



COMITE SUPERIEUR D'EVALUATION DES RISQUES VOLCANIQUES

La Gestion du Risque Volcanique aux Etats-Unis

MISSION CSERV

Y. Caristan, B. Chouet, R. D'Ercole, Th. Staudacher et J. Varet

(septembre 2001 et octobre - novembre 2002)

Rapport CSERV remis au MEDD (DPPR / SDPRM)
Réf. commande MEDD BC02000911
Réf. CIFEG 03R35

TABLE DES MATIERES

1. Résumé et conclusions – Y. Caristan	5
2. Rappel des objectifs et du programme de la mission – J. Varet	7
2.1. Participants	7
2.2. Programme	7
2.3. Entretiens à Reston (Vi) (Septembre 2001, Y. Caristan et J. Varet)	8
2.4. Mission 2002 à Menlo Park et Hawaii	11
3. Contexte géologique des volcans nord-américains – J. Varet	12
3.1. Le volcanisme de zones de subduction, développé dans les Rocheuses et en Alaska	15
3.2. Le volcanisme de zones d'extension en domaine continental, qui caractérise la région des « Basin and Range »	15
3.3. Le volcanisme de « point chaud » de Hawaii	17
4. Gestion des risques volcaniques aux Etats-Unis et cas particulier d'Hawaii – R. D'Ercole	19
4.1. Les bases de la gestion du risque volcanique aux Etats-Unis: le Volcano Hazard Program (VHP) de l'USGS	19
4.2. La préparation aux crises volcaniques	23
4.3. La gestion des crises volcaniques	28
4.4. Crises volcaniques et gestion des crises à Hawaii	33
5. Les observatoires de surveillance volcanologique – Th. Staudacher	46
5.1. USGS Volcanic hazard team	46
5.2. Long Valley Observatory (LVO)	46
5.3. Alaska Volcanological Observatory (AVO)	51
5.4. Hawaiian Volcanological Observatory (HVO)	51
6. Nouvelles méthodes de surveillance géophysique – B. Chouet	56
6.1. Sismicité liée à l'activité volcanique	56
6.2. Nouvelles technologies adaptées aux mesures de l'activité sismique des volcans	57
6.3. Références	57
7. Conclusions, recommandations – Y. Caristan & J. Varet	59
7.1. Au plan scientifique.....	59
7.2. Au plan des méthodes de surveillance.....	59
7.3. Au plan de l'articulation expertise – décision.....	59
7.4. Au plan des responsabilités des organisations face aux risques.....	60
8. Bibliographie et documents reçus – J. Varet	61
8.1. Notes et documents généraux.....	61
8.2. Notes et documents techniques, administratifs et grand public sur les risques	61
8.3. Sites web sur les risques naturels aux Etats-Unis	62
8.4. CD-Roms et cassettes	62
8.5. Notes et documents techniques et administratifs sur les risques volcaniques	62
8.6. Dossiers et documents grand public sur les risques volcaniques	63
8.7. Cartes géologiques et autres	63
8.8. Notes et publications scientifiques	64

Annexes : Reproduction de documents caractéristiques

ANNEXE 1	65
Exemple de bulletin d'information délivré quotidiennement par l'HVO Bulletin concernant le Kilauea (27 décembre 2002)	
ANNEXE 2	66
Exemple de « Press Release »	
ANNEXE 3	67
Exemple de Volcano Watch	
ANNEXE 4	70
Selected Volcano Information (site de l'USGS)	
ANNEXE 5	73
Publications, Maps, and Other Products (site de l'HVO)	
ANNEXE 6	74
Expert elicitation	
ANNEXE 7	75
Système d'alerte utilisé à Long Valley	
ANNEXE 8	78
Response Plan for Volcano Hazards in the Long Valley Caldera and Mono Craters Region, California	
ANNEXE 9	80
Staged alert levels in Cascade Range volcanoes in Washington and Oregon	

1. Résumé et conclusions

par Yves Caristan

Parmi les missions du CSERV figure l'organisation de retours d'expériences en matière de prévention en provenance de services compétents opérant sur des volcans étrangers. Après des missions effectuées au Japon, en Indonésie et au Mexique, le CSERV a décidé d'organiser une mission aux Etats-Unis, pays où l'on dispose d'une part d'une expérience scientifique et de gestion du risque, et d'autre part d'une diversité de volcans : volcanisme acide de subduction de la côte Ouest des Rocheuses et d'Alaska, volcanisme de rift continental des Cascades et volcanisme de point chaud d'Hawaii.

Pour le CSERV, l'intérêt de ces types de volcans est évident : si les caractéristiques des premiers s'apparentent à ceux des Antilles, ce dernier présente des analogies certaines avec La Réunion.

L'autre intérêt de cette mission pour le CSERV réside dans la conception même des politiques de surveillance et de prévention américaines.

Elles reposent beaucoup sur le Service Géologique Américain (USGS), une organisation puissante (10 000 employés, budget de 1 Milliard de \$) rattachée au Ministère de l'Intérieur. Organisme scientifique, il est chargé de la surveillance opérationnelle de l'environnement en général (eau, sols, ressources et risques) ; la surveillance sismique et volcanique fait partie de ses missions. Celles-ci ne font pas double emploi avec les travaux de recherche universitaires, menés par ailleurs sur les mêmes sujets par de nombreuses équipes avec lesquelles l'USGS collabore.

D'autre part, la conception même de la prévention diffère sensiblement aux Etats-Unis de ce que nous connaissons en France. Si l'Etat fédéral a la responsabilité d'assurer la recherche, la surveillance et la diffusion de l'information sur les risques, par contre les décisions qui en découlent sont de la responsabilité des collectivités locales et des individus. Les assurances en matière de risques naturels sont gérées de manière privée, avec une forte responsabilité des sociétés d'assurances dont les tarifs sont modulés en fonction de la réalité des risques, même s'il existe (avec la FEMA) des formules de solidarité pour venir au secours des personnes affectées par des catastrophes naturelles majeures.

Malgré la puissance de l'organisation fédérale, on note une diversité de situations locales, notamment concernant la façon pour l'USGS de « dire le risque », et plus généralement le mode de prise en charge de la prévention. Ainsi, en Alaska, région peu peuplée, l'USGS fait-il partie intégrante d'un dispositif d'alerte, conjointement avec la Météo, l'aviation civile et les U.S.Air Forces s'adressant directement aux pilotes. A Hawaii, et plus encore dans les Cascades, par contre, la distinction entre expertise scientifique et gestion de la prévention est plus claire. Ce sont les autorités locales de sécurité civile qui gèrent les politiques de prévention.

De même, si un système de code couleur unique est proposé, son application est fortement modulée. Les volcans de l'Alaska émettent des panaches qui se déplacent et dont le danger ne peut être figuré par de tels dispositifs liés à un site géographique. Et à Hawaii où l'activité est permanente, c'est sur le site même de l'éruption que se gèrent les actions quotidiennes d'information et de prévention.

Ainsi, en comparaison avec la situation française, la responsabilité de l'Etat est-elle engagée avec des moyens impressionnants en matière de recherche, de surveillance et d'information du public, des collectivités locales et des entreprises. Même sur le terrain, l'information est donnée au public de manière très didactique au plus près des sites à risques. Par contre, les individus, les entreprises et les collectivités restent libres de leur choix. On assiste par exemple à la construction de lotissements dans des zones à risques sur les flancs du volcan de Hawaii, où les terrains sont bon marché même si les assurances sont hors de prix ; de même, les touristes sont libres de se déplacer dans les zones d'éruption, étant entendu qu'ils sont très précisément informés des risques qu'ils encourent.

Au total, nous avons sans doute beaucoup à apprendre de l'expérience américaine, d'une part pour enrichir notre approche scientifique et opérationnelle de la surveillance (les technologies de mesure de remontée des magmas et des fluides hydrothermaux en cours de développement utilisant les longues périodes constituent un exemple de transfert à engager sans tarder) et d'autre part pour ce qui concerne la responsabilisation des acteurs locaux dans les zones à risques, et le développement d'une économie privée qui prend en charge ces questions (assurances notamment).

2. Rappel des objectifs et du programme de la mission

par Jacques Varet

Cette mission d'information s'inscrit dans la suite de celles organisées depuis 1997 par le CSERV afin d'enrichir sa compétence dans la mise en place de la politique pour l'évaluation et la prévention du risque volcanique.

Elle a pour objectif de s'informer sur les points suivants :

1. la politique des Etats-Unis en matière de prévention du risque volcanique ;
2. la position de l'USGS dans le dispositif des Etats-Unis et de la politique ;
3. l'organisation de l'USGS au regard de l'observation de l'activité volcanique ;
4. de l'organisation générale de cette surveillance ;
5. des avancées récentes dans la prévision des remontées magmatiques à partir des technologies basse fréquence ;
6. de la coordination entre l'USGS et la protection civile ;
7. de l'exploitation de la géothermie sur le site d'Hawaii.

2.1. PARTICIPANTS

- M. Yves CARISTAN, Président du CSERV
- M. Jacques VARET, Directeur de la prospective du BRGM
- M. Bernard CHOUEY, IUGS, USGS/Volcano Hazard team, Menlo Park /Ca.
- M. Robert D'ERCOLE, IRD, Quito/Equateur
- M. Thomas STAUDACHER, Directeur/Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise – La Plaine des Cafres /Réunion

2.2. PROGRAMME

Cette mission CSERV comportait trois étapes :

- le siège de l'USGS à Reston (Vi)
- le centre de l'USGS de Menlo Park (Ca)
- l'observatoire volcanologique de Hawaii (HVO).

Elle s'est déroulée sur deux années, du fait des événements du 11 septembre, qui ont interrompu la première mission commencée à Reston par Y. Caristan et J. Varet le 9 septembre 2001. Ils devaient à l'origine être rejoints par trois autres membres du CSERV : F. Beauducel (O.V.IPG Guadeloupe), R. d'Ercole (IRD, Quito) et B. Chouet (USGS, Menlo et HVO). La totalité de la mission étant coordonnée par Richard Calnan, chef des programmes internationaux de l'USGS, en lien avec l'ambassade de France (Laurent de Mercey, attaché scientifique en charge du dossier suite lettre du MATE).

En septembre 2001, seule la première journée s'est passée selon le calendrier initialement prévu. Le programme prévu à Menlo Park et Hawaii nous a été remis : visite du centre de Menlo avec Carl Mortensen, et discussion des relations avec les autorités : rôle de la FEMA (Federal Emergency Management Agency), de l'OES (California Office of Emergency Services), et du secteur privé, avec les cas de PG&E (Pacific Gas & Electric) et du California Dept of Insurance. Présentation des réseaux sismiques par Blanpied et W.Savage.

Les présentations suivantes étaient en outre prévues :

- Andrea Alpine : western region integrated science
- Bernard Chouet : volcano hazard team
- Woody Savage : seismic network (avec PG&E)
- Robert Tilling : volcano hazard team
- Leslie Gordon : Education and outreach efforts.

La visite de l'observatoire de Hawaii devait être organisée par Don Swanson, scientifique in charge. Ces deux parties de la mission ont été remises à l'année suivante (novembre 2002).

2.3. ENTRETIENS A RESTON (Vi) (Septembre 2001, Y. Caristan et J. Varet) *(Ne sont repris ici que les éléments utiles pour le CSERV.)*

a) Chip Groat, directeur, et Pat Leahy, directeur associé pour la géologie, présentent le positionnement de l'USGS, comme une « agence de sciences naturelles et d'information », et commentent le document de présentation « geology for a changing world (cf. biblio.) » qui montre bien en quoi l'USGS est utile aux politiques et à l'éducation du public. Il souligne que le principal challenge est de trouver la meilleure façon de « formater » l'information.

L'USGS, à la différence des autres « geological surveys » et du BRGM, a pour caractéristique d'incorporer l'information géographique (équivalent de l'IGN), les connaissances en hydrologie (réseaux de surveillance et synthèses par bassins, sans équivalent en France) et les données biologiques (équivalent des travaux menés par le MNHN pour le MATE), ce qui lui confère une compétence « sciences naturelles » complète et lui permet de répondre correctement à des questions environnementales et d'aménagement.

Avec un effectif de 10 000 personnes et un budget annuel de 1 Milliard de \$, l'USGS définit des activités comme focalisées sur 4 domaines : risques naturels, ressources, environnement et information & gestion de données. Placé au sein du ministère de l'intérieur, sa grande proximité des politiques publiques (notamment pour le staff de Reston, en contact étroit avec la présidence, la chambre des représentants et le sénat) et la nécessité de justifier de son utilité sociale l'ont amené à développer une réelle capacité d'expression des réalités scientifiques à la portée de diverses catégories de publics, même si c'est au prix de changements d'orientations en cas d'alternance (cf. § information et énergie ci-dessous). Le budget est négocié globalement avec la présidence, qui propose une enveloppe, puis examiné plus en détail avec le congrès, qui peut augmenter certains programmes.

Essentiellement financé par le budget fédéral sur des lignes de programmes qui lui sont dédiées, l'USGS bénéficie également de financements d'autres agences fédérales ou d'états, notamment à l'international (USAID) et dans le domaine de l'eau et de la cartographie géologique.

b) Barbara J. Ryan, directeur associé pour la géographie, présente son secteur (130 M\$/an), équivalent de l'IGN. Son rôle est de produire des données, des standards d'information, de la surveillance (monitoring) et des modèles pour des développements.

Les données sont diffusées largement et le privé peut les utiliser librement, mais n'a intérêt à les vendre qu'avec valeur ajoutée (les données USGS, diffusées au coût marginal, sont toujours moins chères). Les coopérations (CRDA= Cooperation R&D Agreement) sont développées avec les universités et les industriels. L'objectif est de diffuser en ligne plusieurs couches de données de qualité (« layers » topo, hydro, réseaux...). Ainsi l'USGS a développé avec Microsoft un serveur gratuit qui permet d'obtenir en ligne ces données pour le 1/3 Est des Etats-Unis, et rencontre un grand succès (5 à 6 millions de « hits » par jour).

- c) **John Filson, coordinateur national du « earthquake program »**, présenté au congrès en 1978 par l'USGS en partenariat avec la FEMA, la NIST et la NSF, et reconduit régulièrement depuis (engagement actuel jusqu'en 2003, dans le cadre d'un programme de 5 ans) ; montant 2001 de 46,7 M\$), pour « servir de base à la réduction des morts, des blessés, des pertes de biens dus aux tremblements de terre aux Etats-Unis ». Il est consacré pour 40 % aux réseaux de surveillance et d'alerte, pour 40 % à l'évaluation des risques, et pour 20 % à la recherche, et distribué pour 40 % à des salaires USGS, 20 % aux programmes de recherche externes, 16 % aux charges des réseaux et 24 % de frais de gestion. Il compte 5 centres régionaux, dont 3 sur la côte Ouest. Il s'agit en fait d'une opération de mise en réseau national (ANSS) de 16 réseaux (jusque là indépendants depuis 20 à 30 ans), pour la plupart gérés par des universités (un seul par l'USGS !). Le programme de 5 ans inclut 170 M\$ d'investissements portant sur une remise à niveau d'ensemble (1000 stations large bande, 50 nouvelles stations constituant la colonne vertébrale nationale, et 6000 instruments de strong motion dans les zones sensibles).

Un programme a été conçu pour produire et diffuser en ligne sur le Web des cartes des zones d'endommagement probable (« shake-maps ») dix minutes après tout séisme sur le territoire US. Ce produit répond bien à la demande (1000 hits/seconde après le séisme). Les autres produits en cours de développement sont soit destinés aux collectivités locales (« community interest intensity map » ; études de déformation par GPS ; prise en compte des réponses des sols en partenariat avec des groupes locaux ; évolution cinématique des ondes à l'échelle d'un bassin), soit de niveau national (carte nationale du risque sismique, incluant les failles actives, les failles historiques, les structures crustales et de bassins, les atténuations sismiques...) notamment pour servir aux codes de construction nationaux (travail important engagé avec les professionnels et les donneurs d'ordres).

- d) **Rosalind Helz, coordinatrice nationale du programme « volcano hazards and landslide hazards »**, rappelle que l'on compte 70 volcans actifs aux EU, dont 22 en activité depuis 1980. Le « volcano programme » ne vise pas à la prévention mais à la minimisation des risques :

- surveillance de l'activité,
- fourniture d'informations d'alerte,
- amélioration de la compréhension scientifique,
- communication (à court et long terme).

La création de ce programme remonte à 1974, avec le « Robert T. Stafford disaster relief and emergency act » qui rend l'USGS responsable de ces activités, menées essentiellement sur la côte Ouest depuis Menlo Park, Reston assurant la liaison avec les autres agences fédérales concernées : NOAA (océan et atmosphère), FAA (aviation), OFCM,

OFDA, NIMA (imagerie militaire) et Smithsonian (archives et rapports hebdomadaires pour le monde entier). L'USGS compte 5 observatoires volcanologiques : AVO (Alaska), CVO (Cascades), HVO (Hawaii), LVO (Long Valley) et YVO (Yellow Stone). L'USGS anime aussi avec l'USAID (OFDA= Office of US Foreign Disaster Assistance) le « Volcano Disaster Assistance Program » (VDAP), pour assister les équipes scientifiques étrangères et mettre à leur disposition un observatoire mobile complet. La FEMA (« Federal Emergency Management Agency ») est théoriquement en charge de l'intervention en cas d'éruption, mais c'est en fait l'USGS qui assure les « plans de réponse » définis pour chaque volcan (et accessibles sur le web). Dans le cas de l'Alaska, il existe un accord inter-agences qui définit les conditions d'inter-opérabilité en cas d'épisode d'émission de cendres volcaniques.

Comportement géologique	Code et condition	Réponse de l'USGS
Volcan dormant Activité normale	Vert Pas de risque immédiat	Surveillance de routine
Indications d'activité Une éruption peut se produire	Jaune	Surveillance renforcée
Eruption probable (dans les 14 jours)	Orange	- "-
Occurrence d'une éruption significative	Rouge	- "-

Ces plans ont été mis au point à la suite de l'éruption du Mt. St. Helens ; on ne disposait pas de tels plans à cette époque et il fallut que D. Swanson exerce sa force de conviction personnelle à l'égard du gouverneur pour qu'il évacue. Actuellement (Mt. Rainier p. ex.), la politique consiste à limiter le rôle du fédéral et à placer les collectivités locales menacées en charge du système et de l'éducation du public. L'USGS travaille directement avec elles pour les aider à traduire localement les codes nationaux et mettre en vigueur leurs programmes. « Ce sont les communautés qui décident, en fonction de leur vision à plus ou moins long terme », précise Rosalind, citant quelques exemples, comme l'alerte émise par l'USGS à Long Valley en 1991, qui rendit furieuses les autorités locales du fait qu'on était en pleine saison de ski.

L'USGS est aussi un des centres d'alerte pour les cendres volcaniques, dans le cadre d'un réseau mondial (Toulouse en charge pour l'Europe, la Méditerranée et l'Afrique, jusqu'à l'Iran et les Açores), particulièrement concerné pour Anchorage, où de nombreuses routes aériennes longent la chaîne volcanique des Aléoutiennes et de l'Alaska. Au plan américain, il existe un système fédéral coordonné, le « global volcanic hazards alerting system », incluant le « volcanic ash advisory centre (VAAC) » impliquant l'ensemble des agences et partenaires concernés.

e) Milan J. Palvich, coordinateur du programme de l'USGS sur le changement global, est à la tête du « Earth surface processes team ». Ce programme résulte de la Loi « US global change research act » (USGCRA) de 1990, initiative présidentielle suivant le « regional climate change workshop » de 1998. Il porte sur les émissions et séquestrations de carbone dans les processus naturels (ex. Mississippi, etc.). Il vise à préciser les évolutions climatiques historiques (humidité notamment), à simuler l'évolution de la distribution des espèces, des changements d'occupation des sols (zones humides, forêts et glaciers notamment dans la période 1972-2000), et des transports de poussières et impacts associés (pollen, épidémies...). Il comporte un programme sur les glissements de terrain (landslides hazards program de 2,6 M\$).

2.4. MISSION 2002 A MENLO PARK ET HAWAII

2.4.1. Participants

Y. Caristan, B. Chouet, R. D'Ercole, Th. Staudacher et J. Varet.

2.4.2. Programme

27 oct. : Départ de Paris
28 oct. : Arrivée Menlo Park, San Francisco → (entretiens)
29 oct. : Départ de Menlo Park, San Francisco → arrivée Honolulu, Hawaii
29 – 30 oct. : Hilo et Mauna Loa (HVO)
01– 02 nov. : Départ Hilo → Honolulu → Los Angeles → Paris / Quito / Réunion

2.4.3. Personnalités rencontrées

a) USGS à Menlo Park, le 28 octobre 2002

- Margaret T. Mangan physical volcanologist, scientist in charge, coordinatrice de la visite à Menlo Park
- Terry E.C. Keith chief scientist, volcano hazard team
- Gillian. R. Foulger –
- Bruce Julial sismologue
- John Langbein déformations
- Bill Evans géochimiste

b) à Hawaii, du 30 octobre au 1^{er} novembre 2002 (USGS, HVO et Puna)

- Arnold T. Okamura deputy scientist in charge, Hawaii Volcanological Observatory (HVO)
- Donald M. Thomas Professor, volcanology and geochemistry, University of Hawaii, Hilo
- Don Swanson Scientist in Charge, Hawaii Volcanological Observatory (HVO)
- William Devies Hawaii County Civil Defense
- Steward Koyanagi seismologist, HVO
- Paul Okubo seismologist, HVO
- Cristina Helliker geologist volcanologist, HVO
- Jeff Sutton geochemist, HVO
- Jim Kaushikaua geophysicist, HVO

3. Contexte géologique des volcans nord-américains

par Jacques Varet

Les Etats-Unis comportent, avec les Etats de la côte Ouest (Californie, Oregon, Washington), et de manière plus spectaculaire avec l'Alaska et Hawaii, un grand nombre de volcans, souvent situés à proximité immédiate d'importantes concentrations humaines.

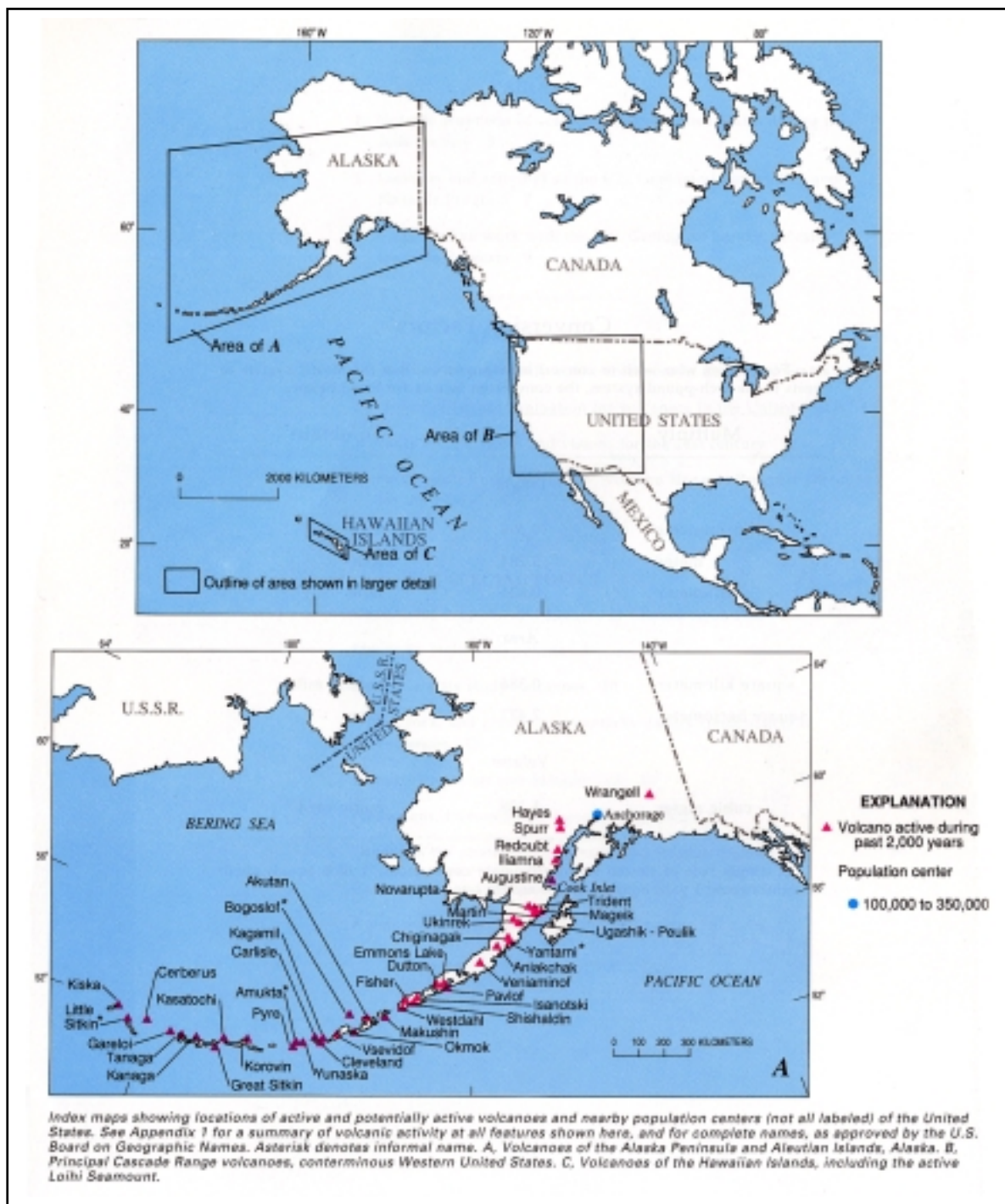
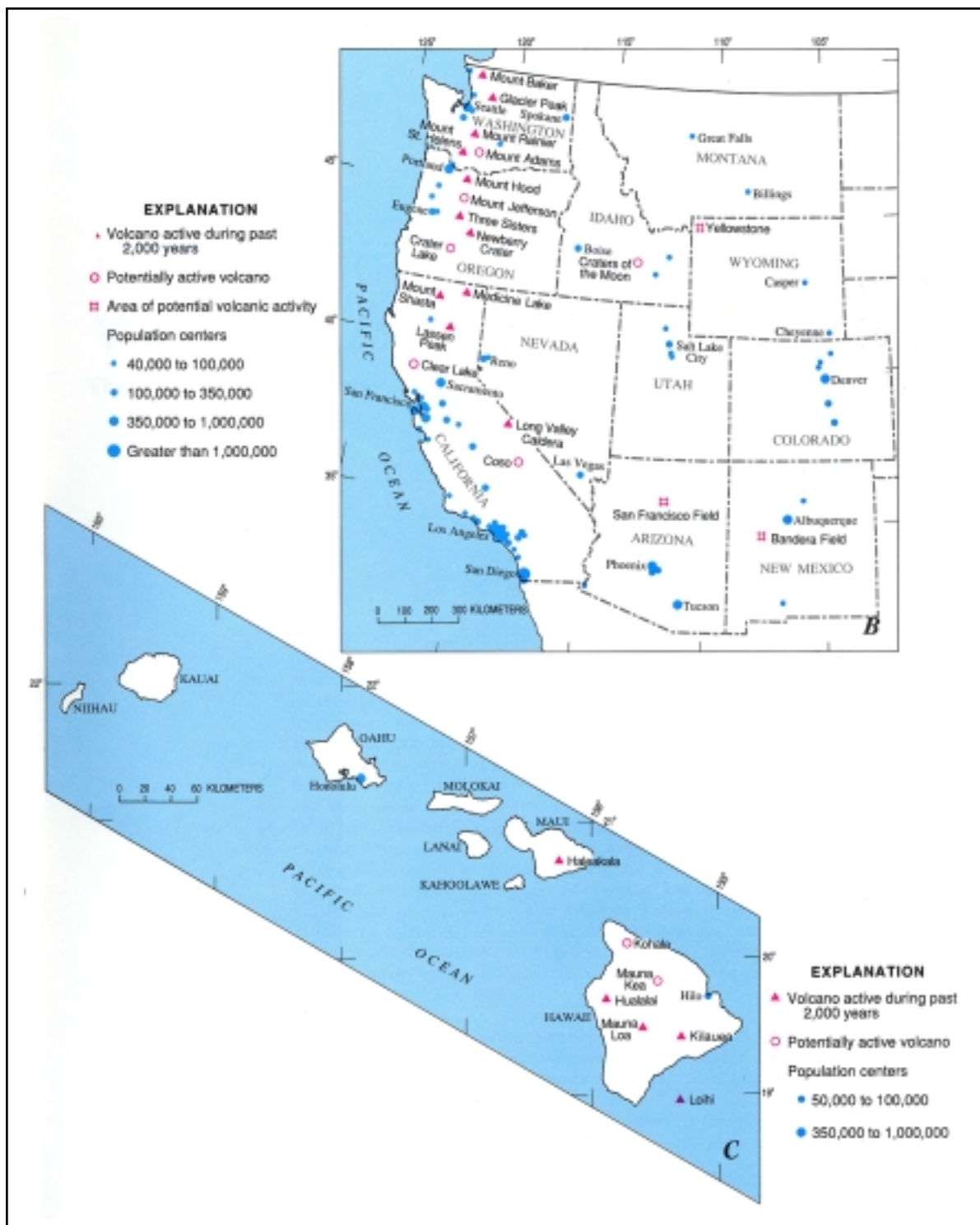


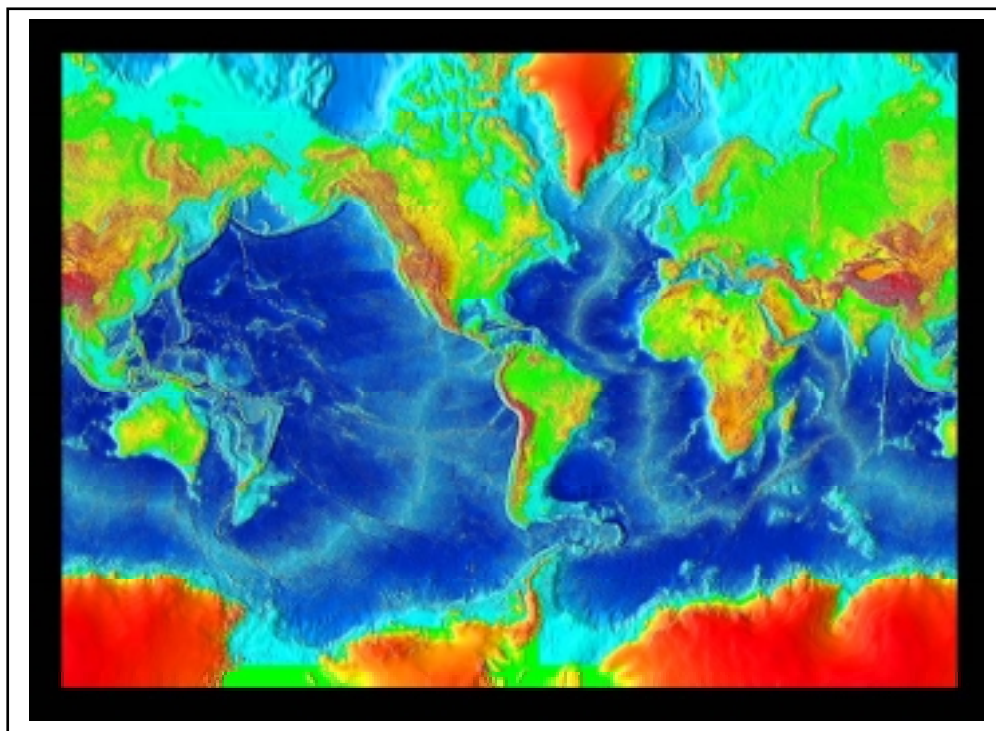
Fig. – Carte générale des Etats-Unis indiquant le positionnement respectif des principaux volcans (en rouge) et des concentrations urbaines (en bleu).



Le territoire des Etats-Unis comporte des situations géodynamiques assez variées pour disposer de systèmes volcaniques actifs appartenant à diverses catégories. Tous se situent dans la partie Ouest des Etats-Unis, la partie Est et la zone centrale constituant une zone de plate-forme stable dépourvue d'activité volcanique.

On voit sur la figure ci-dessous le continent nord-américain, la dorsale océanique du nord du Pacifique qui disparaît au nord du Mexique et dont le déplacement se fait relayer par la faille

transformante de San Andreas. On voit également les montagnes Rocheuses, la chaîne de l'Alaska, et dans le Pacifique Nord la chaîne Hawaii-Emperor, avec son inflexion caractéristique (traduisant le changement d'orientation de la dorsale pacifique).



Pour schématiser, on peut distinguer trois catégories de situations géodynamiques auxquelles répondent trois types distincts de systèmes volcaniques :

- le volcanisme de zones de subduction, développé dans les Rocheuses et en Alaska ;
- le volcanisme de zones d'extension en domaine continental, qui caractérise la région des « Basin and Range » ;
- le volcanisme de « point chaud » de Hawaii.

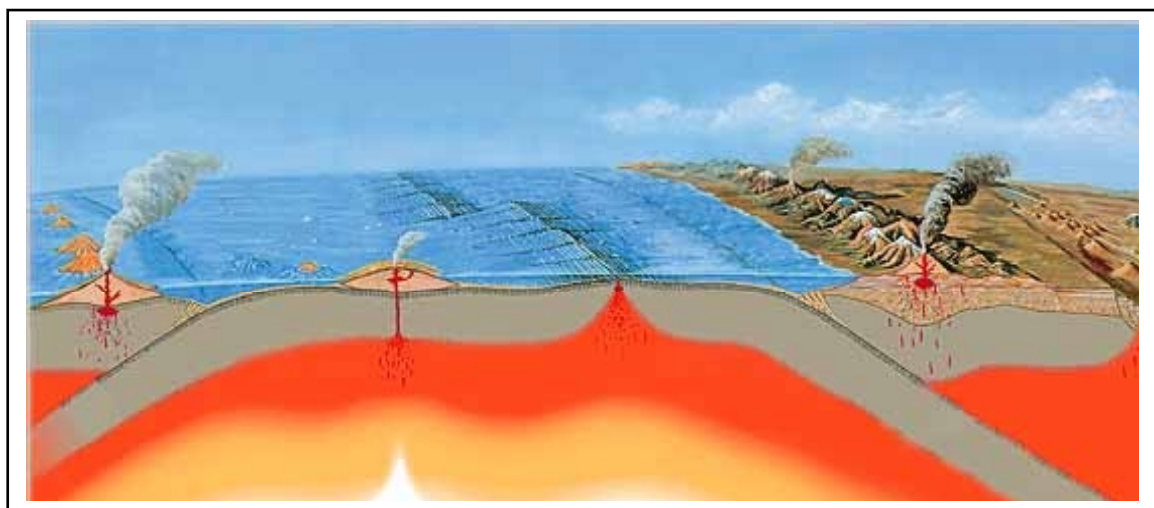


Fig. – Schéma géodynamique des divers types de volcanisme : dorsale océanique au centre, volcanisme de subduction de type cordillère à droite (ex. : montagnes Rocheuses) et de type « arc insulaire » à gauche (ex. archipel des Kouriles à l'ouest de l'Alaska ; Japon ; Antilles...). Point chaud marqué par une île océanique (ex. Hawaii) à gauche de la dorsale, et zone d'extension en domaine continental à droite, à l'arrière des Rocheuses (Basin and Range).

3.1. LE VOLCANISME DE ZONES DE SUBDUCTION, DEVELOPPE DANS LES ROCHEUSES ET EN ALASKA

Il se caractérise par des édifices centraux, de composition andésitique ou de leurs dérivés plus acides (dacites, rhyolites). Les éruptions y sont rares, mais elles sont d'une violence plus grande, avec des formes riches en gaz développant des éruptions de grande ampleur, de type nuées ardentes ou cendres et lahars. Dans la chaîne des Cascades de la côte ouest des Etats-Unis (Etats de Californie, Oregon et Washington), les volcans sont peu actifs, mais peuvent donner lieu à des éruptions paroxysmales de grande violence et de vaste étendue régionale. Ainsi, en 1980, malgré les importantes mesures prises en matière d'alerte et de prévention, l'éruption du Mt. St. Helens en 1980 a fait 50 morts et des pertes économiques importantes. En Alaska, les édifices volcaniques sont plus nombreux et également plus actifs, mais la vulnérabilité est beaucoup plus limitée, du fait de la très faible densité de population. Seule la ville d'Anchorage, avec son importante base aérienne, présente un enjeu pris en charge notamment par la sécurité civile et les US Air Forces, du fait des risques encourus pour l'aviation (panaches de cendres corrosives pour le cock-pit et les réacteurs, présence de gaz toxique et absence d'oxygène).

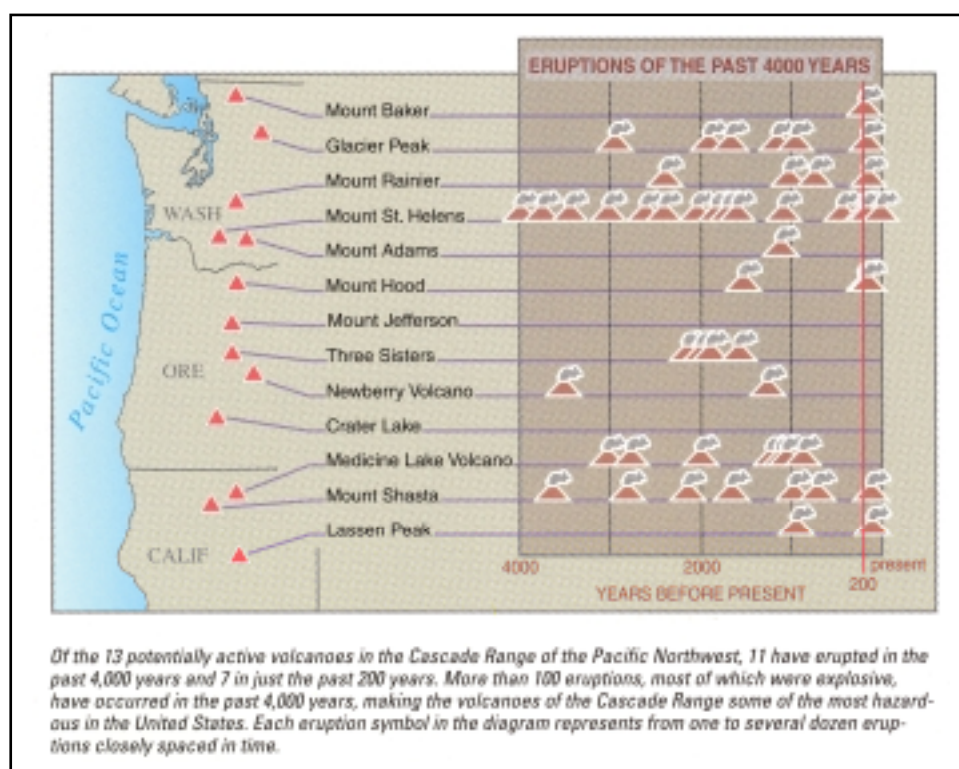


Fig. – Carte des principaux édifices volcaniques de la côte ouest des Etats-Unis (Cascade Range), avec indication de l'âge des éruptions au cours de la période récente.

3.2 LE VOLCANISME DE ZONES D'EXTENSION EN DOMAINE CONTINENTAL, QUI CARACTERISE LA REGION DES « BASIN AND RANGE »

Il s'agit d'un volcanisme de type à dominante basaltique (basaltes alcalins), avec leurs dérivés produits par différenciation. Pour l'essentiel, il s'agit d'un volcanisme fissural, d'ampleur

limitée. Mais localement, il peut donner lieu à des développements plus significatifs (notamment à la faveur de croisements de failles), avec développement d'édifices centraux et de caldeiras. C'est en particulier la situation qui prévaut à Long Valley, une caldeira présentant une activité sismique, volcanique et hydrothermale bien développée, dans une région à fort enjeu touristique (station de sports d'hiver) et qui fait pour cette raison l'objet d'une surveillance attentive. En Europe, les régions du Massif central, du fossé Rhénan, et des autres zones d'extension péri-alpines s'apparentent à la même catégorie géodynamique et magmatique.

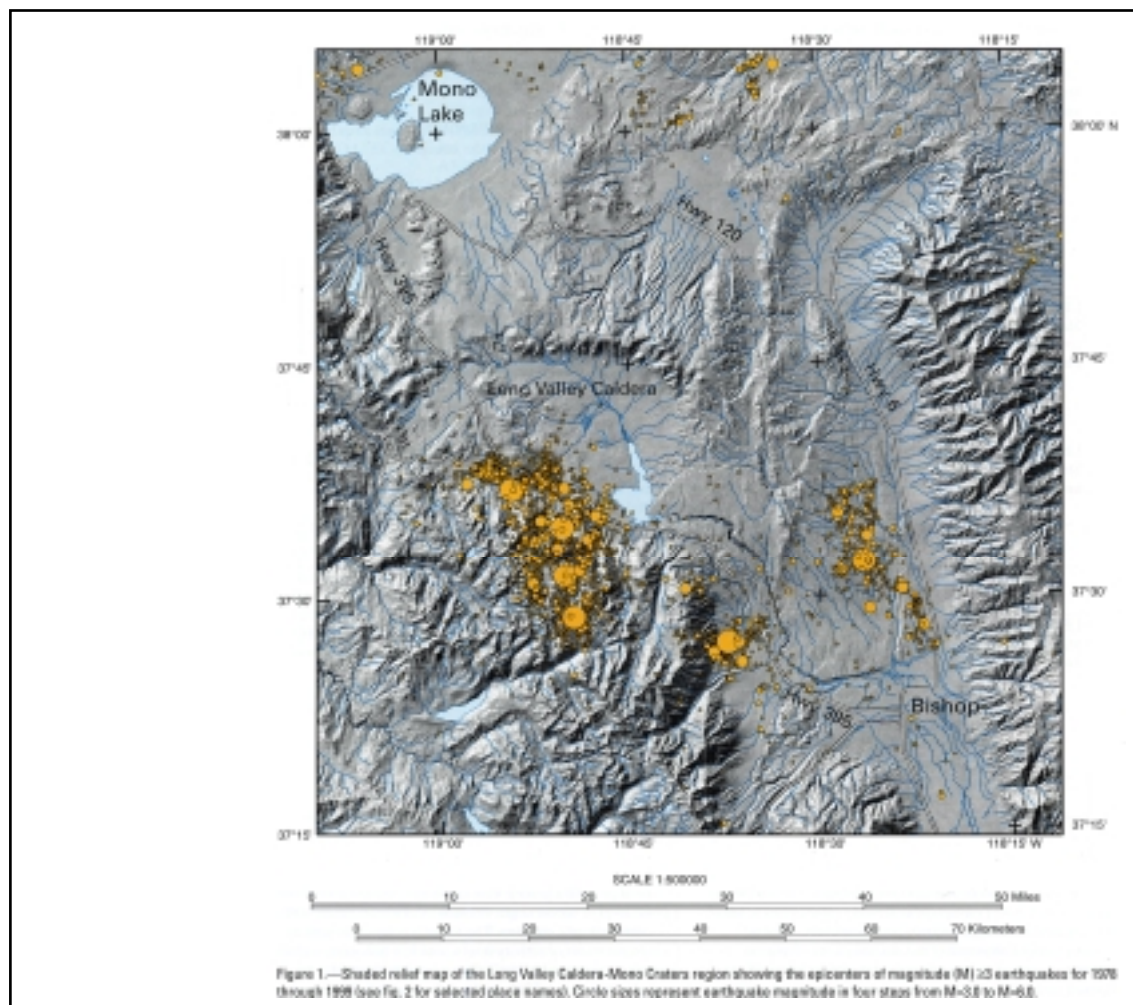


Fig. – Carte géomorphologique de la caldeira de Long Valley dans le contexte tectonique des « Basin and Range » (en orange : activité sismique récente).

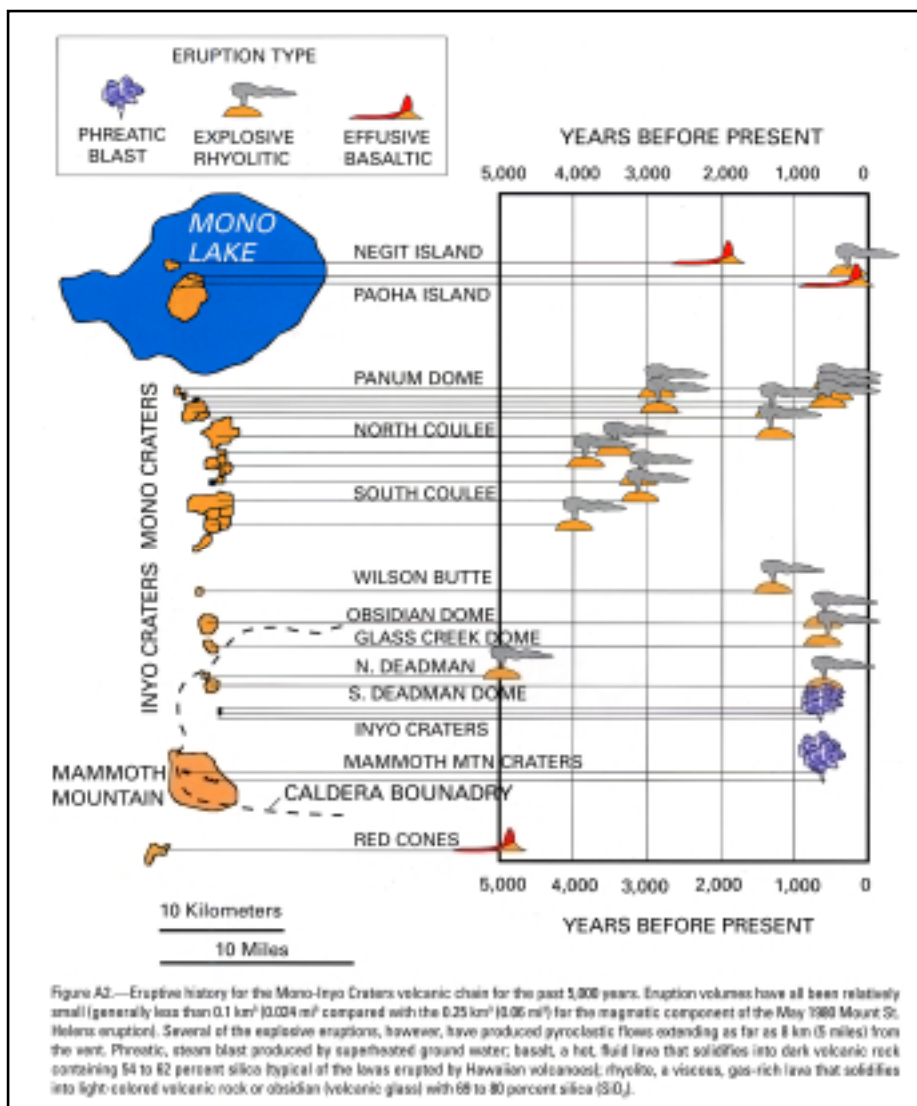


Fig. – Carte de l'activité volcanique récente le long de la chaîne des Mono Craters, qui s'étend en direction N-S (faille extensive des Basin and Range) sur le flanc ouest de la caldeira de Long Valley.

3.3. LE VOLCANISME DE « POINT CHAUD » DE HAWAII

L'archipel de Hawaii fait référence au plan géologique en matière de « point chaud ». Il s'agit de zones, éventuellement situées à l'intérieur des plaques – ici la plaque océanique du centre du Pacifique – dans lesquelles se développe un volcanisme basaltique d'origine profonde (bien au-dessous de la plaque lithosphérique). L'activité est ici l'expression de surface d'un « panache » du manteau, qui, remontant de l'asthénosphère, développe un mécanisme de fusion partielle et de remontée magmatique au sein de la lithosphère. Le volcanisme basaltique, d'abord sous-marin, aboutit à l'édification d'îles volcaniques. Avec le déplacement de la plaque, il se constitue progressivement une guirlande d'îles, dont l'âge va croissant en s'éloignant du point chaud. Ici, il s'agit de la chaîne « Hawaii-Emperor » longue de plusieurs centaines de kilomètres, et dont la grande île de Hawaii, la seule qui soit réellement active, constitue la terminaison sud-est.

Dans ce type de volcanisme, les caractéristiques des éruptions sont largement déterminées par les caractéristiques géomorphologiques des édifices volcaniques qui se juxtaposent du fait du déplacement de la plaque. L'édifice central, marqué par une caldeira, est bordé de zones de rifts dans lesquelles se développe une activité fissurale intense. Hawaii est certainement le volcan le plus actif du monde.

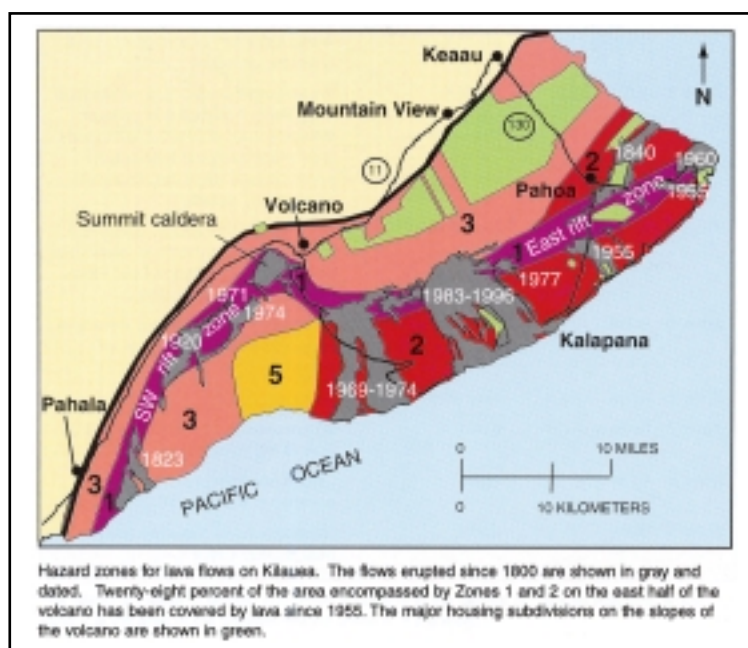
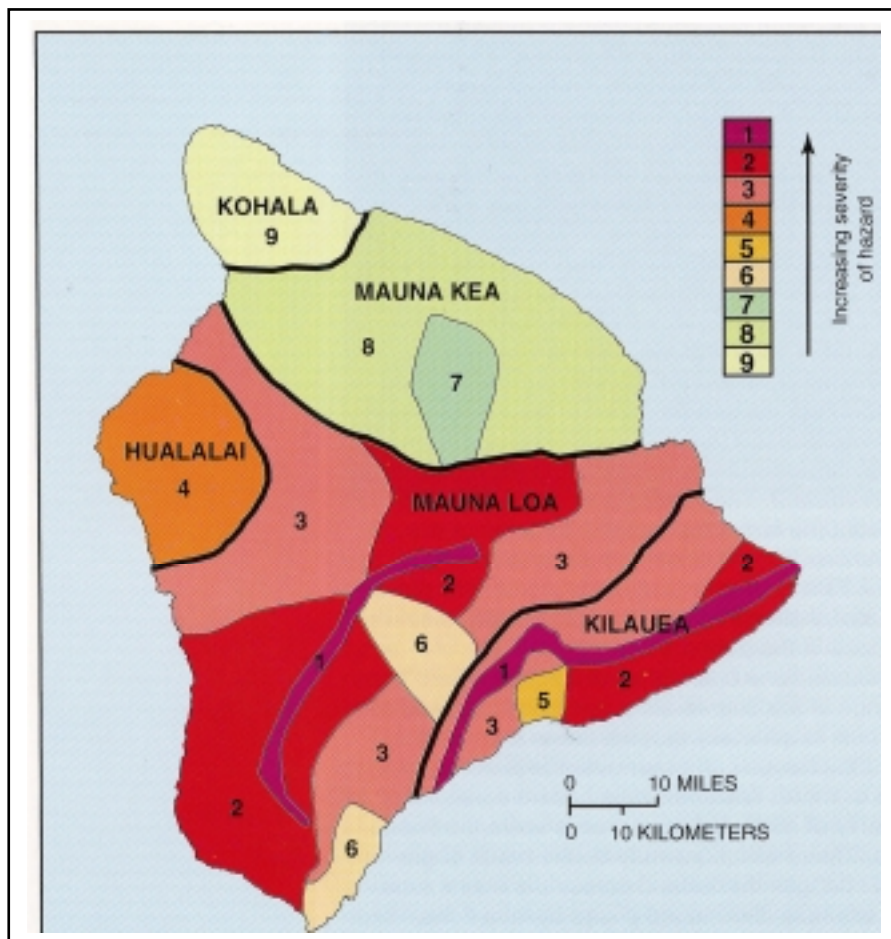


Fig. – Cartes de l'île de Hawaii indiquant :
 1) les principales zones d'activité classées selon leur niveau de risque, et
 2) détails du Kilauea et de ses zones de rift : l'activité datant de moins de 200 ans est indiquée en gris avec dates des éruptions.

4. Gestion des risques volcaniques aux Etats-Unis et cas particulier d'Hawaii

par Robert D'Ercole

4.1. LES BASES DE LA GESTION DU RISQUE VOLCANIQUE AUX ETATS-UNIS : LE VOLCANO HAZARD PROGRAM (VHP) DE L'USGS¹

4.1.1. Le contexte : un risque volcanique croissant

A l'échelle des pays, à l'exception de l'Indonésie et du Japon, les Etats-Unis possèdent le plus grand nombre de volcans actifs ou potentiellement actifs (65), ces derniers se concentrant à l'ouest du pays. Plus de 50 d'entre eux sont entrés en éruption durant les 200 dernières années et, au XX^e siècle, les éruptions enregistrées dans les Etats de l'Alaska, la Californie, Hawaii et Washington ont dévasté des milliers de km², causé des pertes économiques *considérables*, de même que des perturbations d'ordre social, et elles ont, parfois, été à l'origine de pertes en vies humaines (plus de 50 morts à l'occasion de l'éruption du Mont St. Helens en 1980). Les éruptions les plus récentes (Alaska, Hawaii) ont seulement eu un impact local ; cependant, trois types d'évolutions rendent les volcans de plus en plus dangereux pour les Etats-Unis :

- le rapide développement démographique et économique du nord-ouest du pays (de plus en plus de personnes et d'activités exposées à des volcans tels que le Mont Rainier et le Mont Baker près de Seattle-Tacoma ou le Mont Hood près de Portland) ;
- le trafic aérien trans-pacifique de plus en plus dense au-dessus de plusieurs dizaines de volcans que compte l'Alaska (risques liés aux cendres volcaniques) ;
- dans un contexte d'une globalisation de l'économie à la fois rapide et de plus en plus ramifiée, la vulnérabilité croissante des compagnies et des marchés financiers nord-américains vis-à-vis des perturbations occasionnées par les catastrophes naturelles, et parmi ces dernières les catastrophes liées à des éruptions volcaniques.

Face à ces dangers, les Etats-Unis, à l'échelle fédérale et à celle des Etats, comptent principalement sur le Volcano Hazard Program (VHP) de l'U.S. Geological Survey (USGS) pour la gestion de l'ensemble des volcans situés dans le pays et la réduction du risque volcanique.

4.1.2. Le Volcano Hazard Program (VHP)

4.1.2.1. Objectifs du VHP

Le VHP présente trois objectifs complémentaires :

- La recherche fondamentale sur les processus volcaniques (knowledge acquisition). L'objectif est de comprendre les processus à l'origine des éruptions volcaniques et de leurs conséquences et de mettre au point différentes méthodes de collecte et d'interprétation des données utiles à cette compréhension.
- L'application (knowledge application) avec trois composantes opérationnelles :

¹ L'essentiel de l'information fournie dans ce 1^{er} chapitre provient de : Commission on Geosciences, Environment and Resources (CGER), 2000 – Review of the Geological Surveys' s Volcano Hazards Program. Le texte intégral (114 p. + annexes) peut être consulté sur le site du National Academies Press (<http://www.nap.edu/books/0309070961/html/index.html>).

- l'évaluation des menaces volcaniques (assessment) fondée principalement sur la connaissance des activités passées de volcans potentiellement actifs ; il s'agit d'une évaluation de la menace à long terme de la magnitude potentielle et de la probabilité d'occurrence de futures éruptions.
 - la surveillance des volcans (monitoring) destinée à repérer les phénomènes précurseurs de possibles éruptions en s'appuyant notamment sur des mesures géophysiques, géochimiques, hydrologiques et de déformation.
 - la mise au point de stratégies de réponses (crisis response) lors d'une crise volcanique, ce qui suppose le rapide déploiement de personnels et de matériels et une communication efficace entre scientifiques d'une part, responsables de la sécurité et population exposée, d'autre part.
- Le porter à connaissance des risques volcaniques (knowledge translation) par une politique continue d'information destinée aux responsables de la sécurité civile et au public en général.

Ces trois types d'activités, notamment les deux dernières, ont pris une importance croissante au sein de l'USGS et du VHP, surtout depuis les années 80.

4.1.2.2. Evolution du rôle du VHP

A l'origine, les activités du VHP étaient essentiellement centrées sur la recherche fondamentale. Même si certains aspects de cette recherche pouvaient déboucher sur la réduction des risques, les connexions étaient généralement indirectes. En raison de la redéfinition actuelle du rôle du VHP, la recherche fondamentale n'est plus la priorité, la recherche étant avant tout développée au service de la réduction de l'impact des éruptions volcaniques.

Le premier budget accordé par l'USGS à l'étude des volcans actifs concerna en 1924 les îles Hawaii et le support de l'HVO (Hawaiian Volcano Observatory)². Des années 20 aux années 70, l'essentiel de l'activité de l'USGS fut dirigé vers l'étude du Kilauea et du Mauna Loa et l'HVO est devenu le premier site pour le développement de techniques de surveillance volcanique. En même temps, sur la partie occidentale du pays se développaient les études géologiques portant sur les dépôts volcaniques, plus particulièrement sur la chaîne des Cascades.

C'est en 1968 que le Volcano Hazard Program est mentionné pour la première fois dans le budget de l'USGS. Cependant, le rôle de l'USGS et du VHP prend une nouvelle tournure avec le Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Act of 1974 (Public Law 93-288) d'après lequel il est de la responsabilité du président des Etats-Unis de s'assurer que les agences fédérales appropriées sont préparées à alerter les autorités d'Etat et locales pour tout type de catastrophe naturelle. C'est ainsi que le directeur de l'USGS, à travers le département de l'Intérieur, a reçu la responsabilité d'informer et d'alerter les autorités civiles et la population exposée aux tremblements de terre, éruptions volcaniques, mouvements en masse ou tout autre aléa d'origine géologique. Le Stafford Act met ainsi l'accent sur le rôle de réduction des risques du VHP et sur le rôle exclusif de l'USGS en matière d'alerte volcanique.

² L'HVO avait été fondé en 1912 par le professeur Thomas A. Jaggar du Massachusetts Institute of Technology. Il fonctionna avec des fonds privés jusqu'en 1919 et, de 1919 à 1924, il fut géré par le U.S. Weather Bureau avant d'être pris en charge par l'USGS en juin 1924 moins d'un mois après une éruption du Kilauea qui entraîna la mort d'une personne.

L'éruption du Mont St. Helens de 1980 renforce ce rôle et cette même année le Cascades Volcano Observatory (CVO) est mis en place, suivi par le Long Valley Observatory (LVO) en 1982 (suite à l'activité observée dans le secteur depuis 1980 : activité sismique et déformations du sol qui inquiètent fortement les habitants de la région et en particulier ceux de la ville de Mammoth Lakes, l'une des plus importantes stations touristiques de Californie, d'hiver, comme d'été).

D'autres événements vont dans le même sens d'une meilleure capacité de gestion du risque volcanique comme en 1982, l'accroissement du personnel du VHP (géologues) complété par la composante Water Resource Division.

En 1986, suite à l'éruption du Nevado del Ruiz en Colombie (13 novembre 1985), le Volcano Disaster Assistance Program (VDAP) est mis en place, avec le CVO comme quartier général. Celui-ci a pour objectif de fournir une assistance scientifique et technique aux pays concernés par des crises volcaniques, mais aussi, et surtout, d'accroître l'expérience des volcanologues nord-américains en la matière, expérience utile pour la gestion des éruptions volcaniques propres aux Etats-Unis. En même temps, l'objectif est de tester matériels et techniques, de mettre au point des modèles d'éruptions, ensemble de tâches qu'il serait impossible de mener aussi loin avec les seuls volcans des Etats-Unis : les crises volcaniques intérieures sont trop peu fréquentes (cas des Cascades), limitées dans leurs applications (cas de Hawaii), et les volcans peu accessibles (cas de l'Alaska). Un autre objectif du VDAP est la protection des intérêts nord-américains à l'étranger, dans le domaine économique comme dans le domaine militaire. Depuis lors, le VDAP a répondu à une quinzaine de crises volcaniques survenues hors des Etats-Unis, accroissant ainsi progressivement son expérience (Pinatubo et Mayon, Philippines ; Galeras et Huila, Colombie ; Popocatepetl, Mexique ; Guagua Pichincha et Tungurahua, Equateur ; Sabancaya, Pérou ; Cerro Negro, Nicaragua ; Pacaya, Guatemala ; Hudson, Chili ; Soufrière Hills, Montserrat ; Merapi, Indonésie ; Nyragongo, RD Congo ; Rabaul, Nouvelle-Guinée ; Fogo, Cap-Vert).

En 1988, grâce à une plus grande expérience des volcanologues nord-américains en matière d'activité volcanique explosive, l'Alaska Volcano Observatory (AVO) fut créé dans le cadre d'un consortium USGS / Etat de l'Alaska / Université de l'Alaska, avec pour tâche de surveiller les volcans actifs du Golfe de l'Alaska et des îles aléoutiennes. Les éruptions de la fin des années 80 (celle du Redoubt en 1989-90) et les accidents aériens évités de justesse mirent l'accent sur les risques encourus par les avions circulant au-dessus de cet espace, ce qui permit à l'AVO d'obtenir des fonds de la Federal Aviation Administration (FAA) pour la surveillance sismique des volcans des Aléoutiennes.

Le VHP moderne est donc né avec la violente éruption du Mont St. Helens en 1980. Il s'agissait de la première explosion d'un volcan continental depuis l'éruption du Lassen Peak en 1914. La magnitude de cette éruption, de même que ses manifestations (effondrement, blast...) montrèrent les limites des scientifiques du VHP, plus familiers des éruptions hawaïennes. Cette éruption fut à l'origine d'un accroissement et d'une diversification de l'expérience des volcanologues nord-américains. Des phénomènes tels que les débris avalanches, pyroclastic airfalls, flows and surges, lava domes et lahars purent être étudiés comme jamais il n'avait été possible auparavant. Les leçons acquises au Mont St. Helens influencèrent fortement la cartographie des aléas volcaniques sur d'autres volcans, elles mirent l'accent sur l'importance des études consacrées aux processus volcaniques, et elles renforcèrent l'idée suivant laquelle il était essentiel de travailler de manière plus concrète sur la réduction des risques volcaniques aux Etats-Unis. La recherche fondamentale passait ainsi

au second plan à l'USGS, d'autant plus que celle-ci était de plus en plus prise en charge par les universités et le secteur privé.

L'une des premières conséquences de cette éruption fut l'accroissement du budget accordé au VHP et la création du CVO, près de Vancouver dans l'Etat de Washington. De plus, en raison de l'importance des processus volcano-glaciaires (lahars, debris flows), le CVO intégra dans ses rangs des scientifiques provenant de l'USGS Water Resources Division (WRD).

Depuis 1980, le VHP a eu à répondre à une dizaine de crises liées à l'activité ou aux premiers signes d'activités de volcans « domestiques » : Augustine, Redoubt, Spurr, Akutan et Pavlov en Alaska, Long Valley en Californie, Kilauea, Mauna Loa et Loihi à Hawaii, Mont St. Helens dans l'Etat de Washington.

4.1.2.3. Fonctionnement du VHP

Le VHP est constitué d'une équipe de scientifiques et de techniciens dont l'activité est essentiellement financée par l'USGS. L'USGS, de loin l'agence la plus importante du pays en matière de sciences de la Terre, comporte 4 départements (Geologic, Water Resources, Biological Resources, National Mapping) et dispose d'un budget de l'ordre de 800 millions de dollars parmi lesquels environ 18 millions sont attribués au VHP.

Le budget du VHP a augmenté substantiellement entre 1978 et 1990, mais est demeuré stationnaire depuis 1990 alors que ses tâches et responsabilités n'ont cessé de s'accroître. La baisse du pouvoir d'achat correspondante rend ainsi de plus en plus difficile le maintien de la qualité du service public rendu. Seuls quelques pics budgétaires sont notables, liés à des circonstances particulières comme l'éruption du Redoubt en 1990 et l'émergence du Geothermal Program impliquant le VHP en 1995.

Le VHP dispose également d'autres sources de financement comme celles de l'U.S. Agency for International Development (USAID) lorsqu'il s'agit d'assister les gouvernements étrangers dans la gestion de crises volcaniques (assistance menée dans le cadre du VDAP).

L'équipe du VHP est essentiellement répartie dans l'ouest des Etats-Unis, œuvrant dans les trois principaux observatoires (Hawaiian, Alaska et Cascades), dans l'observatoire virtuel de Long Valley, l'observatoire de Yellowstone (YVO) récemment mis en place et dans les bureaux régionaux de l'USGS à Menlo Park (Californie), Denver (Colorado), Flagstaff (Arizona) et Seattle (Washington). En 1999, le programme disposait d'un personnel équivalent à 135 temps pleins (100 pour la Geologic Division, 35 pour le WRD). Une dizaine de temps pleins sont à la charge d'autres agences (USAID, FAA). Le personnel du VHP a cependant diminué sensiblement depuis 1995, dans la mesure où à cette date, il comportait plus de 160 équivalents temps plein.

Une réduction effective du personnel, un budget stationnaire (voire en réduction si l'on considère le pouvoir d'achat), des équipements qui sont difficilement remplacés : il s'agit là d'une situation qui, outre un besoin de multi-disciplinarité croissant en termes de méthodes de recherche, a poussé l'USGS et le VHP à développer un partenariat que ce soit à l'intérieur de l'USGS (Energy Resource Program, National Mapping Division...) ou à l'extérieur : autres agences fédérales (départements pour la gestion du territoire : National Park Service, US Forest Service, Bureau of Land Management ou agences impliquées dans les questions de risque volcanique : National Oceanographic and Atmospheric Administration, Federal Emergency Management Agency, Department of Energy, NASA, Department of Defense, Smithsonian Institution...), universités (University of Washington, of Alaska Fairbanks, of Utah, of Hawaii Hilo...), secteur privé, scientifiques étrangers.

4.2. LA PREPARATION AUX CRISES VOLCANIQUES

Trois aspects complémentaires de la préparation aux risques volcaniques sont abordés :

- les actions de sensibilisation, information, éducation du public ;
- l'évaluation et la cartographie des menaces volcaniques ;
- l'élaboration de plans de gestion des crises.

4.2.1. L'information sur les risques volcaniques

Comme cela est signalé dans le chapitre « *Living with volcanic and seismic hazards* » du livret de l'USGS « *Volcanic and seismic hazards on the Island of Hawaii* », la meilleure défense contre tout aléa naturel est l'éducation et l'information. Les autorités publiques comme le grand public doivent être conscients des risques encourus afin d'adopter des comportements appropriés, de manière préventive (occupation du sol, normes constructives...) comme durant les périodes de crise. La préparation préalable aux éruptions volcaniques aux Etats-Unis est ainsi en grande partie liée à la divulgation d'une importante information de la part de diverses agences comme le FEMA (*Federal Emergency Management Agency*), mais plus particulièrement de l'USGS, ce qui constitue l'un de ses rôles-clés. Cette information est destinée aux autorités publiques responsables d'aménagement du territoire, aux responsables de la sécurité civile, aux médias, aux enseignants et au public en général. Cette information délivrée hors crise (ou lors de crises durables, ce qui est le cas à Hawaii avec le Kilauea) se présente sous différentes formes.

4.2.1.1. Sites Internet de l'USGS

Chaque observatoire possède son propre site et dispense à la fois des informations générales (sur le volcanisme, sur le risque volcanique aux Etats-Unis) et des informations spécifiques à chaque lieu. Ainsi, le site du HVO propose des informations sur l'ensemble des volcans hawaïens, notamment le Kilauea et le Mauna Loa (historique des éruptions, cartes d'aléas, archives photographiques, résumé de l'activité en cours, bulletin quotidien sur la situation du volcan³).

Destiné à la fois aux médias et au grand public, le site propose également un *Press Release*, relevé de presse publié dans les journaux locaux lorsque des modifications significatives du comportement des volcans ont été observées⁴. Pour sa part, le *Volcano Watch* est un texte rédigé chaque semaine par les scientifiques de l'HVO fournissant des informations générales sur les volcans hawaïens, ou plus spécifiques sur l'activité volcanique en cours, mais aussi sur d'autres volcans des Etats-Unis ou étrangers. Ce texte est publié dans le *Hawaii Tribune-Herald's* le dimanche, dans le *West Hawai'i Today's* le lundi, et placé sur le site de l'HVO durant la semaine⁵.

D'autres informations sont également disponibles sur le site de l'HVO : sismicité, instrumentation, historique de l'HVO, informations pour le jeune public (*Kids' Door*), pour les touristes visitant le *Hawai'i Volcanoes National Park*, de même que des annonces d'événements liés aux volcans (expositions, journées portes ouvertes de l'HVO, par exemple).

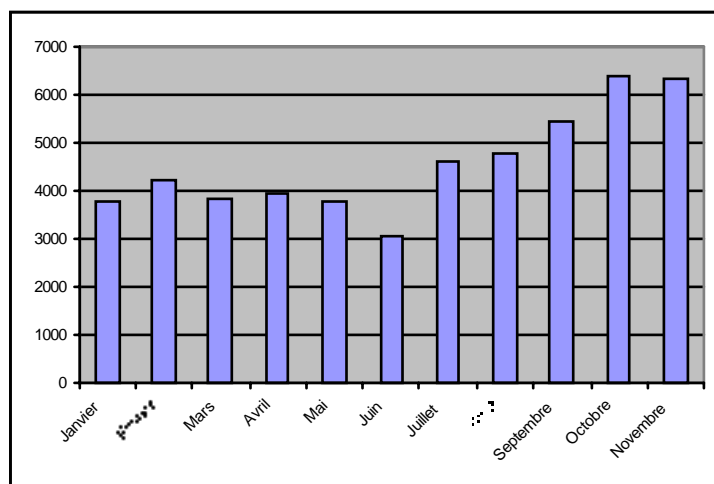
³ Voir en annexe 1 un exemple de bulletin (celui du 27 septembre 2002 à propos du Kilauea).

⁴ Voir par exemple en annexe 2 le Press Release du 30 juillet 2002 à propos du Kilauea.

⁵ Voir en annexe 3 l'exemple du Volcano Watch du 26 septembre 2002 (*What's happening at Mauna Loa ?*).

La plupart des personnes interviewées lors de la mission ont souligné l'importance des sites Internet de l'USGS et en particulier celui de l'HVO qui est visité plusieurs milliers de fois par jour (cf. figure).

*Nombre de visites quotidiennes du site Internet de l'HVO (de janvier à novembre 2002).
D'après Usage Statistics for HVO (<http://hvo.wr.usgs.gov/stats>).*



4.2.1.2. Autres produits proposés par l'USGS

De nombreux autres produits sont proposés par l'USGS afin de sensibiliser, éduquer et informer sur les volcans et les risques volcaniques. Parmi ces derniers⁶ :

- de nombreuses publications dont la plupart sont consultables sur Internet (par exemple, le livret « Volcanic and seismic hazards on the Island of Hawaii, 1997 », réalisé en collaboration avec le Hawaii County Civil Defense Agency) ;
- des cartes géologiques concernant les régions volcaniques (ex : Geologic map of the Island of Hawai'i) et des cartes d'aléas (ex : Map of Hydrologic hazards at Mount Rainier, Washington) ;
- des cassettes vidéos éducatives réalisées par l'USGS (Ex : At risk : volcano hazards from Mount Hood, Oregon) ou dont l'USGS participe à la diffusion comme la vidéo « Understanding Volcanic Hazards » produite par l'IAVCEI (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior) et l'UNESCO ;
- des rapports d'études (comme les Open-File Reports). Exemples : Volcano and Earthquake hazards in the Crater Lake Region, Oregon (97-487, 1997) ; Preliminary Volcano-Hazard Assessment for Lliamna volcano, Alaska (99-373, 1999) ;
- des revues comme les « bulletins » de l'USGS (Ex : Response Plan for Volcano Hazards in the Long Valley Caldera and Mono Craters Region, California, Bulletin 2185, 2002) ;
- des feuillets d'information (volcano fact sheets) destinés à fournir une information très diverse sur les programmes, projets et travaux de recherche de l'USGS (ex : « Volcanic Ash – Danger to Aircraft in the North Pacific », nov. 1998 ou « What are Volcano Hazards, avril 2002) ;
- des posters comme le poster « Mount Rainier : The volcano in your backyard » destinés aux personnes vivant à proximité des volcans et aux touristes.

⁶ Voir annexes 4 et 5 : Selected Volcano Information (site de l'USGS) et Publications, maps, and other products (site de l'HVO).

4.2.1.3. Autres actions destinées à informer et à préparer

D'autres actions mettent régulièrement en contact les scientifiques avec le public : conférences ; interviews radiodiffusées ou télévisées ; visites de terrain et ateliers organisés pour les responsables de sécurité civile, enseignants, responsables d'entreprises ; expositions itinérantes dans les librairies, musées, écoles ou à l'occasion de festivités ; journées portes ouvertes (comme celle de l'HVO du 4 janvier 2003), etc.

4.2.1.4. Les problèmes

Si l'on peut être impressionné par la quantité et la diversité d'informations sur le risque volcanique délivrée notamment par l'USGS, quelques difficultés pour assurer ce service ont cependant été mises en évidence. Il s'agit, comme cela a été dit précédemment, de difficultés financières liées notamment à la limitation du budget accordé au VHP et de problèmes résultant d'un personnel insuffisant. Au CVO une personne à temps complet s'occupe du volet communication avec le public, mais au HVO et à l'AVO seul un temps partiel est assuré (un jour par semaine au HVO), et personne n'assure ce service au LVO. C'est globalement considéré comme insuffisant même si des systèmes d'entraide existent entre observatoires volcanologiques.

Un autre problème majeur, celui-ci étant souligné par la commission d'évaluation du VHP, est la relativement faible reconnaissance de la part de l'USGS (ou du moins c'est ainsi que cela est perçu par les scientifiques) de ces tâches destinées à l'information et l'éducation du public. Beaucoup de scientifiques hésitent ainsi à investir une partie importante de leur temps et compromettre leur carrière en des tâches qui ne sont pas suffisamment valorisées par rapport à la recherche. Ces tâches sont ainsi généralement assurées par des personnes en début ou en fin de carrière.

4.2.2. **L'évaluation et la cartographie des aléas volcaniques**

De gros efforts ont été consentis depuis l'éruption du Mont St. Helens en 1980 et surtout durant les dix dernières années pour évaluer et cartographier les aléas volcaniques en Alaska, dans les Cascades, à Hawaii et à Long Valley. Plusieurs rapports (*Open-File Reports*) accompagnés de cartes d'aléas sont ainsi disponibles et pour la plupart accessibles sur Internet⁷.

Ces rapports et documents cartographiques constituent une base solide pour les actions préventives, de préparation et l'élaboration de plans de gestion de situations de crise. Un exemple est fourni avec la carte suivante, concernant le Mont Rainier (Etat de Washington).

Il est à noter que ces cartes représentent seulement les aléas et leur probabilité d'occurrence (*hazard assessment*). Elles décrivent ce qui peut survenir et présentent les zones susceptibles d'être affectées. Les enjeux humains (à l'exception des principales agglomérations et des principaux axes de communications) ne figurent pas. Il ne s'agit donc pas de cartes de risque. Comme cela nous a été signalé lors de la mission, l'évaluation du risque (*risk assessment*) n'est pas à l'ordre du jour à l'USGS, pour des raisons de compétences (besoins d'autres spécialités que celles de l'USGS) et pour les problèmes qu'engendrerait ce type de cartes en raison notamment des intérêts économiques des régions concernées.

⁷ Voir le site suivant : <http://volcanoes.usgs.gov/Products/sproducts.html>

Principaux volcans pour lesquels des études d'aléas ont été réalisées (Cascades et Alaska)	
Etat de Washington	Etat de Californie
Mount Adams	Mount Shasta
Mount Baker	Alaska
Glacier Peak	Akutan
Mount Rainier	Aniakchak
Mount St. Helens	Augustine
Etat de l'Oregon	Hayes
Mount Hood	Liamna
Mount Jefferson	Katmai Volcanic Cluster
Three Sisters Region	Makushin
Newberry Volcano	Redoubt
Crater Lake	Mount Spurr

Carte des aléas liés à une éruption du Mont Rainier.
 Source USGS.

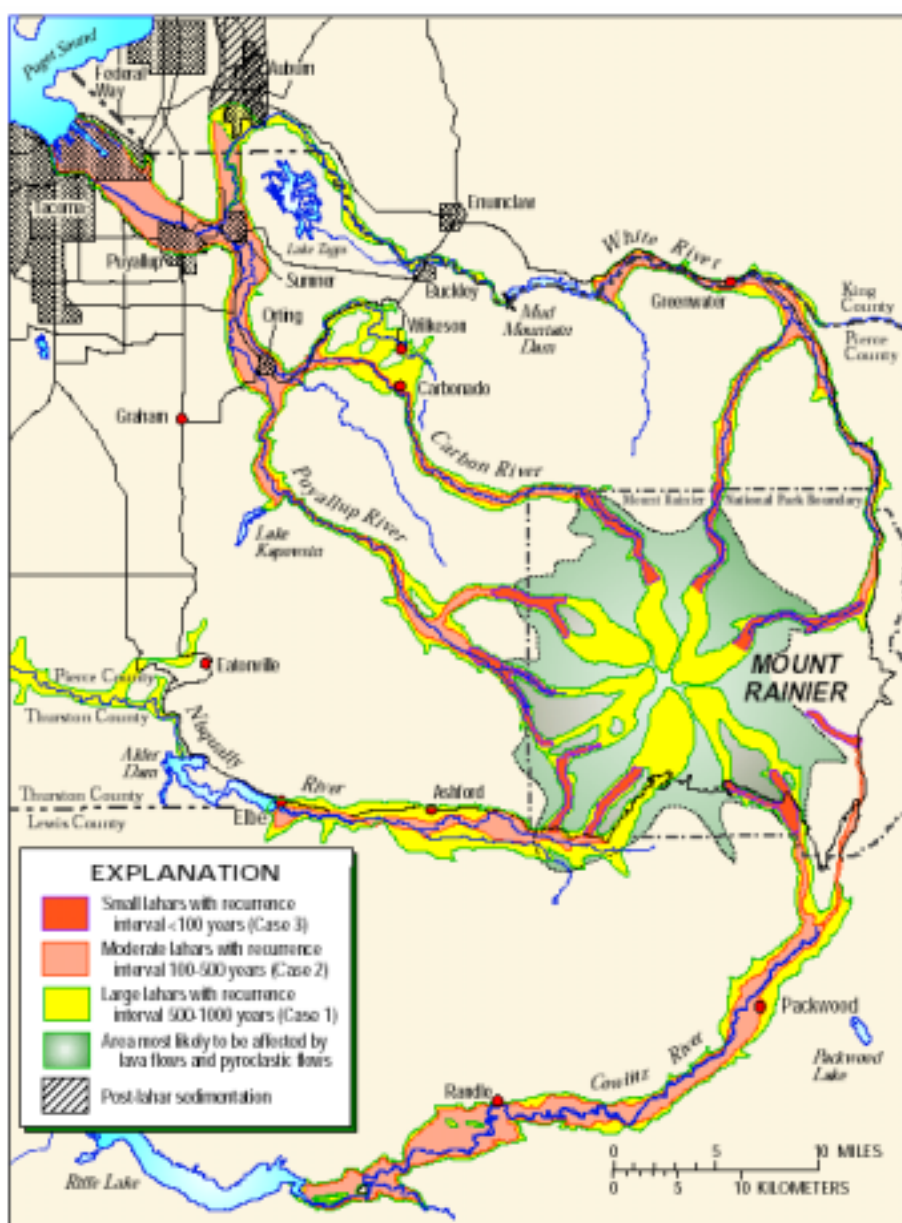


FIGURE 3.—Hazard zones for lahars, lava flows, and pyroclastic flows from Mount Rainier (Hobitt and others, 1998).
 US Geological Survey Open File Report 98-428.

4.2.3. Les plans de gestion des crises volcaniques

Officiellement, et dans leurs grandes lignes, plusieurs plans locaux de gestion des crises volcaniques ont été élaborés ou sont en cours d'élaboration ou de révision aux Etats-Unis. D'après la commission d'évaluation du *Volcano Program Hazard* (2000), ils concerneraient sept volcans de la chaîne des Cascades, les îles Hawaï et l'Alaska pour les risques associés aux panaches de cendres. La commission souligne en même temps l'intérêt de ces plans notamment dans la mesure où ils permettent d'établir des liens étroits, hors période de crise, entre les scientifiques, les autorités publiques et les responsables de la sécurité civile. Elle met également l'accent sur la nécessité de mettre à jour les plans existants et d'en élaborer de nouveaux, notamment en Californie et dans le Nord-Ouest Pacifique.

D'après les informations recueillies à Hawaï, il n'existerait pas de plans de ce type dans l'île. Nous avons cependant pu recueillir, concernant d'autres lieux, deux documents qui vont dans le sens des plans de gestion des crises volcaniques.

Le premier, « *Response Plan for Volcano Hazards in the Long Valley Caldera and Mono Craters region, California* » (USGS, Bulletin 2185, 2002) est avant tout un plan de gestion propre à l'USGS avec des informations très détaillées quant au système d'alerte mis en place (voir plus loin). Les questions de sécurité civile y sont relativement peu développées.

Le second « *Mt. Rainier Volcanic Hazards Response Plan* » (1999)⁸, en revanche, est le fruit d'un groupe de travail composé notamment de l'USGS, du Pierce County Department of Emergency Management⁹ et du Mt. Rainier National Park. Ce plan est particulièrement intéressant et servira d'exemple ici.

Le Pierce County est situé dans le centre ouest de l'Etat de Washington et comporte 725 000 habitants. Il est particulièrement exposé à une potentielle éruption du Mount Rainier dans la mesure où le volcan se situe dans ses limites. Tacoma avec 200 000 habitants est la ville la plus importante du comté qui compte également plusieurs petites villes comme Puyallup, Sumner ou Orting ou de gros bourgs tels Carbonado ou Wilkeson. Toutes ces agglomérations sont sous la menace des lahars du Mont Rainier (voir ci-dessus la carte des aléas du Mont Rainier).

Le plan comporte les thèmes suivants :

- une synthèse des aléas volcaniques liés au Mont Rainier ;
- un état des enjeux humains situés dans le *Pearce County* (population, activités, voies de communications) ;

⁸ Le texte de ce plan est consultable sur le site Internet suivant : <http://www.co.pierce.wa.us/pc/Abtus/ourorg/dem/EMDiv/Mt%20Rainier%20VHRP.htm#toc>

⁹ Le Department of Emergency Management du Pearce County a pour objet de réduire les différents risques susceptibles d'affecter son espace de juridiction. Il comporte 5 divisions : Emergency Management Division (préparation aux situations de crises) qui active l'Emergency Operation Center lors d'une crise ; Emergency Medical Service Division (pour les opérations liées aux services médicaux) ; Fire Prevention Bureau (pour réduire les risques liés aux incendies) ; 911 (service de communication entre population et services médicaux d'urgence) ; Radio Communications (service de communication du département). Le département est particulièrement actif en matière d'information du public (voir notamment son site Internet : <http://www.co.pierce.wa.us/text/abtus/ourorg/dem/abtusdem.htm>). Cela est notamment lié à la fréquence des catastrophes naturelles dans le comté (10 depuis 1990).

- un état des moyens disponibles pour la gestion des crises (refuges, moyens de diffusion de l'information et systèmes de communication, organismes intervenant dans la gestion des crises) ;
- systèmes de surveillance, protocoles de communication et systèmes d'alerte ;
- modalités de la gestion d'une situation de crise (direction et contrôle des opérations¹⁰, responsabilités, renforcement des lois pour assurer l'ordre public et faciliter la restauration des services essentiels après un événement catastrophique, gestion des évacuations et des déplacements, opérations de recherche et de secours) ;
- information du public (recommandations pour une communication efficace entre les scientifiques et les autorités publiques¹¹, communication avec les médias et le public, mise en place et modalités de fonctionnement d'un *Joint Information Center* destiné à coordonner l'information divulguée en période d'urgence) ;
- éducation du public à long terme et maintien d'un état de préparation ;
- mesures de prévention et de gestion des risques ;
- mesures à prendre pour le rétablissement des communautés suite à une catastrophe.

4.3. LA GESTION DES CRISES VOLCANIQUES

4.3.1. Adaptation et flexibilité

L'une des premières observations que l'on puisse faire de la gestion des crises volcaniques aux Etats-Unis, est sa relative souplesse. Cette flexibilité se retrouve dans de nombreux domaines et elle est, en premier lieu, imposée par la diversité des volcans, des processus volcaniques et des risques associés. Une adaptation est donc nécessaire et si des règles communes régissent les gestions de crises (par exemple en termes de responsabilités, de gestion de l'information en situation d'urgence), chaque observatoire présente des modalités particulières de gestion des crises, notamment en ce qui concerne les alertes volcaniques.

Les crises volcaniques connues à l'HVO (Hawaï) et la manière de les gérer sont ainsi très différentes de celles que l'AVO (Alaska) doit affronter. A l'HVO, les précurseurs enregistrés depuis 2002 sur le Mauna Loa et l'activité permanente du Kilauea depuis 1983 entretiennent une atmosphère d'alerte permanente qui mettent inévitablement à rude épreuve son personnel, mais en même temps les risques liés à une activité essentiellement effusive ne sont pas aussi élevés que sur d'autres volcans des Etats-Unis. Les volcans des Aléoutiennes sont considérés comme beaucoup plus problématiques dans la mesure où de soudaines projections de cendres sont susceptibles d'affecter la circulation aérienne. Les gestions de crises menées par l'AVO sont donc essentiellement liées à cette circulation aérienne et supposent des diagnostics à la fois rapides et précis.

Pour sa part, le CVO est susceptible de gérer des crises particulièrement violentes liées au caractère explosif des volcans de la région et des phénomènes associés très destructeurs comme les lahars. Pour l'instant le CVO reste dans l'expectative dans la mesure où il n'a pas

¹⁰ Le RAG (Regional Advisory Group) composé d'autorités publiques (locales, de l'Etat, fédérales) est chargé de la direction des opérations de crise. Il comprend également de nombreuses autres institutions (« emergency management coordinators or directors, chiefs or coordinators of law enforcement, fire, search and rescue, medical care, public health, MASS care, USGS, Mt. Rainier National Park... »). L'implication prévue d'autorités fédérales suppose une crise volcanique de grande ampleur que le Mont Rainier est susceptible d'engendrer.

¹¹ Notamment la nécessité de relations établies entre scientifiques et autorités publiques avant une période de crise, l'emploi d'un langage clair, non technique, le besoin d'un consensus entre scientifiques, etc.

eu à faire à des crises locales depuis l'éruption du St. Helens. Les scientifiques et techniciens du CVO ont cependant eu à participer à la gestion de crises volcaniques hors de leur territoire, à l'étranger dans le cadre du VDAP ou à Long Valley. A Long Valley, le contexte volcanique est encore différent dans la mesure où il s'agit de surveiller une activité volcanique qui a commencé à se manifester en 1980 et de se préparer à une éventuelle éruption.

La flexibilité se retrouve également dans l'élaboration et la mise en œuvre de plans d'urgence volcanique. De tels plans existent, et sous diverses formes, comme nous avons pu le voir. Mais, comme cela a été signalé à Menlo Park, il n'existe pas, dans les faits, de plans véritablement formels. Ces plans servent avant tout de guides et sont adaptables suivant les circonstances, l'expérience et le jugement des acteurs de la gestion des crises. Cette démarche flexible est notamment facilitée par les bonnes relations existantes entre les scientifiques et les responsables de la sécurité civile, ce que la commission d'évaluation du VHP tient à souligner.

4.3.2. Responsabilités en cas de crise et communication

Lorsqu'une crise volcanique se présente (reprise d'activité d'un volcan), la responsabilité du suivi de l'activité volcanique et de la communication incombe au scientifique responsable de l'observatoire concerné (scientist in charge). Ce dernier communique avec ses supérieurs au sein de l'USGS (notamment le Chief Scientist Volcano Hazard Team, basé à Menlo Park) et avec les membres de son équipe, mais c'est lui qui doit être au contact avec les autorités publiques, les médias et le public et fournir à ces derniers des informations claires sur la situation et son évolution.

Le rôle de l'USGS est fondamental, mais il se cantonne à la surveillance volcanique, à l'évaluation de l'évolution de l'activité volcanique et à la communication dont l'objectif est de faire état de la situation et de formuler des recommandations de base (comme celles qui consistent à éviter de s'approcher de secteurs jugés dangereux, cas à Hawaii avec les plate-formes de lave susceptibles de s'effondrer). Le rôle de l'USGS ne doit pas dépasser ce cadre même si, comme le signale la commission d'évaluation du VHP, les pressions sont parfois très fortes afin que les scientifiques aillent au-delà et délivrent des avis qui sont du ressort de la sécurité civile. Ces avis et décisions concernant la sauvegarde de la population (décision d'évacuer, notamment), relèvent de fait des autorités civiles (gouverneurs et maires) suivant les informations obtenues de la part des scientifiques de l'USGS.

La commission insiste une fois de plus, sur la nécessité de développer de bonnes relations de travail entre scientifiques et autorités publiques et ce, bien avant la survenue d'une crise, en dehors de toute pression ou tension que celle-ci ne peut qu'engendrer. Cette collaboration préalable est une des conditions essentielles au succès de la gestion des crises. En même temps la crédibilité du scientifique vis-à-vis du public est jugée essentielle afin que les recommandations formulées soient prises avec tout le sérieux nécessaire. A Hawaii, non seulement le scientist in charge (Don Swanson) joue un rôle essentiel en matière de communication, mais également son adjoint, Arnold T. Okamura, hawaïen d'origine, et véritable figure médiatique.

Durant une crise, les contacts sont donc établis entre scientifiques et autorités publiques, ces dernières étant généralement des autorités locales et d'Etat. Les relations avec les autorités fédérales sont plus rares. Sauf en cas de gros événement, notamment ceux qui concernent

plusieurs Etats, la gestion des crises est menée à l'échelle des Etats. La communication s'établit de diverses manières : appels téléphoniques, réunions (comités d'urgences), envoi de bulletins décrivant la situation en cours (plusieurs fois par jour si nécessaire).

Diverses agences sont généralement également impliquées dans le processus de communication et reçoivent toutes les informations utiles de la part de l'USGS. Par exemple, en Alaska où le problème majeur est lié à la circulation aérienne, les principales institutions impliquées dans l'Alaska Interagency Operating Plan for Volcanic Ash Episodes, sont les suivantes :

- Alaska Volcano Observatory (AVO) ;
- Alaska Division of Emergency Service (ADES) ;
- Department of Defense (US Air Force) ;
- Federal Aviation Administration (FAA) ;
- National Weather Service (NWS).

4.3.3. Alertes volcaniques

Aux Etats-Unis, les alertes volcaniques reposent sur la détermination de niveaux correspondant généralement à des degrés croissants d'activité volcanique. Les scientifiques décident de passer à un niveau d'alerte plus élevé lorsqu'un volcan devient de plus en plus actif ou lorsque les paramètres scientifiques indiquent qu'un certain seuil d'activité peut déboucher sur une éruption importante.

La prise de décision pour fixer ou modifier un niveau d'alerte est prise au sein de l'équipe de l'observatoire concerné. En cas d'ambiguïté dans les paramètres disponibles ou de trop fortes incertitudes quant à l'évolution de l'activité volcanique, une procédure appelée « expert elicitation » est envisagée¹². Elle n'a pas encore été utilisée aux Etats-Unis, mais fut expérimentée à Montserrat, un des terrains d'intervention du VDAP. Cette procédure vise à réunir un groupe d'experts (scientifiques expérimentés de l'USGS ou extérieurs), ce dernier devant s'exprimer sur les comportements possibles du volcan à l'appui d'un arbre d'événements et d'un système de probabilités permettant de passer d'un type de comportement à un autre. En fonction de sa propre expérience et de son intime conviction, chaque expert s'exprime sur sa manière de voir l'évolution de la crise volcanique, d'où des décisions collectives qui peuvent être prises pour fixer ou modifier un niveau d'alerte.

Ces niveaux d'alerte, correspondant à un diagnostic scientifique, permettent aux responsables de la sécurité civile de mettre en œuvre leurs propres actions destinées à protéger la population et, dans les cas extrêmes, d'envisager des opérations d'évacuation. Ces niveaux d'alerte, exprimés par des couleurs, n'établissent pas de lien direct entre le diagnostic scientifique et les décisions de sécurité civile, ces dernières étant prises en fonction de la situation et de discussions au sein des comités d'urgence auxquels participent les scientifiques.

Il n'existe pas de système unique d'alerte volcanique aux Etats-Unis. Les caractéristiques de chaque niveau, les conditions de passage d'un niveau à un autre, de même que les codes (couleurs ou chiffres) peuvent différer d'une région à une autre. Les systèmes et niveaux d'alerte sont ainsi différents à Long Valley, en Alaska, dans la chaîne des Cascades ou à Hawaii et cela pour plusieurs raisons :

¹² Voir annexe 6.

- suivant le lieu, les volcans présentent des comportements différents et des modèles différents d'évolution de leur activité durant les semaines ou les heures précédant une éruption.
- Les populations, leurs biens, les activités sont menacés de différentes manières suivant le type de volcan alors qu'un système d'alerte doit être adapté à des types spécifiques de menaces.
- Les volcans des Etats-Unis ne sont pas tous surveillés avec la même intensité et la même qualité, le diagnostic scientifique ne peut donc se fonder sur des paramètres équivalents partout et avec la même précision.

4.3.3.1. Système d'alerte volcanique adopté à Long Valley Caldera

Le système d'alerte actuellement adopté à Long Valley remplace un système mis en place en 1991 s'appuyant sur un code alphabétique à 5 niveaux jugé peu compréhensible par les médias et les autorités civiles. Il a été mis en place en 1997, révisé en 2002 et s'appuie sur quatre niveaux matérialisés par des couleurs (vert, jaune, orange et rouge). Les annexes 7 et 8 fournissent une synthèse de ce système qui est très détaillé dans le Bulletin 2185 de l'USGS (Response Plan for Volcano Hazards in the Long Valley Caldera and Mono Craters Region, California, 2002).

Ce système a été bâti en fonction des enseignements de l'activité observée à Long Valley Caldera depuis 1978 et des expériences acquises sur d'autres sites volcaniques dans le monde. Pour chacun des niveaux (subdivisés en sous-niveaux pour ce qui concerne l'alerte verte et l'alerte rouge), des informations détaillées portent sur l'activité volcanique, sur les paramètres à prendre en compte pour modifier les niveaux d'alerte et sur les réponses de l'USGS pour chacune des situations (organisation au sein de l'USGS, communication avec les autorités publiques et les responsables de la sécurité civile). En dépit d'une présentation très détaillée du système, l'USGS tient à préciser que toutes les informations fournies, en particulier pour la modification des niveaux d'alerte, sont avant tout des informations destinées à guider les scientifiques concernés. Les prises de décisions devant avant tout s'appuyer sur leur expérience et leur propre appréciation de la situation.

4.3.3.2. Système d'alerte volcanique adopté en Alaska

Le système mis en place en Alaska à l'occasion de l'éruption du Redoubt en 1989-90 présente, lui aussi, quatre niveaux. Il est cependant beaucoup plus simple que celui de Long Valley. Il est conçu pour répondre aux problèmes de la circulation aérienne susceptible d'être affectée par des panaches de cendres et permet de prendre rapidement des décisions¹³.

¹³ Ce système d'alerte a été utilisé durant l'éruption du Mont Spurr en 1991-92 (voir le site Internet : <http://volcanoes.usgs.gov/About/What/Erupt/CaseSpurr.html>)

AVO LEVEL-OF-CONCERN COLOR CODE		
Color	Intensity of Unrest at Volcano	Forecast
GREEN	Volcano is in quiet, "dormant" state.	No eruption anticipated.
YELLOW	Small earthquakes detected locally and (or) increased levels of volcanic gas emissions.	An eruption is possible in the next few weeks and may occur with little or no additional warning.
ORANGE	Increased numbers of local earthquakes. Extrusion of a lava dome or lava flows (non-explosive eruption) may be occurring.	Explosive eruption is possible within a few days and may occur with little or no warning. Ash plume(s) not expected to reach 25,000 feet above sea level.
RED	Strong earthquake activity detected even at distant monitoring stations. Explosive eruption may be in progress.	Major explosive eruption expected within 24 hours. Large ash plume(s) expected to reach at least 25,000 feet above sea level.

In 1989, the Alaska Volcano Observatory (AVO) developed a "color code" to rapidly and clearly communicate the likelihood of an eruption at potentially dangerous volcanoes. This format for summarizing the status of a volcano has proven extremely effective in alerting the aviation community to potential ash hazards in the North Pacific region.

4.3.3.3. Système d'alerte volcanique adopté dans la Chaîne des Cascades (Washington et Oregon)

Le système d'alerte employé dans la chaîne des Cascades fut mis en place suite à l'éruption du Mont St. Helens en 1980. Il est prévu de l'utiliser en cas de réactivation de ce volcan ou autres volcans de la chaîne comme le Mont Rainier. Trois niveaux d'alerte sont prévus (sans code de couleurs) :

- Alert Level ONE : Notice of Volcanic Unrest
- Alert Level TWO : Volcano Advisory
- Alert Level THREE : Volcano Alert

Ce système, tel qu'il est présenté par l'USGS, est beaucoup plus simple que celui qui a été adopté à Long Valley, ce qui peut s'expliquer par la faible probabilité d'occurrence d'une éruption et surtout la variété des dynamismes éruptifs susceptibles de se présenter. Il demeure donc très général et suppose des compléments de données dès lors qu'un volcan manifeste une reprise d'activité. L'USGS précise par ailleurs que les différents niveaux ne suivent pas forcément un ordre chronologique. Le niveau 3 peut être atteint sans passer par le niveau 2 si l'activité volcanique constitue rapidement une menace pour les populations et leurs biens. Un lien étroit est donc établi entre le niveau d'alerte et les risques encourus.

En annexe 9, une information plus détaillée est fournie sur ce système d'alerte, avec notamment des exemples de situations hypothétiques liées à une éventuelle éruption du Mont Rainier.

4.3.3.4. Systèmes d'alerte volcanique adoptés à Hawaii

A Hawaii, le HVO n'utilise pas de niveaux d'alerte volcanique ni de codes de couleurs pour décrire l'état des volcans et l'évolution de leur activité. L'information sur l'activité volcanique est délivrée directement, quotidiennement ou plus fréquemment si nécessaire, aux responsables de la sécurité civile ou autres organismes impliqués dans la gestion des crises (Hawaii County Civil Defense, Hawai'i Volcanoes National Park, Department of Defense, etc.).

Un système à quatre couleurs est cependant employé pour déterminer la teneur en gaz (SO₂) dans l'air. Ce système est actuellement utilisé au Kilauea, ce dernier émettant en moyenne 2000 tonnes de SO₂ par jour. Suivant la force et l'orientation des vents, des concentrations de SO₂ peuvent se produire localement et affecter les personnes présentes (problèmes respiratoires). Depuis 1987, la teneur acceptable par l'organisme humain a été dépassée 85 fois dans le secteur du Kilauea Visitor Center, ce qui constitue un problème de taille dans la mesure où, outre les employés du parc, ce secteur est fréquenté par environ 2 millions de touristes par an.

L'information sur la teneur en SO₂ (avec des données actualisées toutes les 10 minutes) est régulièrement délivrée au Hawai'i Volcanoes National Park afin de prendre les mesures nécessaires, si besoin est, vis-à-vis de la population touristique. Un système d'alerte automatique est également en fonction. Suivant le « HVO SO₂ Response Plan », les niveaux et caractéristiques correspondant à chaque couleur sont les suivants :

Colour	Condition	Response
Green	Good	
Yellow	Moderate	Basic protection (visitors information)
Orange	Unhealthy (for sensitive groups)	Moderate protection (warnings)
Red	Unhealthy	Extended protection (warnings and close areas)

4.4. CRISES VOLCANIQUES ET GESTION DES CRISES A HAWAII

4.4.1. Le contexte hawaïen¹⁴

L'archipel des Hawaii se situe au cœur du Pacifique nord à 3850 km de la Californie, à l'est, et à 6200 km du Japon, à l'ouest. Il s'allonge sur environ 650 km du nord-ouest au sud-est. Formé de huit îles principales dont sept habitées, il couvre 16 706 km² dont près des deux tiers pour Big Island, la grande île d'Hawaii (10 458 km²). Les autres îles occupent des surfaces moindres. C'est le cas de l'île O'ahu qui, avec la ville d'Honolulu, regroupe les trois quarts de la population de l'archipel mais ne couvre que 1574 km².

Les îles Hawaii, le plus tardivement découvert des grands archipels du Pacifique (Cook, 1778) sont aussi originales par leurs aspects physiques (climat très favorable à l'homme, énormes volcans basaltiques) que par leur histoire, la diversité de leur population et leur remarquable prospérité économique fondée sur leur intégration aux Etats-Unis, dont elles constituent le cinquantième Etat depuis 1959. Les îles Hawaii qui n'ont guère plus d'un million d'habitants (1,2), occupent une position géopolitique importante et s'affirment à la fois comme le point nodal de l'influence américaine dans le Pacifique et comme un point de pénétration privilégié pour les capitaux japonais.

Les principales activités de l'archipel gravitent autour de l'agriculture (sucre, ananas...) et surtout des bases militaires et du tourisme qui constituent les fondements de sa prospérité économique. Depuis une vingtaine d'années cependant, c'est le tourisme qui s'est affirmé comme première ressource économique et son poids n'a cessé de se renforcer au fil des ans, malgré quelques fluctuations liées à celles de l'économie et de la politique américaine et à la

¹⁴ D'après Christian Huez de Lemps, Hawaii, Encyclopaedia Universalis et Juvik S.P., Juvik, J.O., Atlas of Hawaii, 1998, University of Hawai'i Press, Honolulu.

conjoncture internationale. Les Hawaii sont ainsi devenues un des très grands foyers touristiques du monde avec environ 7 millions de touristes par an.

L'île principale de l'archipel (Big Island, Ile d'Hawaii ou Ile d'Hilo) est l'île située la plus au sud. Il s'agit d'un immense bouclier basaltique dont la base circulaire repose par 4000 m de profondeur, et dont la partie émergée atteint 4000 m d'altitude. Il comporte cinq volcans dont trois actifs ou potentiellement actifs (le Hualalai, 2512 m localisé à l'ouest de l'île, et surtout le Mauna Loa situé au sud-ouest de l'île, 4170 m, et le Kilauea, 1240 m, situé sur le flanc sud-est du Mauna Loa à l'est de l'île).

Ile d'Hawaii ou Big Island. Source : Hawaii: The Big Island Revealed, Wizard Publications, 2002.



La population de Big Island s'élève à 150 000 personnes permanentes à laquelle il convient d'ajouter une très importante population touristique (plus de 2 millions par an). L'île compte environ 10 000 chambres d'hôtel pour la plupart localisées à l'ouest et au nord de l'île. La ville de Hilo, située à l'est, est la ville la plus importante de l'île avec 45 000 habitants (la 2^e ville, Kailua-Kona, située sur la façade orientale, ne compte que 10 000 habitants).

4.4.2. Risques naturels à Hawaii

Les îles Hawaii sont concernées par plusieurs types d'aléas naturels :

- Les ouragans, qui, pour la plupart proviennent de l'est Pacifique. Parmi les plus destructeurs furent l'ouragan Iwa en novembre 1982 et l'ouragan Iniki du 11 septembre 1992 dont le coût des dommages s'éleva à plus de 2,4 milliards de dollars.
- Les séismes sont particulièrement nombreux à Hawaii et généralement liés à l'activité volcanique. La plupart sont de faible magnitude, mais une vingtaine de séismes ont dépassé la magnitude 6 au XX^e siècle et ont été à l'origine de destructions matérielles importantes. Le séisme le plus destructeur remonte à 1888 (magnitude estimée entre 7.5 et 8.1). Plusieurs villages furent détruits et 79 personnes furent tuées.
- Les tsunamis qui affectent Hawaii sont liés à des séismes locaux mais les plus importants sont associés à des séismes survenant le long de la Ceinture de Feu du Pacifique. Les deux tsunamis les plus destructeurs datent de 1946 et de 1960 et affectèrent très sévèrement les côtes nord-est de Big Island. Le premier, développé depuis les îles Aléoutiennes, tua plus de 170 personnes ; le deuxième lié au séisme du Chili de 1960 occasionna de très importantes destructions à Hilo et tua 61 personnes.
- Les éruptions volcaniques du Mauna Loa et du Kilauea (cf. ci-dessous)
- Les inondations qui se produisent surtout en hiver (notamment en janvier) ou entre juin et octobre, accompagnant les tempêtes tropicales. Les rivières d'altitude débordent en plaine et provoquent parfois des *flash-floods* en raison de l'intensité des précipitations et des fortes dénivelées entre les montagnes et les plaines côtières.
- Erosion et subsidences côtières liées aux fluctuations du niveau de la mer.

Les aléas sont donc particulièrement nombreux et variés et sont tous susceptibles d'engendrer des dégâts matériels considérables. Ils ne présentent cependant pas le même degré de risque pour les vies humaines. Le *Hawaii County Civil Defense* propose ainsi une classification des aléas suivant le risque engendré pour la population. Ce classement est le suivant : 1. tsunamis ; 2. ouragans ; 3 : séismes ; 4 : inondations ; 5 : éruptions volcaniques.

Les éruptions volcaniques arrivent donc seulement en 5^e position. Ce classement est confirmé à l'observation des pages des annuaires téléphoniques distribués à Hawaii, consacrées aux recommandations et aux mesures à prendre dans l'hypothèse de la survenue d'un phénomène destructeur. Les informations les plus nombreuses concernent les tsunamis (avec plusieurs cartes signalant les zones à évacuer). Elles sont moins détaillées pour d'autres aléas (ouragans, séismes, inondations), inexistantes pour ce qui concerne les éruptions volcaniques.

4.4.3. Conséquences des éruptions passées à Hawaii

Le classement des éruptions volcaniques en 5^e position est lié au type d'éruption connu à Hawaii : un caractère généralement peu explosif (si ce n'est très localement), des gaz volcaniques, des déformations du sol (ground cracks and settling), des coulées de laves qui peuvent être très destructrices sur le plan matériel, mais, en fin de compte, très peu de victimes humaines.

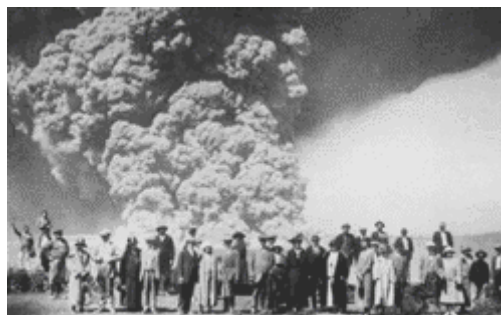
Mis à part le Hualalai dont la dernière éruption remonte à 1801, ce sont les volcans Kilauea et Mauna Loa qui lors de leurs nombreuses éruptions ont occasionné des dégâts matériels importants, menacé ou détruit des propriétés et les activités humaines situées sur le parcours des coulées de lave.

Le Kilauea a produit 61 éruptions historiques et 34 depuis 1954. La dernière éruption date de 1983 avec une activité continue depuis. Ces éruptions ont engendré d'importants dommages

matériels et ont parfois été à l'origine de victimes. Si les laves du Kilauea n'ont jamais tué personne, en revanche des victimes sont à déplorer suite à ses rares éruptions explosives liées à l'interaction entre le magma et les eaux situées en profondeur. Un mort fut ainsi à déplorer en 1924 à proximité du cratère Halemaumau, mais la plus grosse éruption explosive date de 1790 entraînant la mort d'environ 80 personnes sous l'effet de pyroclastic surges.

Eruption explosive du Kilauea (1924).

Source : Bishop Museum.



Après avoir été menacé pendant près de 4 mois par les coulées de lave, le village côtier de Kapoho situé à l'extrême sud-est de l'île fut dévasté en janvier 1960 suite à de nouvelles coulées. En 1983 et 1984, d'importantes coulées de laves provenant du Pu'u 'O'o ont affecté le sud-est de l'île et plus particulièrement le secteur dénommé *Royal Gardens subdivision*, à population éparse, détruisant 16 habitations.

Coulées de lave du Kilauea recouvrant Royal Garden subdivision (1983).

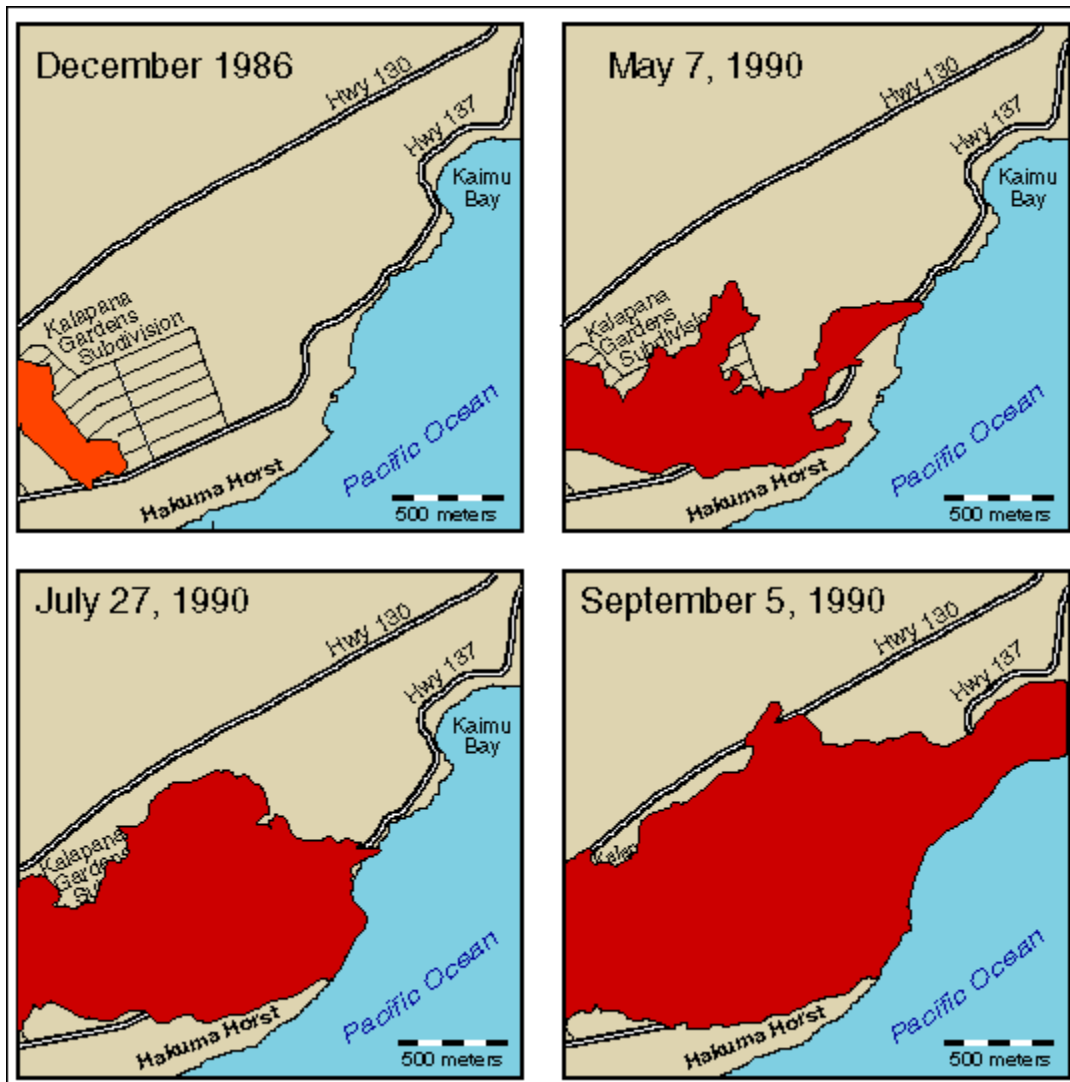
Source : USGS.



D'autres coulées de lave produites entre 1986 et 1991 coupèrent à plusieurs reprises la route côtière, détruisirent 14 habitations dispersées et, finalement, dévastèrent le secteur résidentiel et touristique de Kalapana (165 maisons détruites). Ce secteur qui avait déjà été évacué en 1977, mais évité de justesse par la lave, constituait une importante zone de loisirs (activités à la ferme, pêche, plages, surf, activités thermales). Il a été rendu totalement inhabitable dans la mesure où en plus des habitations dévastées, les routes, les lignes électriques et les canalisations d'eau ont été totalement détruites (destructions de 1990 parachevées par de nouvelles coulées de laves en 1997).

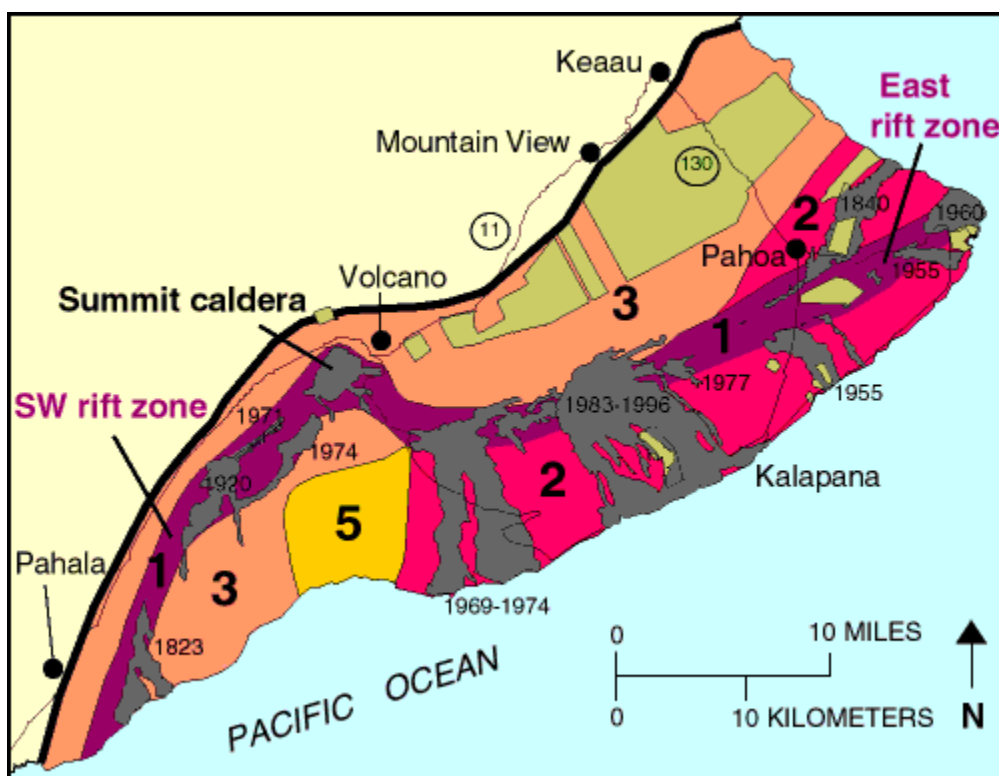
Secteur de Kalapana affecté par les laves du Kilauea.

Source : USGS.



Lava flows first moved into Kalapana in November-December 1986 and later covered the village in April-December 1990.

Secteurs affectés par les laves du Kilauea depuis 1800 (en gris) et degrés de menace.



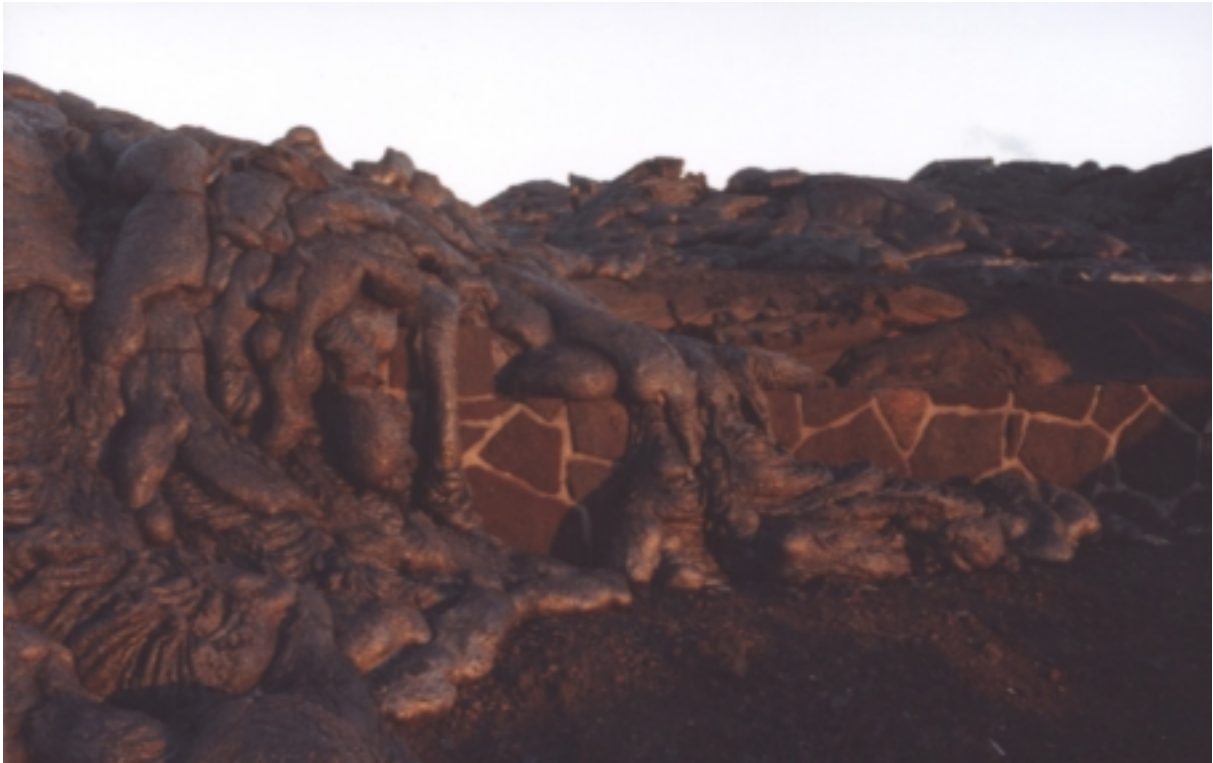
En 1992 le site archéologique de Kamoamoa fut enseveli de même qu'une aire de loisirs du Parc National, située à proximité.

Par la suite, d'autres coulées de laves ont engendré de nouvelles destructions, plus particulièrement des routes. Ce fut le cas en septembre 2002 pour une route panoramique située à l'ouest de l'ex-Kalapana (cf. photos suivantes).

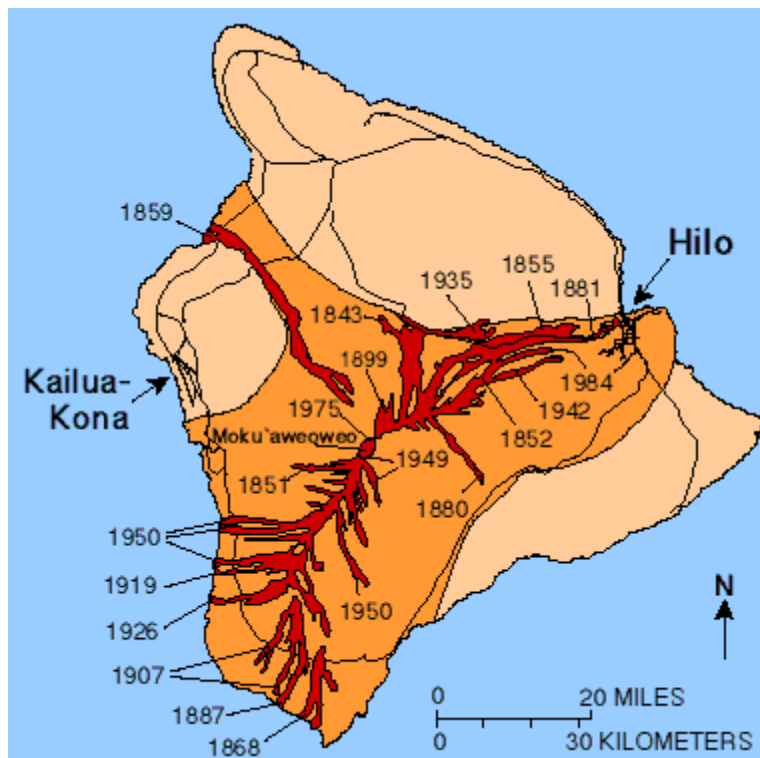
Route panoramique recouverte par les laves du Pu'u 'O'o (Kilauea) en septembre 2002.



Contrefort de la route recouvert par les laves du Pu'u 'O'o (Kilauea) en septembre 2002.



Carte simplifiée de plusieurs coulées de laves historiques du Mauna Loa. (Source : USGS).



Simplified map of Mauna Loa on the Island of Hawai'i showing the historical lava flows that cover 806 square kilometers, nearly 16 percent of the volcano's surface. Dates are provided for only 19 of the volcano's 33 historical eruptions (dates for the other lava flows can't be shown easily at this scale).

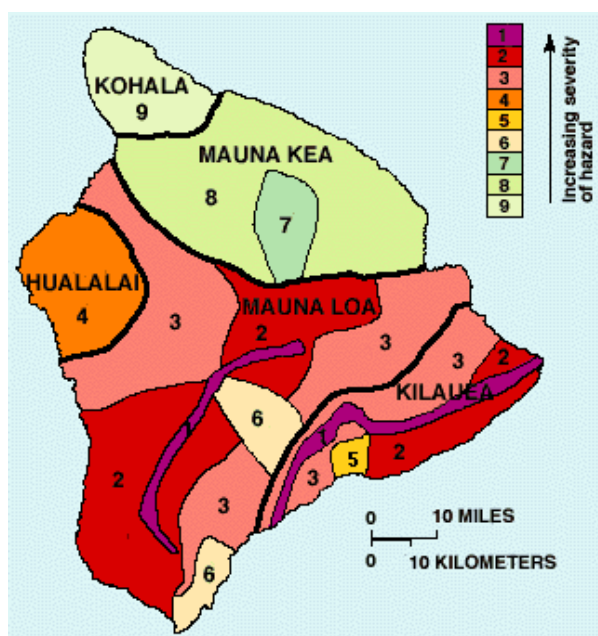
Le Mauna Loa a produit 33 éruptions depuis 1843. Ces éruptions sont donc moins fréquentes que celles du Kilauea mais les volumes de lave produits sont beaucoup plus importants. Ces coulées se sont notamment dirigées vers le nord-est et à plusieurs reprises ont menacé la ville de Hilo : en 1852, 1855, 1881, 1942 et en 1984 lors de la dernière éruption. En 1852, 1942 et 1984, les laves sont parvenues à quelques kilomètres seulement de Hilo. Elles s'en sont approchées davantage en 1855 et, en 1881, elles recouvraient une partie du Hilo actuel, alors non habité.

Les dernières éruptions de 1975 et 1984 n'ont pas occasionné de dommages importants dans la mesure où elles se sont cantonnées à des espaces inoccupés. En revanche, l'éruption précédente, survenue en 1950 et développée vers le sud-ouest, a été à l'origine de destructions (habitations, routes, activités agricoles...) dans le South Kona. Aucune victime n'a cependant été signalée suite aux éruptions du Mauna Loa.

4.4.4. Risques liés aux coulées de lave

Les premières cartes d'aléas concernant Hawaii ont été réalisées en 1974 (Mullineaux et Peterson, USGS) et révisées en 1987. La carte actuelle (voir carte suivante) subdivise l'espace en 9 zones en fonction de leur probabilité d'être atteintes par les coulées de lave. Le secteur 1 est le plus exposé, le secteur 9, le moins exposé. Ce zonage est bâti en fonction de la localisation et de la fréquence des éruptions historiques et préhistoriques (voir le tableau accompagnant la carte). Seules les coulées de lave sont prises en compte (les tephra fallout ou les ground cracking qui présentent un danger élevé à proximité des laves n'ont pas été retenus en tant que tels).

Degrés de menaces liées aux coulées de laves.
Source : USGS.



Cette carte sert de base pour l'orientation de l'occupation du sol mais elle n'est pas opposable au tiers. Elle sert notamment pour fixer les primes d'assurances¹⁵, celles-ci étant de plus en plus élevées au fur et à mesure que le degré de risque augmente. Dans ces conditions, tout individu est libre de s'installer où il le souhaite et il n'y a pas de restriction à la construction. En d'autres termes, il n'existe pas de véritable planification préventive de l'occupation du sol. Ceci dit, l'assurance peut être refusée dans le cas de gros équipements (hôpitaux, écoles, importante station de loisirs...).

La carte indique que tout le sud de l'île, à l'exception de quelques espaces protégés, est particulièrement exposé. Hormis la ville de Hilo (45 000 habitants), près de 40 000 personnes sont menacées (20 000 à l'ouest, 5 à 6000 au sud et 12 000 à l'est) et ceci, sans compter la population touristique. Le sud-est (secteurs de Kahuwai, Puua, Kapoho...) est le secteur le moins cher de l'île, ce qui tend à attirer de nouveaux résidents. Mais c'est en même temps l'un des secteurs de l'île à plus haut risque. Le sud-ouest (notamment South Kona District), à fort développement touristique, est également un espace à forte croissance alors que les risques liés au Mauna Loa sont particulièrement élevés. Le sud du Mauna Loa attire également (plusieurs centaines d'habitations occupées notamment par des retraités) en raison du faible coût de la terre, mais il n'y a qu'une voie d'accès (susceptible d'être coupée) et il n'existe aucun plan d'évacuation dans cette zone.

Autre espace à risque, la ville de Hilo qui, dans le passé, a été à plusieurs reprises évitée de justesse par les coulées de laves. Des secteurs affectés en 1881, encore inoccupés, sont aujourd'hui urbanisés et la ville continue de s'étendre. Outre la population et ses biens, des enjeux importants sont exposés comme l'aéroport, l'hôpital ou le système d'approvisionnement en eau potable.

HAZARD ZONES FOR LAVA FLOWS

Zone	Percentage of area covered by lava since 1800	Percentage of area covered by lava in last 750 years	Explanation
1	greater than 25	greater than 65	Includes the summits and rift zones of Kilauea and Mauna Loa where vents have been repeatedly active in historic time.
2	15-25	25-75	Areas adjacent to and downslope of active rift zones.
3	1-5	15-75	Areas gradationally less hazardous than Zone 2 because of greater distance from recently active vents /or because the topography makes it less likely that flows will cover these areas.
4	about 5	less than 15	Includes all of Hualalai, where the frequency of eruptions is lower than on Kilauea and Mauna Loa. Flows typically cover large areas.
5	none	about 50	Areas currently protected from lava flows by the topography of the volcano.
6	none	very little	Same as Zone 5.
7	none	none	20 percent of this area covered by lava in the last 10,000 yrs.
8	none	none	Only a few percent of this area covered in the past 10,000 yrs.
9	none	none	No eruption in this area for the past 60,000 yrs.

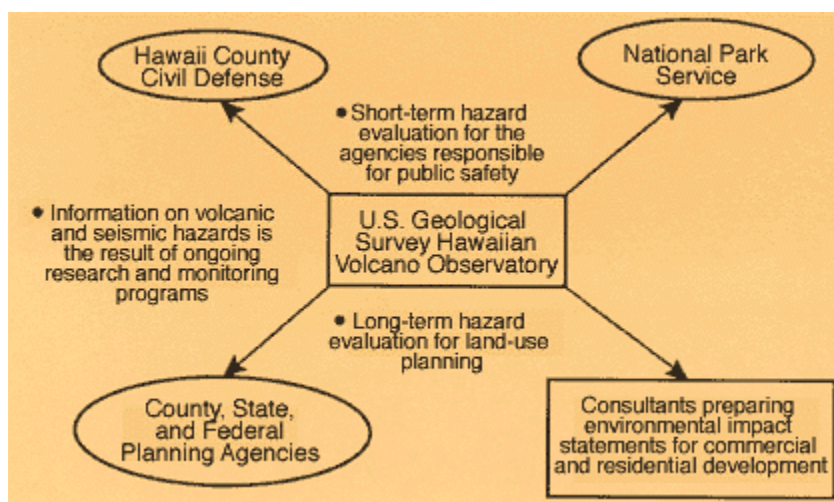
¹⁵ Fire Insurance pour ce qui concerne les dommages occasionnés par les coulées de lave. En cas de catastrophe, le maire concerné informe le niveau fédéral de la situation via le gouverneur de l'Etat. Si le président des Etats-Unis déclare l'Etat de catastrophe naturelle, le FEMA (Federal Emergency Management Agency), agence dépendant du gouvernement fédéral, débloque alors des fonds d'urgence. Il ne s'agit que d'une aide de première urgence, le restant étant l'affaire des assurances individuelles. Hawaii a bénéficié des fonds du FEMA en novembre 2000 suite à des inondations. Ce fut également le cas en 1990 lors de la destruction de Kalapana par les laves du Kilauea. A cette occasion chaque propriétaire sinistré reçut une aide de 10 000 dollars.

4.4.5. Gestion des crises volcaniques à Hawaii

De même que pour l'ensemble des régions volcaniques des Etats-Unis, les crises volcaniques associent étroitement les scientifiques de l'USGS à travers l'HVO, les autorités publiques (maires) et les responsables de la sécurité civile (notamment Hawaii County Civil Defense). D'autres acteurs exercent un rôle important comme le Volcanoes National Park pour la gestion du personnel et des touristes visitant le parc.

Le graphique suivant indique le rôle central de l'USGS dans la divulgation d'une information utile tant à long terme pour développer des actions de prévention et de préparation, qu'à court terme pour la gestion des situations d'urgence. Les premiers interlocuteurs sont les autorités publiques à l'échelle du comté, de l'Etat et du pays, la protection civile hawaïenne, le Parc National ainsi que les bureaux chargés d'études d'impact environnemental de projets de développement. Le grand public et les médias, même s'ils n'apparaissent pas sur le graphique sont aussi directement concernés par l'information provenant de l'USGS.

*Volcanic and seismic hazards : Interagency Responsibilities.
Source : USGS.*



Lors de la reprise d'activité d'un volcan ou de la modification des paramètres d'une activité en cours, les scientifiques alertent les autorités civiles et publient des bulletins d'information plusieurs fois par jour, puis quotidiens lorsque la situation se stabilise. Avec les moyens matériels et humains dont elles disposent et avec l'appui de la Protection Civile (6 professionnels et de nombreux volontaires, notamment des étudiants), des forces de police, des pompiers, de la Croix Rouge et de diverses agences d'état, ces autorités exécutent les opérations d'urgence appropriées à la situation : information auprès du public, alerte ou évacuations comme ce fut le cas à Kalapana en 1977 et 1990.

Il n'existe cependant pas encore de plan spécialisé de gestion de crises volcaniques (du type de celui qui a été décrit ci-dessus à propos du Mont Rainier). Ceci dit la gestion des crises semble être le fruit d'une longue expérience (éruptions relativement fréquentes du Mauna Loa, alerte permanente depuis près de 20 ans dans le sud de l'île avec le Kilauea), de bonnes relations établies entre les scientifiques et les responsables de la sécurité civile, et d'une

population dans l'ensemble bien informée notamment grâce aux efforts développés par l'USGS dans ce domaine. Lors d'une crise du type de celles que peut connaître Hawaii, laissant généralement suffisamment de temps pour agir, le public s'informe généralement facilement sur la situation en cours (par les journaux, la télévision, la radio, le web ou par des appels téléphoniques à l'USGS ou à la Protection Civile) et, en cas de nécessité, la radio constitue le principal moyen pour lancer une opération d'évacuation. Les personnes évacuées sont généralement accueillies par des parents ou amis et, à défaut, des abris temporaires sont prévus (écoles notamment). Pour leur part, les touristes sont normalement sous la responsabilité du *Volcanoes National Park* lors de leurs visites ou sous celle des hôtels dans lesquels ils sont hébergés. Les hôteliers font notamment partie d'une association (*Koala association for emergency response people*) destinée à gérer des situations d'urgence qui peuvent être liées à des éruptions volcaniques comme à tout autre phénomène (tsunamis, ouragans, tremblements de terre, etc.).

Si la gestion des crises volcaniques semble bien menée à Hawaii, quelques problèmes demeurent néanmoins. Parmi ces derniers, les difficultés que rencontrent les responsables de la sécurité civile pour décider les gens à évacuer rapidement lorsque la situation l'impose. En effet, la lave progressant lentement, les personnes concernées attendent généralement le dernier moment pour évacuer.

Un autre problème est lié au spectacle offert par les coulées de lave, notamment de nuit. De nombreuses personnes, touristes ou résidents, sont ainsi attirées ce qui entraîne des prises de risques difficiles à contrôler de la part des autorités (voir photo). Celles-ci, de même que l'USGS, mettent en garde la population sur les risques encourus, notamment sur ceux qui sont liés à l'effondrement possible de plate-formes de lave sur la côte, de même que sur les risques liés à des teneurs élevées en SO₂. De nombreux panneaux ont été installés sur les routes ou sur les sentiers et signalent les dangers auxquels les visiteurs sont exposés (voir photos), mais les autorités ne sont pas en mesure d'interdire l'accès aux zones dangereuses.

Un autre problème a souvent été évoqué lors de nos entretiens, celui de la rumeur et de la déformation de l'information de la part des médias. En dépit des efforts de l'USGS pour établir la meilleure communication possible avec les autorités publiques, les médias et la population, des problèmes de ce type se sont posés trois ou quatre fois durant les cinq dernières années. Par exemple, l'inflation du Mauna Loa enregistrée depuis le 29 septembre 2002 a été décrite par l'USGS comme un événement pouvant vraisemblablement, mais sans aucune certitude, déboucher vers une éruption. Cependant, depuis l'université de Stanford, les bruits ont couru que la prochaine éruption du Mauna Loa serait destructive. La presse en quête d'information sensationnaliste a repris l'information en l'exagérant encore, d'où des réactions d'inquiétude de la part de la population. Cette « affaire » a apparemment perturbé sérieusement l'USGS qui depuis lors consacre quelques lignes de démenti dans chacun des bulletins quotidiens concernant le Mauna Loa.



Personnes photographiant de près les coulées de lave du Kilauea ... en dépit des avertissements.



Panneaux signalant les dangers auxquels les personnes sont exposées.



5. Les observatoires de surveillance volcanologique

par Thomas Staudacher

5.1. USGS VOLCANIC HAZARD TEAM

5.1.1. Personnel

Long Valley Observatory (LVO) (Yellowstone 4 personnes + université)	10 personnes
Cascade Volcanological Observatory (CVO)	40 personnes
Hawaii Volcanological Observatory (HVO)	40 personnes
Alasca Volcanological Observatory (AVO)	10 personnes
Volcanic HaZard team Head Quarter (VHZ HQ)	40 personnes

5.1.2. Budget

Environ 18 M\$ du budget fédéral, 3M\$ de l'aviation fédérale pour AVO, 1 à 2 M\$ du département de la Défense et 1,5 M\$ sur le programme de « volcanic disaster ».

5.2. LONG VALLEY OBSERVATORY (LVO)

« Long Valley » est une caldeira volcanique de 30 x 18 km de diamètre. Le site représente une station de ski très appréciée, avec une forte population pendant les mois d'hiver.

Les manifestations volcaniques sont les suivantes :

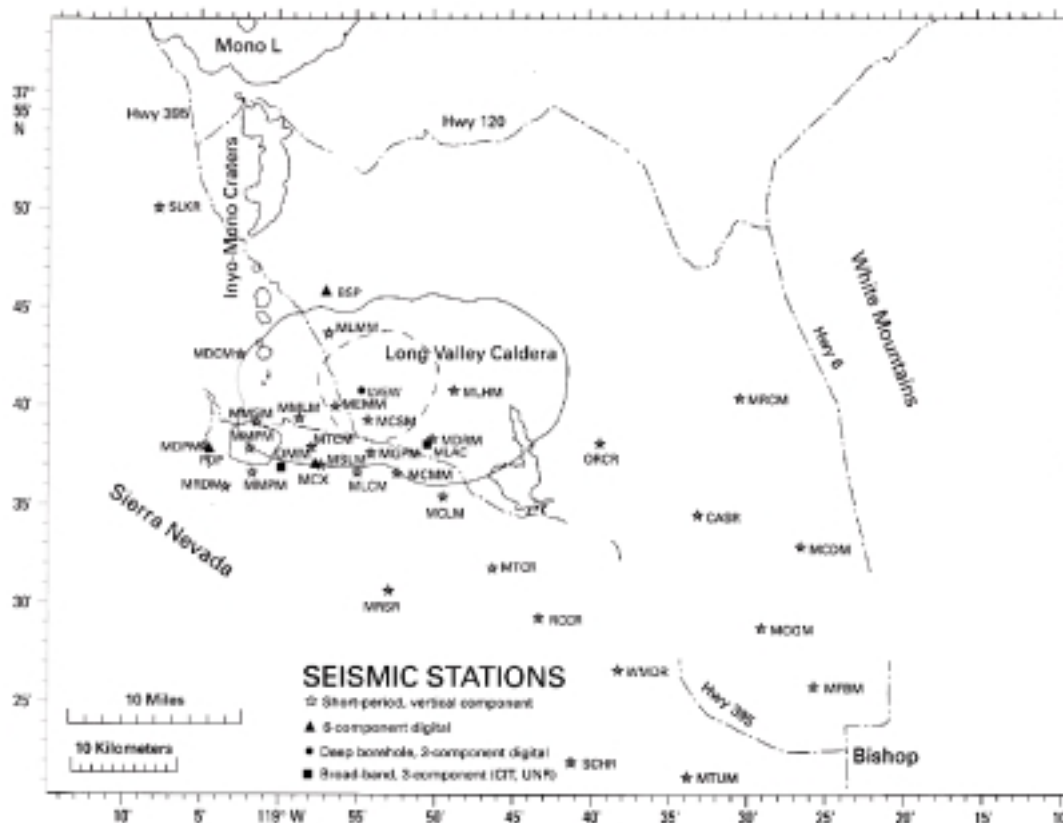
- activité sismique significative depuis 1978 ; des crises sismiques sont apparues depuis 1989, en particulier en 1997 ; un séisme de magnitude 6 a eu lieu en 1998.
- fort dégagement de CO₂ avec disparition de la végétation, en particulier celle des arbres, due à une intrusion à plusieurs km de profondeur sur le flanc du « Mammoth Mountain ». Un dégazage total de 133 tonnes par jour de CO₂ à été estimé sur une surface de 400x400 m. Une personne serait probablement décédée pour cause d'asphyxie par CO₂.
- sources hydrothermales.
- déformations, avec un taux d'inflation jusqu'à 10 cm par an.

5.2.1. Instrumentation

5.2.1.1. Réseau sismique

En 1989, il n'existait que quatre stations sismiques permanentes et huit stations temporaires vers « Mammoth Mountain »

En 1997 : depuis la crise sismique, un réseau de 30 stations sismiques verticales et de courte période a été installé, ainsi que deux stations de sismomètre à trois composantes et à large bande, deux sismomètres de puits à trois composantes et deux stations de 6 composantes. Les stations appartiennent aussi bien à l'USGS qu'à l'université.



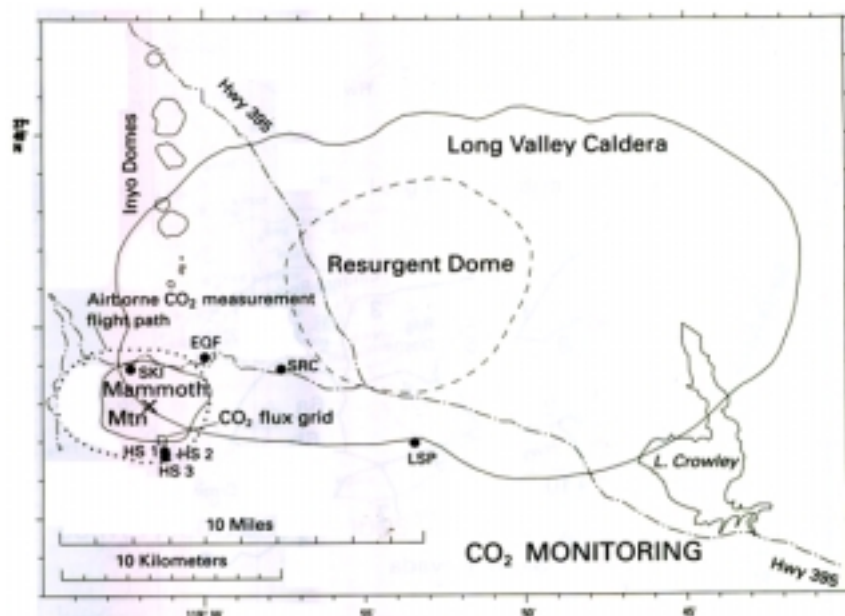
5.2.1.2. Réseau géochimique et géophysique

Plusieurs stations autonomes de mesure de CO₂ ont été implantées dans les régions à fort dégagement de CO₂ sur le Mammoth Mountain. Quelques analyses de radon ont été effectuées, mais il n'existe pas de station permanente. Des fissures ont été déterminées par des dégagements importants de radon. Il existe une surveillance des niveaux d'eau dans des puits. Des variations jusqu'à 1 m du niveau ont été observées avant des séismes, même pour des séismes assez éloignés, probablement en raison d'une mobilisation des volatiles dans la phase liquide.

Des études de ³He/₄He ont montré des variations du rapport d'hélium avec le temps. En 1989, avec l'apparition des crises sismiques, des rapports de ³He/₄He proches de 7 ont été mesurés. Ces rapports indiquent clairement un apport mantélique (³He/₄He_{manteau} = 8x atmosphérique).

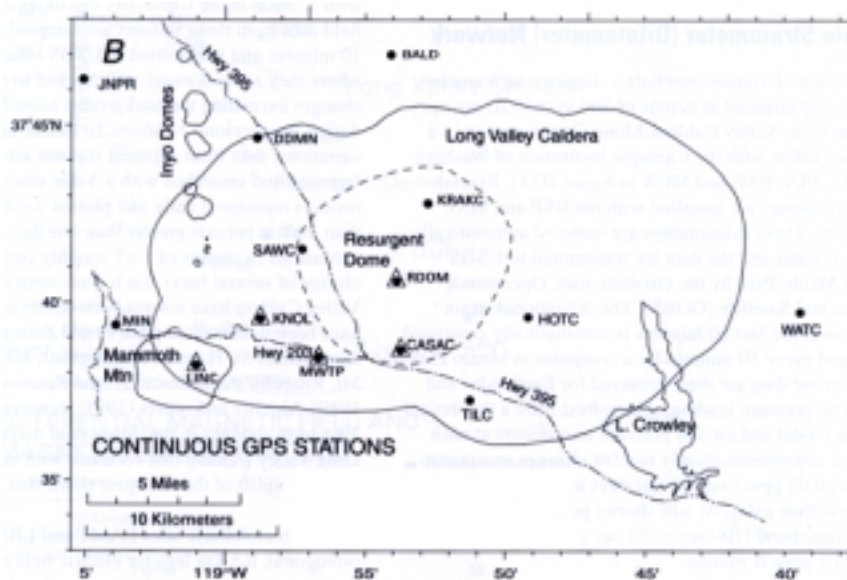
Une surveillance à long terme de la chimie des eaux des sources hydrothermales, ainsi que de la température dans les sources et des forages est assurée pour déterminer l'évolution des sources à long terme.

Conclusion : l'hydrogéologie et la géochimie des gaz permettent d'observer des variations et l'évolution à long terme, mais ne permettent pas une prédiction des événements volcaniques.

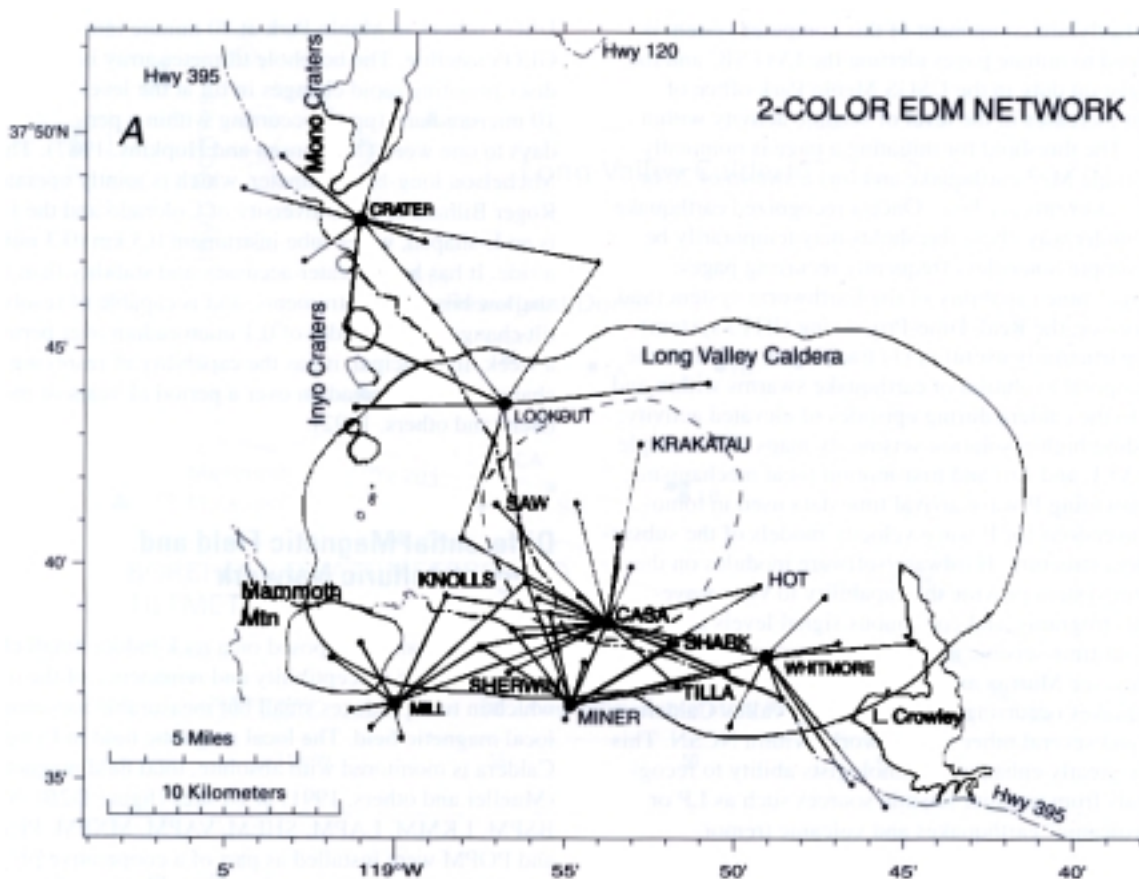


5.2.1.3. Déformations

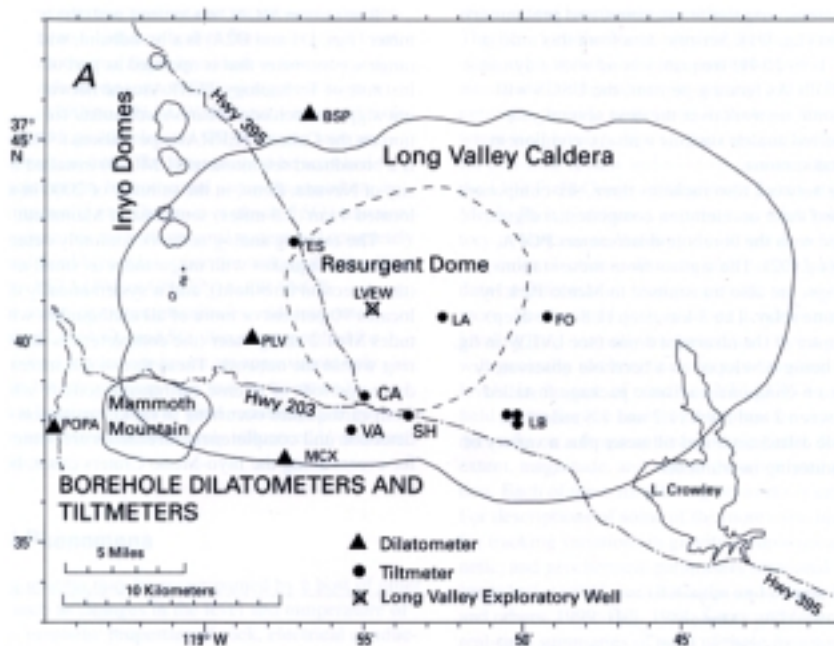
GPS : avant 1997 seuls trois GPS permanents existaient dans la région. Après la crise intrusive en 1997, quatre GPS supplémentaires ont été installés. Aujourd'hui 14 stations permanentes existent dans Long Valley. De plus, des campagnes annuelles avec jusqu'à 50 GPS sont organisées pour effectuer des mesures à plus grande échelle. Exemple, entre mars 2002 et août 2002, des inflations jusqu'à 50 mm (taux annuel 100 mm) ont été observées.



EDM : des mesures avec des instruments de 2 couleurs, permettent une précision théorique d'un mm sur une base de 10 km. La précision réelle est de 5 à 10 mm.



Inclinomètres : il existe 8 inclinomètres, dont un inclinomètre d'eau avec une base de 800 m et quelques inclinomètres de forage à environ 2 m de profondeur, ainsi que 4 « strain meters ». L'inclinomètre d'eau à longue base a une précision de 0,5 microradian.



Les mesures annuelles de **nivellement** ne sont plus effectuées.

5.2.1.4. Réseau magnétique

Dix stations magnétiques et quatre stations magnétotelluriques existent. A noter, 90 % des données recueillies sur le terrain sont transmises à Menlo Park.

5.3. ALASKA VOLCANOLOGICAL OBSERVATORY (AVO)

Les îles aléoutiennes comprennent 40 volcans actifs, dont 22 sont surveillés. Ces volcans de subduction sont particulièrement suivis en raison des nuages de cendres rejetés lors des éruptions. En effet, ces nuages représentent un danger pour l'aviation civile, qui emprunte quotidiennement des couloirs aériens au-dessus des Aléoutiennes. Un bulletin concernant l'état et la présence de nuages est mis à jour deux fois par jour. Si des nuages de cendres sont présents, leur existence est signalée à l'aviation civile dans un délai de 20 minutes. La présence de nuages de cendres est surveillée par des images de satellites.

5.4. HAWAIIAN VOLCANOLOGICAL OBSERVATORY (HVO)

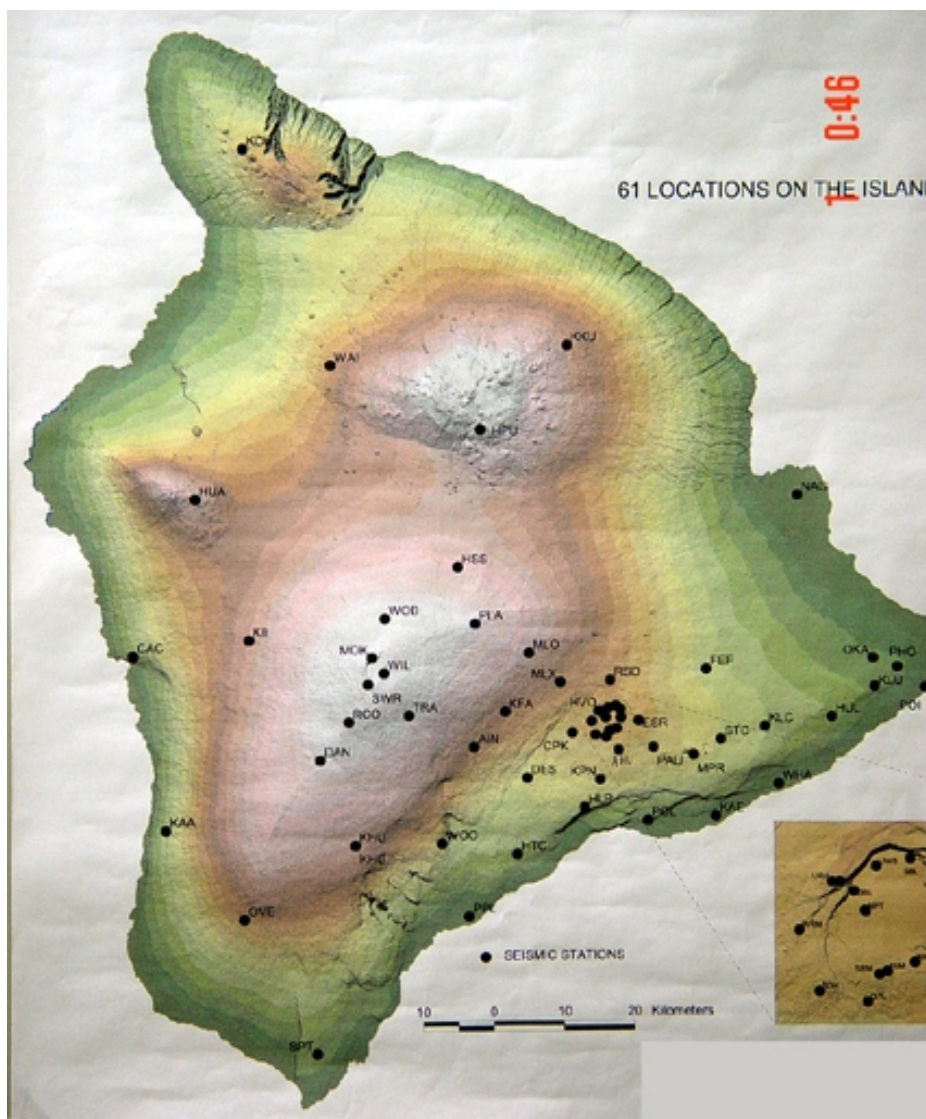
Hawaï est constitué de deux volcans actifs, Kilauea et Mona Loa. Le premier est en activité permanente depuis 1983 par le cratère Pu'u' O'o' sur la rift zone SE. D'après des études sismologiques, le magma remonte d'une zone de plusieurs dizaines de km sous la caldeira. A 800 m sous la caldeira, la cheminée s'injecte latéralement dans la rift zone et resurgit à plus de 20 km de distance par le cratère de Pu'u O'o, dont les coulées descendent sur le flanc sud, où elles atteignent la mer par actuellement trois tunnels de lave.

Le Mona Loa a une altitude d'environ 4000 m et il est dans une phase beaucoup moins active. Quinze éruptions ont eu lieu depuis 1900. Néanmoins il est à noter que les éruptions produisent souvent beaucoup de lave et lors de la dernière éruption en 1984, les coulées de lave se sont arrêtées seulement à 4 miles de la capitale Hilo.

L'observatoire volcanologique surplombe la caldeira à 1200 m d'altitude, où il est installé depuis 1912.

5.4.1. Instrumentation

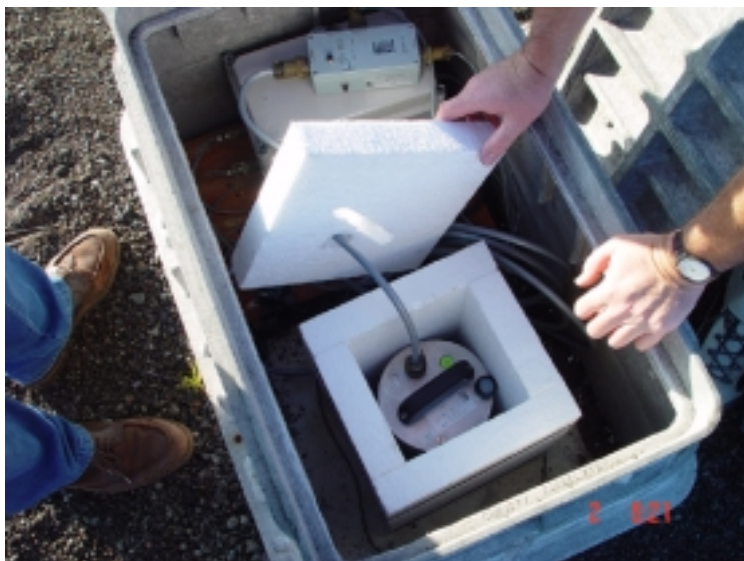
5.4.1.1. Réseau sismique



Le réseau comporte 65 stations sismiques verticales et environ 20 stations de trois composantes. Un réseau de 10 stations de sismomètres de large bande est déployé dans la caldeira et dans les alentours proches de la caldeira. Les derniers sont entretenus par l'HVO, mais les données sont exploitées uniquement par l'USGS.

Pratiquement toutes les stations sont déployées sur la zone du Kilauea et du Mona Loa. En cas de tremblement de terre, il existe une procédure rapide de détermination en temps réel de l'hypocentre, qui est publié avec un délai de 2 minutes sur le site Web du HVO. Il est à noter qu'en raison de la structure de Hawaïi, des tremblements de terre très dévastateurs se sont produits à Hawaïi, comme par exemple en 1868 avec une magnitude de 7.9.

Installation d'un sismomètre de large bande sur le terrain

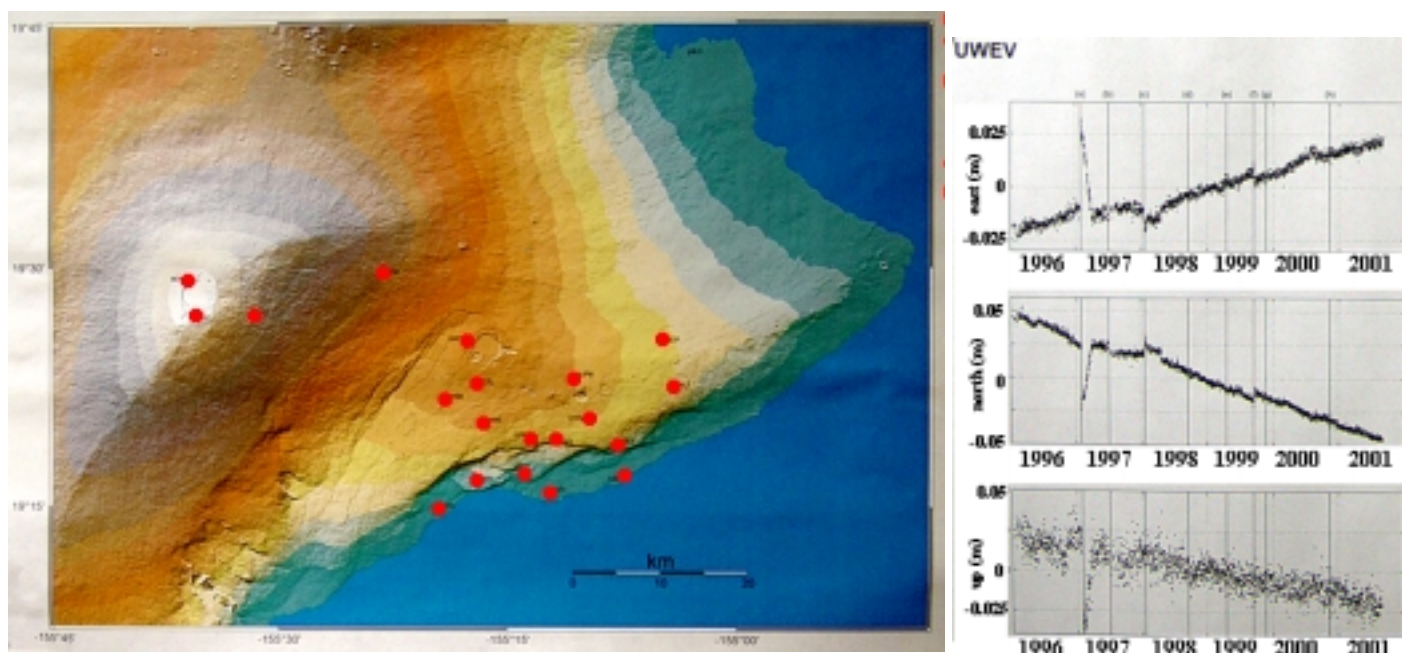


5.4.1.2. Réseau de déformation

GPS : ce réseau de déformations est géré par 3 équipes : HVO, l'université de Hawaii et Stanford. Il existe un parc de 15 récepteurs de GPS, dont 4 stations sur le sommet du Mona Loa, 10 à 12 stations sur le Kilauea. Une station de base se trouve sur le Mauna Kea et sur l'île Kawai. Les calculs de GPS sont effectués au Caltech. Actuellement Mauna Loa montre une légère inflation. Ces informations sont immédiatement transmises à la protection civile pour information.

Inclinomètres : le réseau comporte deux douzaines d'instruments. Cinq sont installés autour du Kilauea, huit entre le Kilauea et la côte. Les inclinomètres de type Applied Geomechanics and Pinnacle sont tous des inclinomètres de forage et sont installés entre 3 et 4 m de profondeur. Depuis le début de l'éruption actuelle en 1983, la caldeira montre une déflation d'environ 9 cm/an et une ouverture de 6 cm/an.

Réseau inclinométrique.



Depuis 1993, les mesures EDM ne sont plus effectuées.

5.4.1.3. Géochimie

Des mesures de gaz volcaniques sont effectuées régulièrement sur la route entre le Kilauea et la côte sud (correlation spectrometre analysis). Des grosses quantités de SO₂ et de CO₂ sont relâchées au niveau de la caldeira et Pu'u O'o', avec 100 t de SO₂/jour et 1500 t SO₂/jour respectivement. Ceci correspond à 500 à 600 000 tonnes de SO₂ par an depuis l'éruption de Pu'u O'o'. Le rapport de CO₂/SO₂ au niveau de la caldeira est d'environ 20, mais il n'est que de 0,1 sur la rift zone (Pu'u O'o). Ceci correspond à environ 8500 t de CO₂ relâchées par la caldeira et 300 t par jour par Pu'u O'o. Entre 1979 et 1982, la quantité de SO₂ relâchée n'était que de 50 000 t par an. Le traçage de ces gaz montre que toute la côte sud et sud-ouest est fortement polluée par VOG (par analogie à « FOG »).

5.4.2. **Alarme**

La surveillance de l'activité volcanique se base sur trois critères :

- En cas de séisme significatif ou d'un nombre important de séismes, certaines personnes du staff de l'observatoire sont averties par téléphone.
- En cas d'occurrence de déformations rapides (0,5 microradian en 5 minutes), une alarme téléphonique est également activée.
- En cas d'apparition de trémor, un plan d'urgence est engagé en moins de 10 minutes.

Ces alarmes sont répercutées vers des chercheurs qui habitent à quelques minutes de l'HVO. Une présence 24h/24 n'est plus effectuée depuis l'éruption en 1984 du Mauna Loa.

Des aides extérieures sont fournies en cas de nécessité par la sécurité civile et le personnel du Parc National.

Le HVO bénéficie d'un vol d'hélicoptère par semaine pour observation, travaux ou déploiement de matériel sur le terrain.

6. Nouvelles méthodes de surveillance géophysique

Activité sismique des volcans et nouvelles technologies basées sur les signaux de longues et très longues périodes

par Bernard Chouet

6.1. SISMICITE LIEE A L'ACTIVITE VOLCANIQUE

La grande variété de signaux sismiques observée sur les volcans actifs est une réflexion de la diversité des phénomènes qui s'y produisent et est liée à la complexité des systèmes volcaniques tant du point de vue des processus physiques que des structures. L'activité sismique des volcans comprend essentiellement deux types d'événements fondamentaux : (1) les événements associés à des ruptures dans le milieu solide; et (2) les événements associés à l'activité des fluides dans la structure.

Les événements qui se produisent dans la roche solide sont dus à des glissements de faille à l'intérieur de l'édifice volcanique. On les désigne par l'appellation de "séismes volcano-tectoniques" (VT). Ces séismes partagent un grand nombre de caractéristiques avec les séismes tectoniques – ondes P et S visibles, forme du spectre, mécanisme principalement de double couple – et s'en distinguent surtout par la position de leurs sources qui se trouvent au sein d'un édifice volcanique. Ces séismes sont générés par des modifications du champ des contraintes produites par des intrusions magmatiques, des variations de pression dans la chambre ou les conduits magmatiques, ou des mouvements gravitaires ou tectoniques.

Les événements associés à l'activité des fluides sont générés par des perturbations de pression dans les fluides contenus dans la structure. Ces fluides peuvent être du magma, de l'eau, du gaz, de la vapeur d'eau ou des mélanges diphasiques de liquide et de gaz, ou de gaz et de poussière. Ils remplissent des cavités tels que des chambres ou conduits magmatiques, dykes, sills et autres fissures. Les vibrations induites par ces perturbations de pression sont en quelque sorte les bruits de tuyauterie des volcans. De par leur nature, ces signaux contiennent des informations sur l'état des systèmes magmatiques et hydrothermaux et sur les phénomènes physiques qui s'y produisent. Parmi ces événements, on distingue les séismes de courte durée (quelques secondes à quelques dizaines de secondes) et des vibrations qui peuvent durer de plusieurs minutes à plusieurs heures, plusieurs jours, voire semaines ou mois. Les événements discrets sont appelés "séismes de longue période" (LP) et ceux de longue durée sont appelés "tremors volcaniques". Les principales caractéristiques des séismes et tremors volcaniques sont des premières arrivées souvent émergentes, l'absence de phase S visible, une amplitude augmentant progressivement au début du sismogramme, et un spectre de fréquences limite (0.5-5 Hz) contenant un petit nombre de pics étroits de grande amplitude. Ces caractéristiques spectrales proviennent de phénomènes de résonance à la source. Les cavités remplies de fluide présentent en effet un fort contraste d'impédance acoustique entre le fluide et l'encaissant solide, de telle sorte que ces cavités agissent comme des résonateurs qui peuvent être excités par des perturbations de pression dans le fluide. L'étude de ces événements apporte donc des informations sur les fréquences de résonance et les facteurs de qualité associés et donc sur les propriétés géométriques des cavités et propriétés acoustiques des fluides les remplissant.

Un séisme volcanique peut être considéré comme la réponse d'une cavité résonnante à une excitation de courte durée, alors que le tremor correspond à la réponse à une excitation soutenue.

Pour compléter cette description des différents types de séismes volcaniques, il convient de mentionner les séismes dits "séismes de très longues périodes" (VLP). Ce type d'événements est directement lié aux mouvements de masse au sein d'un édifice volcanique. Les signaux produits par ces mouvements de masse présentent des périodes allant de 2 à 100 secondes. Ces signaux sont d'un grand intérêt car leurs grandes longueurs d'ondes – comprises entre quelques kilomètres et plus de 100 kilomètres – facilitent énormément leur analyse quantitative.

6.2. NOUVELLES TECHNOLOGIES ADAPTEES AUX MESURES DE L'ACTIVITE SISMIQUE DES VOLCANS

6.2.1. Antennes sismiques

Les caractéristiques des sources des séismes LP et tremors volcaniques et l'hétérogénéité des structures volcaniques entraînent une grande complexité des champs d'ondes sismiques dans les volcans. Des méthodes d'analyse fine des champs d'ondes sont nécessaires pour obtenir des informations sur les sources et les structures. Pour cela, toute une panoplie de méthodes basées sur l'utilisation de réseaux denses de capteurs a été développée ou adaptée durant ces dix dernières années. Un réseau dense, appelé antenne sismique, consiste d'un ensemble de sismomètres de courte période placés à des distances relativement faibles comparées aux longueurs d'ondes étudiées. Ils peuvent donc détecter des paquets d'ondes cohérentes et permettent notamment d'analyser la composition du champ d'ondes et de déterminer les directions et vitesses de propagation des ondes balayant l'antenne.

L'utilisation d'antennes multiples permet donc de localiser ces séismes et tremors d'une manière relativement précise (la précision dépend de notre connaissance de la structure ainsi que du nombre et de la densité de capteurs utilisés).

6.2.2. Réseaux sismiques large bande

L'analyse quantitative des mécanismes à la source de séismes VLP nécessite l'utilisation de réseaux de capteurs large bande calibrés de manière précise. Un minimum de 10 capteurs enregistrant les trois composantes du mouvement du sol, distribués de manière adéquate autour de la source, est nécessaire pour obtenir une bonne résolution de la position et du mécanisme à la source. L'interprétation détaillée du mécanisme à la source fournit toute l'information nécessaire sur la géométrie et le processus physique à la source. Ce type d'information représente une étape critique dans l'évaluation quantitative du processus volcanique et du risque associé à cette évolution.

6.3. RÉFÉRENCES

Chouet, B. A., Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption forecasting, *Nature*, 380, 309-316, 1996.

- Almendros, J., B. Chouet, and P. Dawson, Spatial extent of a hydrothermal system at Kilauea Volcano, Hawaii, determined from array analyses of shallow long-period seismicity. 1. Method, *J. Geophys. Res.*, 106, 13,565-13,580, 2001.
- Almendros, J., B. Chouet, and P. Dawson, Spatial extent of a hydrothermal system at Kilauea Volcano, Hawaii, determined from array analyses of shallow long-period seismicity. 2. Results, *J. Geophys. Res.*, 106, 13,581-13,597, 2001.
- Kumagai, H., B. A. Chouet, and M. Nakano, Temporal evolution of a hydrothermal system in Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, inferred from the complex frequencies of long-period events, *J. Geophys. Res.*, 107(B10), 2236, doi:10.1029/2001JB000653, 2002.
- Kumagai, H., B. A. Chouet, and M. Nakano, Waveform inversion of oscillatory signatures in long-period events beneath volcanoes, *J. Geophys. Res.*, 107(B11), 2301, doi:10.1029/2001JB001704, 2002.
- Chouet, B., P. Dawson, T. Ohminato, M. Martini, G. Saccorotti, F. Giudicepietro, G. De Luca, G. Milana, and R. Scarpa, Source mechanisms of explosions at Stromboli Volcano, Italy, determined from moment-tensor inversions of very-long-period data, *J. Geophys. Res.*, 108(B1), 2019, doi:10.1029/2002JB001919, 2003.

7. Conclusions, recommandations

par Yves Caristan et Jacques Varet

Cette mission très riche en enseignements est sans doute encore trop récente pour en tirer toutes les leçons, d'autant que plusieurs documents recueillis sur place ne nous sont pas encore parvenus. Néanmoins, il est possible d'ores et déjà de retenir plusieurs points saillants permettant d'élaborer quelques recommandations :

7.1. AU PLAN SCIENTIFIQUE

Les équipes françaises ont tout intérêt à développer les échanges et les coopérations avec celles de l'USGS. Il existe déjà un certain flux d'échanges, mais celui-ci n'est sans doute ni suffisamment organisé ni soutenu.

En outre, sur certains sujets spécifiques, comme les *longues périodes*, les transferts de savoir-faire et de technologies devraient être plus rapides.

7.2. AU PLAN DES METHODES DE SURVEILLANCE

L'approche américaine de la surveillance volcanologique – on retrouve les mêmes caractéristiques dans le domaine sismique – combine de manière efficace les travaux de recherche universitaires et l'activité opérationnelle, dont l'USGS a la charge. Le service géologique américain est délibérément positionné dans une attitude de « service public », puissant et efficace – malgré un budget en réduction et un certain vieillissement des effectifs – à l'écoute à la fois des demandes des départements et agences fédérales, et très impliqué aussi dans le partenariat avec les collectivités et agences locales. Il n'y a pas d'équivalent en France d'une telle organisation.

7.3. AU PLAN DE L'ARTICULATION EXPERTISE – DECISION

Comme en France, il existe une séparation des responsabilités. L'expertise scientifique en matière d'aléas est du rôle de l'USGS, tandis que la décision publique en matière de protection civile est assurée par les autorités de l'Etat concerné et les collectivités locales.

Si l'USGS offre une approche cohérente, avec p.ex. une échelle de risques avec code couleur unique, la situation est adaptée de manière pragmatique aux réalités locales. Ainsi, en Alaska, le système de code couleur s'avère inapplicable du fait que ce sont les panaches volcaniques qu'il faut signaler, or ceux-ci se déplacent au gré des mouvements atmosphériques. A Hawaï, où l'activité éruptive est permanente et se situe dans l'enceinte d'un Parc National très visité, il s'agit de déployer une information locale au plus près des touristes.

De même, les relations entre autorités et agences concernées varient-elles considérablement. En Alasca, l'USGS est directement partie prenante, avec la Météo, l'Aviation Civile et les U.S.Air Forces, du système d'information des pilotes (population et activité économique la plus concernée dans cet espace peu habité), alors qu'à Hawaï et plus encore dans les

Cascades, ce sont les collectivités concernées qui gèrent les mesures d'information et de prévention.

7.4. AU PLAN DES RESPONSABILITES DES ORGANISATIONS FACE AUX RISQUES

Aux Etats-Unis, à la différence de la France, c'est à la responsabilité individuelle des citoyens, des entreprises et des collectivités locales qu'il est fait appel en matière de prévention. Il est de la responsabilité de l'Etat Fédéral de développer la connaissance scientifique et l'information. Elle s'exerce par des moyens nombreux et diversifiés, au plus près des réalités sociales et politiques. Par contre, la responsabilité de l'Etat Fédéral est peu engagée dans des mesures contraignantes de restriction des libertés individuelles au nom de la sécurité civile.

L'information de tous étant assurée, ce sont les individus, les entreprises et les collectivités locales qui prennent en charge ces questions. La FEMA n'intervient que dans les cas extrêmes de catastrophe de grande ampleur pour secourir les plus démunis, sous réserve que l'Etat concerné fasse appel.

De ce fait :

- d'une part, il existe une activité économique dans le domaine des risques naturels, avec un jeu des entreprises privées – à travers les assurances notamment – plus développé qu'en France ;
- d'autre part, les procédures et les pratiques de prévention et d'alerte sont beaucoup plus variables qu'en France, l'USGS adaptant son offre aux caractéristiques du site autant qu'à celles de ses interlocuteurs.

8. Bibliographie et documents reçus

Jacques Varet

8.1. NOTES ET DOCUMENTS GENERAUX

Science, Society, Solutions : an introduction to USGS (3p).

Organigramme et annuaire des directeurs et « key officials ».

Science for a changing world (circulaire N°1172) stratégie de l'USGS pour la période 2000-2010.

USGS : Earth Science in the Public Service, USDOE, 30p.1990.

Puna Geothermal venture ; safe reliable Energy for the Big Island, dépliant couleur 4p., 1995.

8.2. NOTES ET DOCUMENTS TECHNIQUES, ADMINISTRATIFS ET GRAND PUBLIC SUR LES RISQUES

Coping with flood – Before, During and After ; dépliant NFIP ; FEMA, 206, 4, 1997.

Answers to questions about the national flood insurance program ; (cet opuscule contient en outre de nombreuses références) FEMA, 615-919/90420, 64p., 1997.

Safety Survival in an Earthquake ; dépliant 12 pages, FEMA/USGS, 288-118, 1991.

Earthquake safety checklist, (liste des choses à faire aux différentes étapes d'un séisme), FEMA 46, 12p.,1985.

Tsunami, killer waves ! (dépliant grand public sur ce qu'est un Tsunami et ce qu'il faut faire en cas d'alerte) Hawaii Civil Defense Agency.

Hurricane Preparedness guide, (grand public, illustré) Hawaii County Civil Defense, 8p.

A post-earthquake clearing model,

Family Preparedness; Earthquake Preparedness Centre of Expertise ; (guide pratique illustré) U.S.Army Corps of engineers, 32p.

California Post-earthquake clearing house (Draft Plan, 1998).

Disaster warning: be prepared; guidelines for people with household pets ; depliant, Hawaii Island Humane Society.

8.3. SITES WEB SUR LES RISQUES NATURELS AUX ETATS-UNIS

USGS : <http://www.usgs.gov>

Hawaii Volcano Observatory : <http://www.hvo.wr.usgs.gov>

Hawaii Civil Defense Agency : <http://www.hawaii-county.com>

State Civil Defense : <http://www.scd.state.hi.us>

International Tsunami Information Center : <http://www.nws.noaa.gov/pr/>

Pacific disaster Center : <http://www.pdc.org/>

FEMA : Federal Emergency Management Agency : <http://www.fema.gov>

8.4. CD-ROMS ET CASSETTES

Open house Web-connected CD-Rom (USGS, 2000).

Seismic Hazards Curves and Uniform Hazard Response Spectra from the U.S.A. (Mars 2001).

Earthquake Hazards Program (exposé de J.R.Filson, USGS septembre 2001).

Volcanoes of Alaska and Aleutian islands (USGS).

At Risk : volcano hazards from Mt Hood, Oregon (USGS).

Tracking stone winds, édité par l'USGS avec Boeing Co.

Hawaii Scientific Drilling Project, D.J.Depaolo et al., 1999.

8.5. NOTES ET DOCUMENTS TECHNIQUES ET ADMINISTRATIFS SUR LES RISQUES VOLCANIQUES

Reducing the risk from volcano hazards, how the USGS is helping the people to live safely with volcanoes ; brochure éditée par l'USGS avec des fiches jointes pour chacun des volcans ou chaînes volcaniques (comme l'Alaska), de 2000 à 2002.

Priorities of the Volcano Hazard Program 1999-2003, USGS, 10p., 1999.

Volcano Hazards in the Mount Hood Region, Oregon ; W.E.Scott et al., USGS Open File Report 97-89, 14p. et carte, 1997.

Response plan for volcano hazards in the long valley caldera and Mono Craters region, California, D.P.Hill et al., USGS bull. 2185, 58p., 2002.

Volcanic ash advisory center, directory, 18 p., 1999.

Volcanic ash and airports ; T.J.Casadevall, USGS, open file report 93-518, 53p., 1993.

The volcano threat to aviation safety, FAA, the aviation safety journal, T.J.Casadevall, 11p.

Alaska Interagency Operating Plan for Volcanic Ash Episodes, USGS, 26p., 1999.

The probability of lava inundation at the proposed and existing Kulani prison site; J. Kauahikaua et al., USGS Open file report 98-794, 21p., 1998.

8.6. DOSSIERS ET DOCUMENTS GRAND PUBLIC SUR LES RISQUES VOLCANIQUES

Publications spécialisées (posters et cartes) de vulgarisation sur chaque volcan (USGS et administration locale).

Living with Volcanoes, the USGS Volcano Hazard Program ; USGS circular 1073, 56p., 1992.

Volcano watching ; R.&B.Decker, Hawaii Natural history Association, 78p., 1997.

Volcanic and seismic hazards on the Island of Hawaii ; USGS, 48p., 1997.

Kilauea, the newest land on earth ; D. Weisel & Ch. Heliker ; Island Heritage Publishing, Hawaii, 76p., 1996.

View lava safely ; recto-verso d'information grand public pour les touristes visitant le volcan en activité, 2002.

Building Island ; The Big Island of Hawaii, dépliant du Hawaii Visitors Bureau.

Visting Hawaii Volcanoes ; dépliant touristique avec cartes, photos et schémas, Hawaii Volcanoes National Park, Hawaii, National Park Service, 2001.

8.7. CARTES GEOLOGIQUES ET AUTRES

World map of volcanoes and principal aeronautical features ; T.J.Casadevall et al., USGS Geologic Investigations Series map I-2700, 1999.

Geologic map of the Island of Hawaii ; E.W.Wolfe & J.Morris, 1/100,000 ; Geological Investigation Series map I-2524A ; 1996 reprinted 2001.

Hawaii Volcanoes National Park and vicinity, 1/100,000 topographic map (carte avec illustrations : schémas et photos), 19155-D3-PF-100, 1986.

Bathymetry of the southwest flank of Mauna Loa Volcano, Hawaii ; W.W.Chadwick et al., USGS Miscellaneous field studies map, 1994.

Bathymetry of Puna Ridge, Kilauea Volcano, Hawaii ; B.A.Clague et al., USGS Miscellaneous field studies map, 1994.

Generalized ages of surface lava flows of Mauna Loa Volcano, Hawaii ; J.P.Lockwood et al., USGS Miscellaneous field studies map, 1988.

Map of Hawaii, The Big Island, University of Hawaii Press (carte avec liste de sites).

8.8. NOTES ET PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Almendros, J., B. Chouet, and P. Dawson : Spatial extent of a hydrothermal system at Kilauea Volcano, Hawaii, determined from array analyses of shallow long-period seismicity. 1. Method, J. Geophys. Res., 106, 13,565-13,580, 2001.

Almendros, J., B. Chouet, and P. Dawson : Spatial extent of a hydrothermal system at Kilauea Volcano, Hawaii, determined from array analyses of shallow long-period seismicity. 2. Results, J. Geophys. Res., 106, 13,581-13,597, 2001.

Chouet, B. A. : Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption forecasting, Nature, 380, 309-316, 1996.

Chouet, B., P. Dawson, T. Ohminato, M. Martini, G. Saccorotti, F. Giudicepietro, G. De Luca, G. Milana, and R. Scarpa, Source mechanisms of explosions at Stromboli Volcano, Italy, determined from moment-tensor inversions of very-long-period data, J. Geophys. Res., 108(B1), 2019, doi:10.1029/2002JB001919, 2003.

Foulger G.R. : Plumes, or plate tectonic processes ? ; Astronomy & Geophysics, 11p. & 6 fig., 2002, in press.

Gerlach T.M. et al. : Carbon dioxide emission rate from Kilauea Volcano, implications for primary magma and the summit reservoir ; JGR, 107, 15p., 2002.

Johnston M.J.S. & Linde A.T. : Implication of crustal strain during conventional, slow, and silent earthquakes ; Int. Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Vol.81A, p.589-605, 2002.

Kumagai, H., B. A. Chouet, and M. Nakano : Temporal evolution of a hydrothermal system in Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, inferred from the complex frequencies of long-period events, J. Geophys. Res., 107(B10), 2236, doi:10.1029/2001JB000653, 2002.

Kumagai, H., B. A. Chouet, and M. Nakano, Waveform inversion of oscillatory signatures in long-period events beneath volcanoes, J. Geophys. Res., 107(B11), 2301, doi:10.1029/2001JB001704, 2002.

Linde A.T. et al. : Mechanism of the 1991 eruption of Hekla from continuous borehole monitoring ; Nature, 365, 737-740, 1993.

Sutton et al. : Implications for eruptive processes as indicated by sulfur dioxide emissions from Kilauea Volcano, Hawaii, 1979-1997 ; JVGR, 108, p.283-302, 2001.

ANNEXE 1

EXEMPLE DE BULLETIN D'INFORMATION DELIVRE QUOTIDIENNEMENT PAR L'HVO BULLETIN CONCERNANT LE KILAUEA (27 DECEMBRE 2002)

0840 December 27, 2002

Three surface flows are moving down uppermost Pulama pali this morning. Each has been active for the past several days, but yesterday evening is the first time that the westernmost of the three was visible from the coast. This morning, it and the central lobe are both moving across vegetated terrain, burning whatever they touch. The eastern, largest, lobe is confined to the earlier Mother's Day flow and so is starting no fires.

The three lava deltas have each backed off some from yesterday's activity but nonetheless remain active. Wilipe`a still has visible lava at the its lone entry point. West Highcastle has multiple entries and a healthy (or unhealthy, depending on your preference) laze plume. Yesterday morning some decidedly unhealthy explosions took place, showering the front of the delta repeatedly. This morning only small explosions are visible.

At the unnamed delta between Highcastle and Lae`apuki, small collapses are taking place sporadically from the active front. Two main entry areas are evident, as well as several smaller ones. The delta is fed this morning by lava coming over the old sea cliff near the place where the shoreline makes its big bend. One cascade is quite consistent, and another started with a gush and then waned over the course of 15 minutes. The surface lava attracted many visitors, some of whom went down to the delta and beach to the west.

The skylight at the top of Paliuli is bright in the predawn darkness, and the east arm, which feeds the Highcastle-Lae`apuki area, hosts many breakouts between the coast and Paliuli.

The crater of Pu`u`O`o glows brightly this morning from incandescent cones and vents.

Seismicity is at its usual level at Kilauea. The long-lasting swarm of long-period earthquakes and tremor at Kilauea's summit, which began last June, continues this morning, neither unusually intense nor weak.

Tiltmeters are showing nothing startling. Pu`u`O`o and Uwekahuna, ended their deflations yesterday and since then have been rather flat, albeit bumpy like a washboarded plains road. Other tiltmeters are showing only usual trends.

ANNEXE 2

EXEMPLE DE « PRESS RELEASE »

News Release

U.S. Department of the Interior
U.S. Geological Survey

Release
July 30, 2002

Contact
Heather Friesen
Steve Brantley

Address
Office of Communication
119 National Center
Reston, VA 20192

Phone
703-648-4469
808-967-8827

New Lava From Kilauea Volcano Entering the Sea

USGS Web Site Features Daily Lava Flow Updates and Photographs

Lava flows from the Pu`u`O`o vent on the east rift zone of Kilauea Volcano in Hawaii are entering the sea and are rapidly adding new land to the coast, according to the U.S. Geological Survey's Hawaiian Volcano Observatory. The USGS Web site <http://hvo.wr.usgs.gov/kilauea/update/> features near real time lava flow updates as well as photographs.

Detailed descriptions of lava flow and videos and photographs of lava breakouts, lava streams, and lava entering the ocean offer the public as well as scientists an opportunity to safely observe Kilauea's activity from their computers. Web site viewers can access the site daily and find out new information and see current photographs of Kilauea's lava flows.

Kilauea Volcano has been erupting since Jan. 3, 1983. The current lava flows are arms of the larger lava flow that erupted earlier this year on Mother's Day (May 12).

Since 1952, there have been 34 eruptions, and since 1983, eruptive activity has been nearly continuous. The eruption that began in 1983 continues at the cinder-and-spatter cone of Pu`u`O`o (high point on skyline).

Kilauea is the youngest and southeastern-most volcano on the Big Island of Hawaii.

The Hawaiian name "Kilauea" means "spewing" or "much spreading," apparently in reference to the lava flows it erupts.

The USGS serves the nation by providing reliable scientific information to: describe and understand the Earth; minimize loss of life and property from natural disasters; manage water, biological, energy, and mineral resources; and enhance and protect our quality of life.

USGS

U.S. Geological Survey, MS119 National Center, Reston, VA 20192, USA

URL http://www.usgs.gov/public/press/public_affairs/press_releases/pr1617m.html

Contact: hfriesen@usgs.gov

Last Modification: 7-30-2002@4:13pm(HF)

ANNEXE 3

EXEMPLE DE VOLCANO WATCH



Kilauea

Volcano Watch

September 26, 2002

Mauna Loa

A weekly feature provided by scientists at the Hawaiian Volcano Observatory.

Earthquakes

What's happening at Mauna Loa?

Mauna Loa has gone 18.5 years without eruption--the second longest dry spell since detailed records begin in 1843. The longest period without eruption lasted 25 years, between 1950 and 1975. Clearly the past 52 years have been much less active than the previous 107.

Other Volcanoes

Following its latest eruption, in March-April 1984, the volcano continued to inflate, quickly at first but then more slowly. By the early 1990s, the level of inflation had nearly reached that before 1984. This alone is an unreliable measure of the readiness for any volcano to erupt, because volcanoes change internally over time so that the basis of comparison also changes. The continued inflation, however, did make people wonder if the next eruption was to be sooner rather than later.

Volcanic Hazards

By 1994, however, the inflation had ceased, and the summit actually began to deflate. The rate of deflation was small but steady, continuing right up to May of this year. The pattern of slow deflation changed rather abruptly in mid-May. In fact, our best estimate is that the pattern changed on Mother's Day, the same day that Kilauea's currently active lava flow started.

About HVO

Since then, the summit area of Mauna Loa has been slowly swelling and stretching. Distances across the summit caldera are lengthening at a rate of 5-6 cm (2-2.5 inches) per year. That means that, as of today, the caldera has widened about 2 cm (0.8 inches) since May 12. This is small stuff, indeed, but it does mark a noticeable, perhaps notable, change from the pattern of the preceding 9 years. The GPS measurements also show that the summit area is getting slightly higher, consistent with swelling.

These measurements are made with sophisticated GPS equipment that uses satellite orbits and signals to locate receivers on earth. This is acknowledged as the best means to track small changes in shape of the earth's surface. Could there be some error in this complicated method that we are overlooking, something that happened with the satellite orbits, for example?

To test that possibility, we have used a completely independent means to measure ground deformation--an old-fashioned, unsophisticated, non-electronic way to measure ground tilt. This method--called dry tilt in Hawai'i and tilt-leveling, spirit-level tilt, or single-setup leveling elsewhere--uses standard surveying techniques to measure elevations of bench marks in a small area. If the elevations change from one survey to the next, the ground has tilted.

To make a long story short, the dry tilt measurements at the summit of Mauna Loa confirm the GPS results, though with less precision. The summit area is indeed swelling, slowly but measurably.

We then extended the measurement of existing GPS stations farther out on the flanks of the volcano to see if those parts of the volcano are also moving. The measurements show that the swelling is affecting more of the volcano than just the summit. In particular, the upper part of the southeast flank is showing outward movement.

You might think that this slow, slight swelling would be accompanied by increased seismicity. Well, that is not the case. Rocks bend before they break. That is an oversimplified way to say that slow swelling will likely not be accompanied by an increase in number or size of earthquakes.

Before the latest two eruptions, there were large increases in both numbers of earthquakes and the amount of energy released by these earthquakes. Though we must be cautious in saying that such an increase will definitely precede the next eruption, that is a reasonable expectation. On that basis alone, we see no reason to say that an eruption will take place any time soon--that is, in the next few weeks.

The small changes indicated by GPS measurements could have gone unseen in the past, when the instrumentation was less precise and the data were acquired infrequently rather than daily. There could have been several such spurts of swelling that we were unable to measure long before the 1975 and 1984 eruptions. And, such spurts may even be routine.

The overall story is a bit muddy because of what has happened since the 1984 eruption. The changed pattern--from swelling for the first 9 years to slight deflation for the next 9 years to very slight inflation now--is more difficult to interpret than one steady inflation.

With the help of Stanford University, HVO has already added one new GPS station on Mauna Loa and plans to install more GPS and electronic borehole tilt stations in the next few months. The seismic coverage is good and able to detect any increase in seismicity that might take place. We will report any significant changes as they take place via both the media and our web site (hvo.wr.usgs.gov); updates will be on the web site by the time you read this article.

Eruption Update

Eruptive activity of Kilauea Volcano continued unabated at the Pu`u `O`o vent during the past week. Molten lava is flowing near the end of the Chain of Craters road, and the National Park Service is allowing visitors to get up close to the action where it is safe. The new ocean entry at Middle Highcastle between the older West Highcastle and Highcastle entries has developed a delta that measures 570 m (1,870 ft) along the coastline and extends 50 m (165 ft) beyond the old shoreline. We have received a disturbing report from a late night viewer of stupid people going beyond the boundary of the safe viewing area and on to the unstable bench of the active Wilipe`a ocean entry. Shortly after leaving the bench, the area collapsed into the sea!

No earthquakes were reported felt during the week ending on September 26.



The URL of this page is http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/2002/02_09_26.html
Contact: hvowebmaster@hvo.wr.usgs.gov

Updated: September 30, 2002 (pnf)

ANNEXE 4

SELECTED VOLCANO INFORMATION (SITE DE L'USGS)



Volcano Hazards Program -- *Reducing volcanic risk*

Volcano observatories Alaska Cascades Hawai'i Long Valley Yellowstone

Monitoring Warning schemes Emergency planning

SELECTED VOLCANO INFORMATION

About the Volcano Hazards Program

- [Priorities of the Volcano Hazard Program 1999-2003](#)
- [Publications of the Volcano Hazards Program 1999-2001](#) (PDF only)
- [Publications of the Volcano Hazards Program 1994-1998](#) (PDF only)

Publications Summarizing Historical Eruptions

- [Volcanoes of the World](#)
- [Alaska](#)
- [Mount Pinatubo, Philippines](#)
- [Mount St. Helens, Washington](#)
- [Mount Spurr, Alaska](#)
- [Calderas of the World](#)

Publications Summarizing Volcanic Regions or Volcanic Centers

- North America, [Summary of volcanoes and centers](#)
- North America, [a bibliography and searchable database, 1990-1997](#)
- Long Valley caldera and associated volcanic fields, [a bibliography and searchable database](#)
- [Hawaiian Volcanism](#) (also, see [submarine research](#))
- [Mauna Loa, Hawai'i](#)
- [Yellowstone Volcanic Field](#)

Topical Maps of US Volcanoes

- [Volcanoes of Alaska](#)
- [Geologic map of the Island of Hawai'i](#)

- [Geologic map of Long Valley Caldera and surrounding areas, California](#)
- [Map of hydrologic hazards at Mt. Rainier, Washington](#)
- [Lava flow hazards on the island of Hawai`i](#)

Topical Maps of Earth's Volcanoes

- [World map of volcanoes, earthquakes, and impact craters](#)

Aviation Safety and Volcanoes

- [Map of Air routes and Volcanoes](#)
- [Report from 1991 International Volcanic Ash and Aviation Symposium](#)
- [Pilot & Airline Training Video](#)

Volcano Hazard Reports

- [Alaska](#)
- [Cascade Range](#)
- [Island of Hawai`i](#)
- [Long Valley caldera, California](#)

General Volcanology

- [Encyclopedia of Volcanoes](#)

Computer Software

- [VolQuake](#): plotting and visualization software for volcanic earthquakes

Volcano Digital-Data Series DDS (photo CD-ROMS)

- Hawaii [\[Kilauea Volcano\]](#)
- Alaska [\[Wrangell Mountains & Cook Inlet\]](#) [\[Alaska Peninsula & Aleutian Islands\]](#)

Educational Video Programs

- [Understanding Volcanic Hazards](#)
- [Reducing Volcanic Risk](#)
- [Perilous Beauty - The Hidden Dangers of Mount Rainier](#)
- [At Risk: Volcano Hazards from Mount Hood, Oregon](#)
- [Volcanic ash avoidance -- flight crew briefing](#)

USGS Volcano Fact Sheets

Alaska			
Volcanic Ash--Danger to Aircraft in the North Pacific	FS-030-97	pdf	html
Can Another Great Eruption Happen in Alaska?	FS-075-98	pdf	html
Historically Active Volcanoes in Alaska—A Quick Reference	FS-118-00	pdf	html
The Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team (KVERT) <i>new</i>	FS-064-02	pdf	html
Arizona			
Red Mountain Volcano—A Spectacular and Unusual Cinder Cone in Northern Arizona <i>new</i>	FS-024-02	pdf	html
The San Francisco Volcanic Field, Arizona	FS-017-01	pdf	html
California			
Living With a Restless Caldera—Long Valley, California	FS-108-96	pdf	html
Invisible CO ₂ Gas Killing Trees at Mammoth Mountain, California	FS-172-96	pdf	html
Future Eruptions in California's Long Valley Area—What's Likely?	FS-073-97	pdf	html
Volcano Hazards of the Lassen Volcanic National Park Area, California	FS-022-00	pdf	html
Eruptions of Lassen Peak, California, 1914-1917	FS-173-98	pdf	html
How Old is "Cinder Cone"?—Solving a Mystery in Lassen Volcanic Park, California	FS-023-00	pdf	html
Scientific Drilling in Long Valley, California – What Will We Learn?	FS-077-98	pdf	
Hawai`i			
Living on Active Volcanoes—the Island of Hawai`i	FS-074-97	pdf	html
Volcanic Air Pollution—A Hazard in Hawai`i	FS-169-97	pdf	html
Explosive Eruptions at Kilauea Volcano, Hawai`i?	FS-132-98	pdf	html
Viewing Lava Safely—Common Sense is Not Enough	FS-152-00	pdf	html
Oregon			
Mount Mazama and Crater Lake: Growth and Destruction of a Cascade Volcano <i>new</i>	FS-092-02	pdf	html
Mount Hood—History and Hazards of Oregon's Most Recently Active Volcano	FS-060-00	pdf	html
Washington			
Mount St. Helens—From the 1980 Eruption to 2000	FS-036-00	pdf	html
Mount Rainier—Living with Perilous Beauty	FS-065-97	pdf	
Mount Baker—Living With an Active Volcano	FS-059-00	pdf	html
Glacier Peak—History and Hazards of a Cascade Volcano	FS-058-00	pdf	html
Cascade Range, Pacific Northwest			
Living With Volcanic Risk in the Cascades	FS-165-97	pdf	html
Other volcanoes and topical studies			
What are Volcano Hazards? (Spanish version, pdf)	FS-002-97	pdf	html
Volcanic Ash--A "Hard Rain" of Abrasive Particles	FS-027-00	pdf	html
Mobile Response Team Saves Lives in Volcano Crises	FS-064-97	pdf	html
The Cataclysmic 1991 Eruption of Mount Pinatubo, Philippines	FS-113-97	pdf	html
Benefits of Volcano Monitoring Far Outweigh the Costs--The Case of Mt. Pinatubo	FS-115-97	pdf	html
Lahars of Mount Pinatubo, Philippines	FS-114-97	pdf	html

| [Home](#) | [U.S. volcano activity](#) | [World volcano activity](#) | [Photo glossary](#) | [Highlights](#) |
 | [Search this site](#) | [Site index](#) | [Volcano observatories](#) | [Educator's page](#) |

U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, **Menlo Park, California, USA**
 URL <http://volcanoes.usgs.gov/Products/sproducts.html>
 Contact: [VHP WWW Team](#)

ANNEXE 5



Kilauea

Mauna Loa

Earthquakes

Other
Volcanoes

Volcanic
Hazards

About HVO

Products

PUBLICATIONS, MAPS, AND OTHER PRODUCTS

Hawai`i Bibliographic Database

- This [bibliographic database](#) has been created to contain all of the literature, from 1779 to the present, pertinent to the volcanological history of the Hawaiian-Emperor volcanic chain.

Online Publications About Hawai'i Volcanism and Seismicity

- Catalog of Hawaiian Earthquakes, 1823 – 1959 [USGS Professional Paper 1623](#)
- Sulfur dioxide emission rates of Kilauea Volcano, Hawaii, 1979-1997 [USGS Open File 98-462](#).
- The Probability of Lava Inundation at the Proposed and Existing Kulani Prison Sites, 1998, [USGS Open File 98-794](#).
- A Prototype Remote Video Telemetry System for Monitoring the Kilauea East Rift Zone Eruption, 1997, [USGS Open File 97-537](#).
- [Volcanic and Seismic Hazards on the Island of Hawai`i](#), reprinted 1997.
- [Eruptions of Hawaiian Volcanoes: Past, Present and Future](#), reprinted 1993.

Geologic and Other Maps on Hawai`i

- A list of [map references](#) in alphabetical order of the lead author, including an abstract or summary description.

USGS Facts Sheets on Hawaii

- **FS-152-00** Viewing lava safely—common sense is not enough
| [PDF](#) | [HTML](#) |
- **FS-132-98** Explosive Eruptions at Kilauea Volcano, Hawai`i?
| [PDF](#) | [HTML](#) |
- **FS-074-97** Living on Active Volcanoes--the Island of Hawai`i
| [PDF](#) | [HTML](#) |
- **FS-169-97** Volcanic Air Pollution--A Hazard in Hawai`i
| [PDF](#) | [HTML](#) |

Publications in 1997 by HVO scientists

- A list of [references published in 1997](#) in alphabetical order of the lead author, including an abstract.

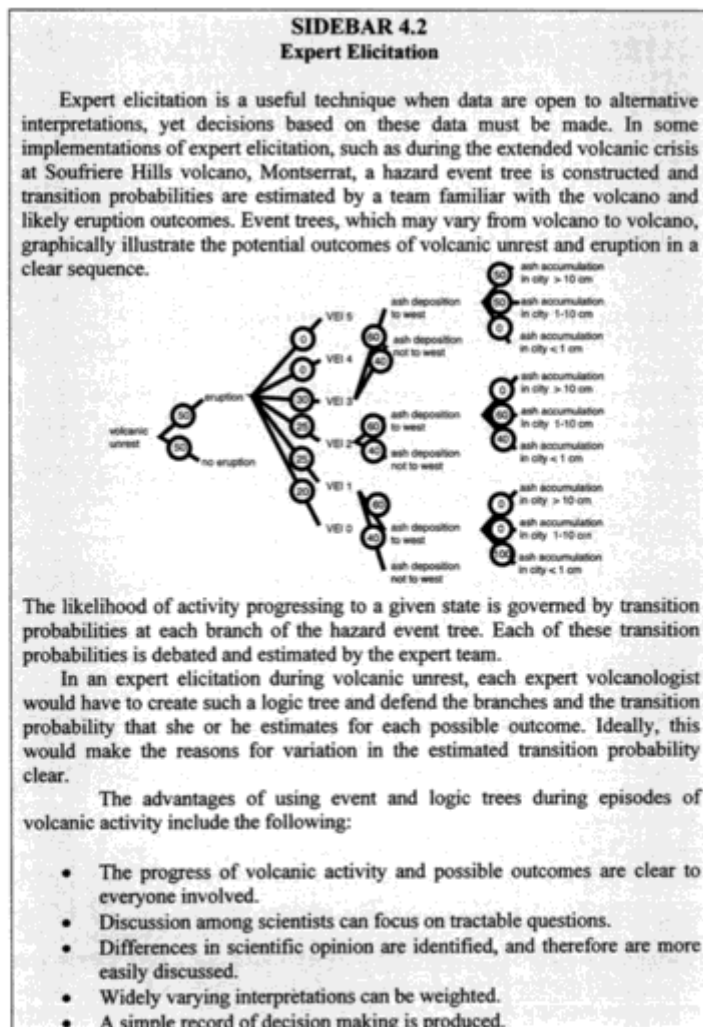
The URL of this page is <http://hvo.wr.usgs.gov/products/>

ANNEXE 6 EXPERT ELICITATION

Source : Review of the USGS's Volcano Hazards Program
<http://www.nap.edu/openbook/0309070961/html/74.html>

74

Review of the USGS's Volcano Hazards Program



ANNEXE 7

SYSTEME D'ALERTE UTILISE A LONG VALLEY



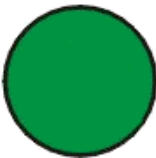

U.S. Geological Survey Volcano Hazards Program Long Valley Observatory



USGS LONG VALLEY CALDERA RESPONSE PLAN

The U.S. Geological Survey response plan for volcanic unrest in the Long Valley area is designed to improve communication about significant scientific information derived from monitoring measurements to local, state, and Federal civil authorities. The table shows a graded measure of the U.S. Geological Survey's concern about the possibility that a given level of unrest might threaten local communities with a volcanic eruption from within Long Valley caldera or along the Mono-Inyo Craters volcanic chain (it does not apply to regional earthquakes occurring in the tectonic regime outside the caldera or away from the Mono-Inyo Craters volcanic chain). This ranking offers civil authorities a framework they can use to gauge and coordinate their response to a developing seismic or volcanic crisis. Effective communication and coordination with emergency management officials are particularly important because the USGS has neither the authority nor the expertise to make decisions regarding the civil response to an evolving crisis.

The 4-level color-coded notification system below was developed in 1997 to replace a 5-level system devised in 1991 then modified in 2002 ([see references below](#)).

Color-Code Conditions and Associated USGS Response Long Valley Caldera and Mono-Inyo Craters Region, California

CONDITION	USGS RESPONSE ¹	ACTIVITY LEVEL	RECURRENCE INTERVAL ²
GREEN—No immediate risk 	Normal operations plus information calls to local and other authorities for weak through strong unrest as appropriate	Background or quiescence	Most of the time
		Weak Unrest	Days to weeks
		Minor Unrest	Weeks to months
		Moderate-to-Strong Unrest	Months to years
YELLOW (WATCH) 	Full calldown and EVENT RESPONSE ³	Intense Unrest	Years to decades
ORANGE (WARNING)		Full and calldown and EVENT RESPONSE ³ (if not already in place under	Accelerating intense unrest: eruption likely within hours to days

	YELLOW)		
RED (ERUPTION IN PROGRESS) 	Full and calldown and EVENT RESPONSE ³ (if not already in place under YELLOW OR ORANGE) Daily or more frequent updates on eruption levels	LEVEL 1: Minor eruption	Centuries
		LEVEL 2: Moderate explosive eruption	Centuries
		LEVEL 3: Strong explosive eruption	Centuries
		LEVEL 4: Massive explosive eruption	Centuries to millennia

¹USGS response for a given condition will include the responses specified for all lower conditions.

²Estimated recurrence intervals for a given condition are based primarily on the recurrence of episodes of unrest in Long Valley Caldera since 1980, the record of M>4 earthquakes activity in the region since the 1930's, and the geologic record of volcanic eruptions in the region over the past 5,000 years.

³ Event Response involves staffing the USGS field office in Mammoth Lakes for enhanced, on-site monitoring as well as staffing a field office in Bridgeport. See full description in [USGS Bulletin 2185](#).

Standdown Rules for Color-Code Conditions

CONDITION	EXPIRES AFTER*	SUBSEQUENT CONDITION
GREEN (No immediate risk) Weak Unrest Minor Unrest Moderate-to-Strong Unrest	1 day 2 days 3 days	GREEN Background Weak Unrest Minor Unrest
YELLOW (Watch)	14 days	GREEN (to appropriate Unrest level under green)
ORANGE (Warning)	7 days	YELLOW
RED (Alert: Eruption in progress)	1 day	ORANGE

*Number of days after the activity level falls below the threshold for a given **CONDITION**

References

Hill, D.P., Dzurisin, D., Ellsworth, W.L., Endo, E.T., Galloway, D.L., Gerlach, T.M., Johnston, M.J., Langbein, J., McGee, K.A., Miller, C.D., Oppenheimer, D., and Sorey, M.L., 2002, *Response Plan for Volcano Hazards in the Long Valley Caldera and Mono Craters Region, California*: [U.S. Geological Survey Bulletin 2185, 65 p.](#)

Hill, D.P., Johnston, M.J., Langbein, J.O., McNutt, S.R., Miller, C.D., Mortensen, C.E., Pitt, A.M., and Rojstaczer, S., 1991, *Response Plans for Volcanic Hazards in the Long Valley Caldera and Mono Craters Area, California*: U.S. Geological Survey Open-File Report 91-270, 64 p.

[Home](#) | [Current Condition](#) | [Monitoring Data](#) | [Volcano Hazards](#) |
[Photo Gallery](#) | [Area Maps](#) | [Geologic History](#) | [Response Plan](#)

U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, USA
 URL <http://vo.wr.usgs.gov/Response.html>

Contact: **Long Valley Web Team**

Last modification: 15 February 2002 (SRB)

ANNEXE 8

RESPONSE PLAN FOR VOLCANO HAZARDS IN THE LONG VALLEY CALDERA AND MONO CRATERS REGION, CALIFORNIA

By David P. Hill, Dan Dzurisin, William L. Ellsworth, Elliot T. Endo, D.L. Galloway, Terry M. Gerlach, Malcolm J.S. Johnston, John Langbein, Ken A. McGee, C. Dan Miller, David Oppenheimer, and Michael L. Sorey
USGS, Bulletin 2185, 2002

Summary

Persistent unrest in Long Valley Caldera—characterized by recurring earthquake swarms, inflation of the resurgent dome in the central sections of the caldera, and emissions of magmatic carbon dioxide around Mammoth Mountain—during the last two decades and continuing into the 21st century emphasize that this geologically youthful volcanic system is capable of further volcanic activity. This document describes the U.S. Geological Survey's (USGS) response plan for future episodes of unrest that might augur the onset of renewed volcanism in the caldera or along the Inyo-Mono Craters chain to the north. Central to this response plan is a four-level color code with successive conditions, GREEN (no immediate risk) through RED (eruption under way), reflecting progressively more intense activity levels as summarized in table 1 and 2 and described in detail in section II.

Key response activities specified under this plan include:

- Condition GREEN (background activity through strong unrest) involves informal information calls to scientists and officials within the USGS and to the California Office of Emergency Services (OES), the U.S. Forest Service (USFS), county, and city authorities regarding the nature of the activity and the associated condition as the level of activity increases through the four sub-categories under condition GREEN.
- Conditions YELLOW (intense unrest) and higher require the additional commitment of USGS resources and personnel. A condition YELLOW will trigger an EVENT RESPONSE (WATCH), which includes the following: (1) a formal notification (calldown) to all agencies affected, (2) activation of the USGS Long Valley Observatory (LVO) field office, which is located in the Mammoth Community Water District facility in Mammoth Lakes, as a base for intensified on-site monitoring and observation, and (3) assignment of authority to the USGS Scientist-in-Charge (SIC) for LVO to direct all USGS personnel engaged in the response. Section III describes the organization of LVO within the USGS and the LVO operational procedures for LVO.
- Condition ORANGE (WARNING) will be initiated when the geophysical data suggest that an eruption may break out within a few hours to days. Notification procedures are the same as those for condition YELLOW. A condition ORANGE will initiate the process for a formal GEOLOGIC HAZARD WARNING issued by the Director of the USGS.
- Condition RED will be triggered by the onset of eruptive activity, either in the form of phreatic (steamblast) or magmatic eruptions. Notification procedures for condition RED will be the same as those for condition ORANGE.
- STANDDOWN criteria specify a schedule for terminating a given condition after activity has fallen below the threshold for that condition level (see table 3 in section II).
(Draft templates for messages to announce transition to Conditions YELLOW, ORANGE, and RED appear in Appendix E.)

The nature and intensity of activity determining a condition level (color code) are based on recent activity within Long Valley Caldera since 1978,

as summarized in Appendix A, plus well-documented case histories of precursory activity to volcanic eruptions elsewhere in the world. Although such information provides an invaluable basis for judging whether activity may lead to an eruption, it is not sufficient in itself to support robust probabilistic calculations that activity associated with a given color-code will culminate in an eruption. Thus, lacking a record of precursory activity to earlier eruptions from the Long Valley Caldera-Mono Craters (LVC/MC) system (the most recent of which occurred about 250 years ago), we do not attempt to assign numerical probabilities that the activity associated with a given color code will lead to an eruption. In this regard, it is important to recognize that the criteria governing the transition between the above Conditions as spelled out in section II *serve as guidelines only*. Personal judgment and experience will inevitably play a critical role in decisions on the transition from one color-code to the next. Final decisions on color-code transitions rest solely with the LVO SIC in consultation with other scientists involved in the response, the LVO Science Advisory Team, and the USGS Volcano Hazards Team Chief Scientist (see section III).

ANNEXE 9

STAGED ALERT LEVELS IN CASCADE RANGE VOLCANOES IN WASHINGTON AND OREGON

D'après le site Internet de l'USGS

<http://volcanoes.usgs.gov/Products/Warn/WarnSchemes.html>

et le Mount Rainier Volcanic Hazard Response Plan, July 1999 (USGS, Pierce County Department of Emergency Management, Mt. Rainier National Park)

<http://www.co.pierce.wa.us/PC/abtus/ourorg/dem/EMDiv/Mt%20Rainier%20VHRP.htm>

Alert-level notifications will be accompanied by brief explanatory text to clarify hazard implications as fully as possible. Updates may be issued to supplement any alert-level statement. Alert-level assignments depend upon observations and interpretations of changing phenomena. Some volcanic events may not be preceded by obvious changes, or the observed changes may not be well understood; thus, surprises are possible, and uncertainty about timing and nature of anticipated events is likely. Alert levels are not always followed sequentially.

Notice of Volcanic Unrest Alert Level ONE

This alert level is declared by USGS-CVO when significant anomalous conditions are recognized that could be indicative of an eventual hazardous volcanic event. The most likely such anomalous condition would be sustained, elevated seismicity. A "notice of volcanic unrest" expresses concern about the potential for hazardous volcanic activity but does not imply imminent hazard. Among the possible outcomes are: (1) anomalous condition is determined not symptomatic of an eventual hazardous volcanic event, leading to cancellation of "notice of volcanic unrest;" (2) symptomatic activity wanes, leading to cancellation of the "notice of volcanic unrest;" (3) conditions evolve so as to indicate progress toward hazardous volcanic activity, leading to issuance of a "volcano advisory" or "volcano alert."

Hypothetical Notice of Volcanic Unrest:

U.S. GEOLOGICAL SURVEY AND UNIVERSITY OF WASHINGTON

Vancouver and Seattle, Washington

NOTICE OF VOLCANIC UNREST AT MT. RAINIER

Reported at 0800, Wednesday, April 1

An unusual flurry of earthquakes has been underway beneath Mt. Rainier since early yesterday. The earthquakes are small, mostly less magnitude 1.5; the only earthquake larger than magnitude 2, with $M=2.2$, occurred at 0538 (PDT) today. Nearly 60

earthquakes have been recorded so far, and the rate of occurrence has gradually increased from an average of about 1 earthquake per hour early yesterday to about 3 per hour this morning. Most are located in a diffuse zone centered beneath Mt. Rainier at a depth of about 4 to 6 km (2.5 to 4 miles) below sea level. For comparison, earthquakes beneath Mt. Rainier seldom exceed a few per month and most are located at a depth approximately equivalent to sea level. While the possibility of an eventual eruption is a concern, the intensity of this flurry is currently far less than that to be expected before an eruption, and there is insufficient evidence so far to clearly

indicate whether or not an eruption is a likely eventual outcome.

Volcano Advisory Alert Level TWO

This alert level is declared by USGS-CVO when monitoring and evaluation indicate that processes are underway that have significant likelihood of culminating in hazardous volcanic activity but when the evidence does not indicate that a life- or property-threatening event is imminent. This alert level is used to emphasize heightened concern about potential hazard. Among the possible outcomes are: (1) precursory activity wanes, leading either to cancellation of the "volcano advisory" or to a downgrade of alert level to "notice of volcanic unrest;" (2) conditions evolve so as to indicate that a life-threatening volcanic or hydrologic event is imminent or underway, leading to issuance of a "volcano alert." "Volcano advisory" statements, supplemented as appropriate by "updated volcano advisory" statements will clarify as fully as possible USGS-CVO understanding of the hazard implications.

Hypothetical Volcano Advisory:

U.S. GEOLOGICAL SURVEY AND UNIVERSITY OF WASHINGTON

Vancouver and Seattle, Washington

VOLCANO ADVISORY FOR MT. RAINIER

Reported at 1300, Monday, April 6

The swarm of earthquakes that began on March 31 beneath Mt. Rainier has gradually increased in intensity. Earthquakes large enough to be located have now increased to an average rate of about 15 per hour and include a few low-frequency volcanic earthquakes. About 10 percent now exceed magnitude 2; the largest, M=2.8, occurred on April 5 at 1817 (PDT). Most of the earthquakes are located within a diffuse zone centered beneath Mt. Rainier at a depth of about 4 to 6 km (2.5 to 4 miles) below sea level, but approximately 15 percent occur in a narrow zone extending upward into the volcano. So far, weather conditions have prevented measurements to detect ground deformation, but clearer weather this morning permitted a gas-measurement flight which showed a high discharge (still to be determined, but probably several thousand tons per day) of carbon dioxide. The earthquakes and gas emission, together, are

compelling evidence that magma is forcing its way upward through the shallow Earth's crust beneath Mt. Rainier and could eventually erupt.

In the short term, the rising magma may cause shallow explosions of the ground water that saturates the volcano. This may generate light ash falls and avalanches of rock and ice from steep slopes within and near Mt. Rainier National Park.

Accumulation of rising magma within Mt. Rainier could destabilize a flank of the volcano, causing it to collapse and generating a massive lahar that could inundate one

or more of the valleys that drain Mt. Rainier. An eruption, either with or without such a flank collapse, may produce pyroclastic flows or lava flows in and near Mt. Rainier National Park, far-reaching ash fall, and meltwater-generated lahars that could inundate any or all of the major valleys draining the volcano.

Volcano Alert Alert Level THREE

This alert level is declared by USGS-CVO when monitoring and evaluation indicate that precursory events have escalated to the point where a volcanic event with attendant volcanologic or hydrologic hazards threatening to life and property appears imminent or is underway. Depending upon further developments, a "volcano alert" will be maintained, updated, downgraded to a "volcano advisory," or canceled. A "volcano alert" statement will indicate, in as much detail as possible, the time window, place, and expected impact of an anticipated hazardous event. "Updated volcano alert" statements will amplify hazard information as dictated by evolving conditions.

Hypothetical Volcano Alert:

U.S. GEOLOGICAL SURVEY AND UNIVERSITY OF WASHINGTON

Vancouver and Seattle, Washington

VOLCANO ALERT FOR MT. RAINIER

Reported at 0700, Thursday, May 13

An intense burst of shallow earthquakes, ranging in magnitude up to $M=3.3$, began at approximately 2300 yesterday (May 12), and rapid ground deformation was recorded by tiltmeters at Gibraltar Rock and Liberty Ridge beginning at 0500 this morning. A helicopter flight at first light showed a new small lava mound or dome at Columbia Crest. Seismicity continues to be intense, including numerous low-frequency volcanic earthquakes. The new lava may be the gas-poor tip of ascending magma that first reached the surface this morning; gas-rich magma that could erupt explosively may reach the surface within a few hours or days. Its eruption may produce pyroclastic flows or lava flows in and near Mt. Rainier National Park, far-reaching ash fall, and meltwater-generated lahars that could inundate any or all of the major valleys draining the volcano.