. Fonds orthophoto IGN©

Phase 3 : après quelques heures, deux cônes de scories une vingtaine de mètres de hauteur se sont formés. Par ailleurs des lapillis (diamètre < 1 cm) se sont déposés autour des fissures, une maison et des serres sont recouvertes d'environ 60 cm de ces matériaux (Figure 19). Un volume de lave d'environ 6Mm³ s'est écoulé.



Figure 68 : Extension des coulées de lave et des cônes de scories du scenario de Sainte-Anne. Fonds orthophoto IGN©

Dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour des fissures, les dépôts de cendres sont importants, avec une pression modélisée qui depasse 1.4kPa sur 6h, soit de 5.7kPa au bout de 24h d'émission de cendres. La plupart des toits en tôle en mauvaise état et quelques toits en tôle d'état moyen se sont effondrés blessant une dizaine de personnes.

Le réseau AEP est coupé en différent points (Figure 69). L'alimentation de tout le quartier est perturbée. Deux réservoirs d'eau sont impactés.



Figure 69 : Extension des coulées de lave, des cônes sur fonds IGN ©, intégrant le réseau AEP et les principaux enjeux.

3.16.3. Synthèse des personnes impliquées et desdégâts

a. Population :

- Une centaine de maisons directement impactées par les écoulements de lave = détruites ou fortement endommagées et toutes évacuées. Par ailleurs les habitations environnantes sont évacuées par crainte de l'extension des coulées amont.
- 300 personnes sans logement
- 10 personnes impliquées par les effondrements de toits en tôles.

- Deux établissements scolaires isolés par les coulées et en partie détruits.

b. Réseaux

- <u>Routes</u> : la RN2 est totalement coupée.
- <u>AEP</u>: Le réseau AEP coupé en plusieurs points. Le centre de Sainte-Anne est totalement coupé d'eau.

c. Incendie :

De nombreux incendies se déclenchent autour et au front de la coulée.

4. Conclusions

L'étude a pour finalité la préparation de documents portant sur la caractérisation des effets des éruptions du Piton de la Fournaise pour la préparation du dispositif Orsec (Sécurité Civile). Il s'agit de permettre aux autorités, aux administrations, aux collectivités et entreprises de se préparer à la survenance de scénarios éruptifs inhabituels sur le volcan du Piton de la Fournaise (non envisagés dans la version actuelle Plan de Secours Spécialisé volcan) afin de réduire le risque volcanique à la Réunion.

La zone d'étude se concentre en particulier sur les 8 communes potentiellement les plus impactées par les aléas volcaniques, à savoir : Saint-Pierre, Petite-Ile, Saint-Joseph, Saint-Philippe, Sainte-Rose, Saint-Benoît, la Plaine-des-Palmistes et le Tampon.

Lors de la phase I de l'étude, l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (OVPF) a réalisé la caractérisation des aléas volcaniques associés à l'activité récente (derniers 5.000 ans) sur l'ensemble du massif du Piton de la Fournaise. L'étude a permis de définir la variabilité des styles éruptifs possibles pour ce volcan basaltique et de quantifier les paramètres qui caractérisent chaque catégorie éruptive (localisation, degré d'explosivité, volume, durée, évolution temporelle et spatiale de l'activité, dispersion des produits éruptifs). A partir des dynamismes éruptifs types définis, 15 scénarios ont été décrits sur l'ensemble des communes situées sur le massif du volcan. Leur localisation a été choisie en fonction des principaux axes volcaniques sur lesquels l'activité volcanique du Piton de La Fournaise se distribue. Le choix de la zone d'occurrence est basé sur la densité de cônes éruptifs, c'est-à-dire les zones où la probabilité d'occurrence d'un événement est la plus probable.

L'inventaire, l'évaluation et la cartographie des principaux enjeux a été réalisée à partir des données existantes, accessibles et disponibles, également lors de la phase précédente de l'étude. Des groupes d'enjeux ont été définis : population, bâti courant, bâtiments stratégiques, milieu naturel, milieu agricole, réseaux routier et aérien, réseaux d'eau, d'électricité et télécommunications.

Concernant le bâti courant, des typologies ont été affectées lors de missions sur le terrain. Des courbes de fragilités ont été sélectionnées à partir des résultats d'études antérieures.

Il a par ailleurs été réalisé un relevé systématique des bâtiments jugés critiques dans la gestion de crise et les opérations des secours. Sur les 8 communes étudiées, un total de 122 établissements stratégiques a été identifié lors d'une mission de terrain.

Les scénarios et les dégâts engendrés par les éruptions sur chaque commune, objets du présent rapport, tiennent compte de la vulnérabilité du bâti et en particulier des toitures aux dépôts de projections décrits dans le rapport BRGM/RP-59953-FR. Au regard des simulations de dépôts de cendre réalisées par l'OVPF, et des probabilités d'effondrement des typologies de toitures recensées, des proportions d'habitations endommagées sont apportées dans le recensement des dégâts

Le choix de l'emplacement de ces scénarios permet d'apporter un exemple concret des phénomènes possibles et de ses conséquences, mais n'exclut pas l'occurrence d'une éruption en d'autres points de la commune.



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009 45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr **Direction régionale Réunion** 5, rue Sainte-Anne CS 51016 97404 Saint-Denis Tél. : 02 62 21 22 14