

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	1
Claude JAUPART	
<b>Avant-propos</b> . . . . .	5
Jean-François LENAT	
<b>Chapitre 1. La surveillance sismique des volcans et la prévision des éruptions.</b> . . . . .	7
Philippe LESAGE	
1.1. Introduction . . . . .	7
1.2. Instrumentation et réseaux sismiques. . . . .	8
1.2.1. Systèmes de mesure . . . . .	8
1.2.2. Capteurs . . . . .	9
1.2.3. Réseau de surveillance . . . . .	11
1.3. Les types d'événements sismo-volcaniques. . . . .	16
1.3.1. Introduction . . . . .	16
1.3.2. Séismes volcano-tectoniques (VT, type A, haute fréquence HF) .	17
1.3.3. Séismes longue-période (LP, type B, basse fréquence LF). . . . .	18
1.3.4. Séismes hybrides (type C, multiphase MP). . . . .	20
1.3.5. Explosions . . . . .	21
1.3.6. Événements très longue période (VLP ou VLF) et ultra-longue période (ULP) . . . . .	22
1.3.7. Trémor volcanique . . . . .	23
1.3.8. Phénomènes de surface . . . . .	25
1.3.9. Distorsions des signaux sismiques . . . . .	26
1.4. La sismicité volcanique. . . . .	26
1.4.1. Principales caractéristiques . . . . .	27

1.4.2. Activité sismique pré-éruptive, précurseurs . . . . .	30
1.4.3. Modèles génériques d'essaims sismo-volcaniques et de sismicité pré-éruptive . . . . .	31
1.5. Le traitement des signaux sismo-volcaniques. . . . .	36
1.5.1. Introduction . . . . .	36
1.5.2. Sismogrammes . . . . .	37
1.5.3. Détection d'événements . . . . .	38
1.5.4. RSAM, RSEM, SSAM. . . . .	38
1.5.5. Analyse spectrale . . . . .	39
1.5.6. Polarisation. . . . .	41
1.5.7. Corrélation . . . . .	42
1.5.8. Détermination du niveau de base d'activité sismique ( <i>Base Level Noise Seismic Spectrum</i> ) . . . . .	43
1.5.9. Classification automatique . . . . .	43
1.6. L'analyse des données de réseaux . . . . .	45
1.6.1. Détermination de modèles de vitesse . . . . .	46
1.6.2. Localisation de sources sismiques . . . . .	46
1.6.3. Inversion du tenseur des moments sismiques. . . . .	52
1.6.4. Analyse d'antenne . . . . .	52
1.6.5. Interférométrie d'ondes de coda . . . . .	55
1.7. La prévision des éruptions . . . . .	60
1.7.1. Introduction . . . . .	60
1.7.2. Prévision probabiliste . . . . .	61
1.7.3. Prévision à court terme. . . . .	62
1.8. La méthode FFM . . . . .	63
1.8.1. Systèmes d'alerte et gestion des crises volcaniques. . . . .	65
1.9. Études de cas . . . . .	67
1.9.1. Introduction . . . . .	67
1.9.2. Volcan Kelud, Java, Indonésie . . . . .	68
1.9.3. L'éruption « centennale » du volcan Merapi, 2010 . . . . .	72
1.9.4. Le Piton de la Fournaise . . . . .	77
1.9.5. Éruptions phréatiques . . . . .	81
1.9.6. Discussion . . . . .	82
1.10. Conclusion . . . . .	82
1.11. Bibliographie . . . . .	83

## **Chapitre 2. La surveillance de la déformation des volcans . . . . .** 103

Valérie CAYOL, Aline PELTIER, Jean-Luc FROGER et François BEAUDUCEL

2.1. Introduction. . . . .	103
2.2. Phénomènes à l'origine des déformations . . . . .	105

2.2.1. Déformations liées aux gonflements-dégonflements de réservoirs magmatiques . . . . .	105
2.2.2. Déformations liées à l'ascension du magma dans des conduits . . . . .	109
2.2.3. Déformations d'origine hydrothermale . . . . .	112
2.2.4. Déstabilisations de flancs liées à la croissance endogène . . . . .	114
2.2.5. Autres sources de déformations. . . . .	115
2.3. Techniques de mesure de la déformation . . . . .	115
2.3.1. Mesures de nivellement . . . . .	116
2.3.2. Inclinométrie. . . . .	117
2.3.3. Extensométrie . . . . .	120
2.3.4. Distancemétrie, trilatération. . . . .	121
2.3.5. Jauges de déformation volumique . . . . .	122
2.3.6. Système de positionnement par satellites, GNSS ( <i>Global Navigation Satellite System</i> ) . . . . .	123
2.3.7. InSAR. . . . .	124
2.3.8. Stéréophotogramétrie. . . . .	133
2.3.9. Mesures en mer . . . . .	134
2.4. Adéquation entre les mesures de déformation et la surveillance. . . . .	134
2.5. Apports et limites de la modélisation de la déformation à l'étude des volcans. . . . .	138
2.5.1. Modèles de réservoirs . . . . .	139
2.5.2. Modèles de conduits . . . . .	152
2.5.3. Modèles sans <i>a priori</i> sur la forme des sources . . . . .	157
2.6. Perspectives : de la surveillance opérationnelle aux modèles physiques et prédictifs . . . . .	159
2.7. Bibliographie. . . . .	161

## **Chapitre 3. Surveillance des volcans par télédétection spatiale . . . . .** 177

Mathieu GOUHIER

3.1. Introduction. . . . .	177
3.2. Concepts de base en télédétection spatiale . . . . .	178
3.2.1. Capteurs passifs et actifs. . . . .	178
3.2.2. Plateformes géostationnaires et défilantes . . . . .	180
3.2.3. Spectre électromagnétique. . . . .	181
3.2.4. Rayonnement infrarouge terrestre . . . . .	185
3.2.5. Résolution spectrale . . . . .	188
3.3. Systèmes opérationnels disponibles principaux . . . . .	188
3.4. Surveillance des panaches de cendres volcaniques. . . . .	192
3.4.1. Méthodologie . . . . .	194
3.4.2. Liste des capteurs disponibles principaux. . . . .	198
3.4.3. Cas d'étude : Etna et Eyjafjallajökull . . . . .	200

3.5. Surveillance des panaches de SO <sub>2</sub> volcaniques . . . . .	204
3.5.1. Méthodologie . . . . .	204
3.5.2. Problématiques opérationnelles . . . . .	207
3.5.3. Cas d'étude : Holuhraun/Bardarbunga . . . . .	209
3.6. Surveillance des coulées de lave . . . . .	210
3.6.1. Introduction . . . . .	210
3.6.2. Méthodologie . . . . .	211
3.6.3. Cas d'étude : Piton de la Fournaise, 2015 . . . . .	221
3.7. Perspectives . . . . .	222
3.8. Bibliographie . . . . .	223

## **Chapitre 4. Surveillance des volcans par télédétection au sol . . . . .** 227

Franck DONNADIEU, David JESSOP, Philipson BANI et Séverine MOUNE

4.1. Introduction . . . . .	227
4.2. Concepts de base en télédétection au sol par ondes électromagnétiques . . . . .	228
4.2.1. Spectre électromagnétique . . . . .	228
4.2.2. Propagation des ondes électromagnétiques . . . . .	228
4.2.3. Diffusion et absorption . . . . .	229
4.3. Télédétection au sol des gaz volcaniques . . . . .	231
4.3.1. Introduction . . . . .	231
4.3.2. Pourquoi s'intéresser au dégazage volcanique ? . . . . .	232
4.3.3. Méthodes de mesure . . . . .	236
4.3.4. Perspectives . . . . .	251
4.3.5. Conclusion . . . . .	252
4.4. Télédétection IR au sol . . . . .	253
4.4.1. Histoire et développement des instruments de télédétection thermique au sol . . . . .	254
4.4.2. Exemples de caméras thermiques utilisées en volcanologie . . . . .	256
4.4.3. Principes physiques . . . . .	259
4.4.4. Caractéristiques et considérations pratiques pour l'utilisation d'instruments d'imagerie thermique . . . . .	262
4.5. Autres méthodes de surveillance des volcans par télédétection au sol . . . . .	269
4.5.1. Introduction . . . . .	269
4.5.2. Importance de la surveillance des panaches de cendres . . . . .	269
4.5.3. Les radars, des outils opérationnels . . . . .	270
4.5.4. Suivi des chutes de cendres proximales : les disdromètres . . . . .	280
4.5.5. Surveillance des orages volcaniques . . . . .	284
4.5.6. Les lidars atmosphériques pour sonder les nuages de cendres peu concentrés . . . . .	290

---

4.5.7. Détection des panaches par réseaux GNSS . . . . .	293
4.5.8. Surveillance des changements topographiques. . . . .	294
4.5.9. Surveillance de l'activité volcanique sous-marine par méthodes acoustiques . . . . .	301
4.6. Perspectives . . . . .	304
4.7. Bibliographie. . . . .	305
<b>Liste des abréviations . . . . .</b>	<b>321</b>
<b>Liste des auteurs. . . . .</b>	<b>325</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>327</b>
<b>Sommaire d'Aléas et surveillance de l'activité volcanique 1 . . . . .</b>	<b>331</b>
<b>Sommaire d'Aléas et surveillance de l'activité volcanique 3 . . . . .</b>	<b>333</b>