

# Le MÉRAPI : la « Montagne de Feu » au centre de l'île de Java, en Indonésie

— Alain MELCHIOR\* —

*L'analyse a posteriori de la récente violente crise éruptive indique que la montée en puissance de l'éruption s'est produite en mode crescendo à partir du 30 octobre pour culminer au paroxysme meurtrier du 5 novembre. Par ailleurs, un des volcanologues indonésiens, Subandrio, avait bien anticipé les risques de la « Montagne de Feu » en proposant dès le 30 octobre une évacuation totale dans un rayon de 20 km autour du cratère. Comme d'autres qui l'ont précédée, cette crise éruptive semble avoir été gérée d'une façon satisfaisante par les autorités locales. Elle apportera à la communauté volcanologique indonésienne des éléments qui devraient permettre une amélioration sensible des plans/cartes d'évacuation dans les zones menacées par ce volcan très destructeur et meurtrier, mais qui est aussi magnifié en tant que divinité locale. Ce caractère divin est issu de sa contribution à la fertilité des sols dans cette partie centrale de l'île de Java*

## Contexte géologique du Merapi

Le Merapi, la « Montagne de Feu » en javanais, est le volcan le plus régulièrement actif parmi la vingtaine de ceux surveillés par le *Centre de Volcanologie d'Indonésie*. Il entre en éruption en moyenne tous les 4 à 5 ans et produit des éruptions paroxysmales, à intervalles irréguliers, environ tous les 25-30 ans. Il se situe dans une région très peuplée, à environ 25 km au Nord de la ville culturelle de Yogyakarta, connue pour son *Kraton* et ses deux temples prestigieux classés « patrimoine mondial de l'Humanité » par l'UNESCO, le temple hindouiste de Prambanam et le temple bouddhiste de Borobudur, situés à une trentaine de kilomètres du cratère.

Le Merapi est le volcan le plus jeune d'une chaîne d'édifices alignés NNO-SSE jusqu'au volcan Ungaran au Nord. L'édification du plus jeune de ces volcans a débuté au Pléistocène, vers 2,5 millions d'années, et s'est achevée, au stade actuel, il y a environ 2 000 ans, avec l'épisode d'un gigantesque effondrement qui a laissé un vaste escarpement arqué qui recoupe le vieux volcan érodé de Batulawang. Ultérieurement, la construction du Merapi, à pentes raides, a débuté au Sud-Ouest de cet effondrement.

D'un point de vue géodynamique, le Merapi fait partie de la chaîne volcanique de l'arc insulaire associée à la province magmatique de la Sonde-Banda issue de la subduction de la plaque indo-australienne sous la plaque eurasiennne (sous-plaque de la Sonde dans cette région). Cette zone de subduction est caractérisée par une fosse, un complexe d'accrétion, un bassin d'avant-arc et des volcans actifs quaternaires édiés sur la marge de la croûte proto-continentale appelée « *Sundaland* ».

## Topographie du Merapi

Le Merapi présente une topographie en forme de cloche présentant un angle d'inclinaison

\* L.A.V.E. Belgique.

moyen de 5° en-dessous de 1 300 m et de 15° vers le sommet qui culmine à ~ 2 968 m. La nature porphyrique des laves et l'alternance de dépôts de lahars et de coulées pyroclastiques formées d'un matériau non compacté et très poreux, qui s'érode facilement, lui vaut la qualification de *stratovolcan*. La morphologie du Merapi se caractérise aussi par une alternance de profondes vallées d'érosion de toutes tailles et de crêtes radiales.

Il existe deux champs fumerolliens de haute température à proximité du sommet du Merapi, Gendol et Woro, situés respectivement à 150 m et 250 m au S-E du dôme présent dans le cratère sommital. Les températures des fumerolles dans le champ de Gendol sont supérieures à 800 °C, alors que celles de Woro sont supérieures à 600 °C. Le SO<sub>2</sub> est continuellement exhalé dans les fumerolles sur le dôme de lave. En général, les volcans indonésiens n'exhalent pas de gros volume de SO<sub>2</sub>, même au cours d'une éruption, mais celle du Merapi en 2010 a dérogé à cette règle. Un pic de 100 000 tonnes de SO<sub>2</sub> émis par jour a été mesuré au plus fort de l'éruption.

## Nature des éruptions du Merapi

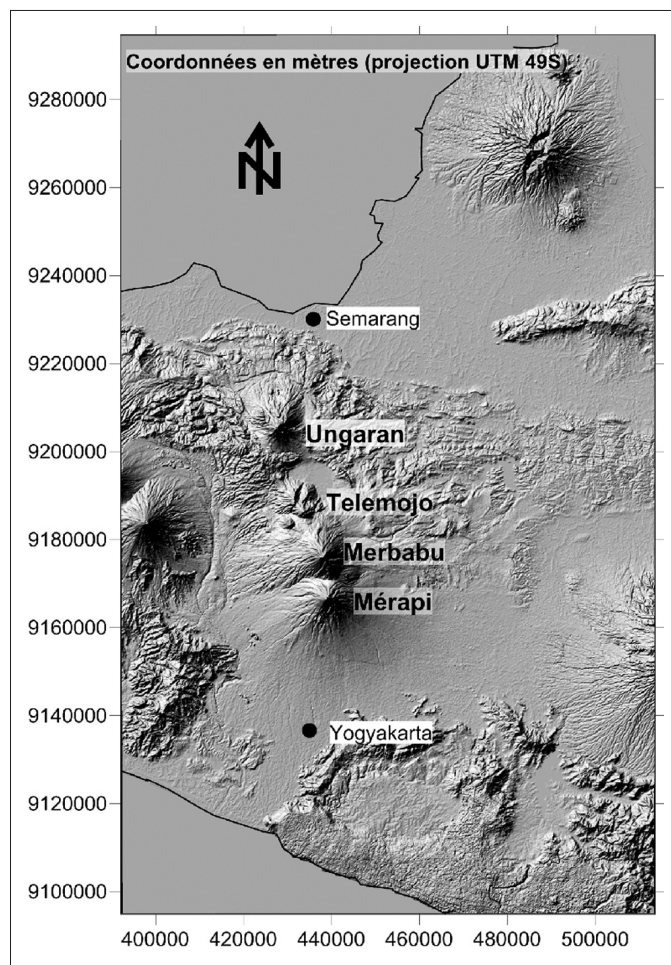
Le Merapi s'est d'abord comporté comme un stratovolcan classique, avec une alternance de phases d'épanchement de coulées de lave visqueuse et des explosions verticales vulcaniennes à sub-pliniennes qui pouvaient générer épisodiquement des flux pyroclastiques. Le volume total des produits émis par les éruptions du Merapi est estimé entre 100 et 150 km<sup>3</sup> avec un taux actuel d'effusion lavique égal à environ 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup> par mois au cours des cent dernières années. Toutefois, les observations géologiques suggèrent que le taux d'émission pourrait avoir diminué au cours de l'évolution du Merapi. Les épaisses et longues coulées de lave ont été progressivement remplacées par de plus petites, puis par des extrusions lentes au dôme sommital.

Sur la base d'études de terrain et de données géochronologiques, les géologues ont reconstitué l'histoire géologique du complexe volcanique en quatre périodes : le Merapi Ancien, Moyen, Récent et le Néo Merapi ou Merapi Moderne.

La période ancienne s'est étalée de  $\sim 40\,000$  à  $\sim 14\,000$  ans. La période récente a débuté il y a environ 2 200 ans lorsqu'un effondrement de type St. Helens suivi d'un *blast* (souffle) latéral a eu lieu. Au cours du cycle récent du Merapi, deux violentes éruptions magmatiques à phréatomagmatiques ont interrompu la croissance du volcan. Des dépôts phréatopliniens couvrent entièrement le cône. Des morceaux de charbon de bois trouvés dans ces dépôts ont pu être datés, par la méthode du  $C^{14}$ , à  $-2\,200$  et  $-1\,470$  ans. Des dépôts de cendres ultérieurs, nommés dépôts de cendres de Sambisari, ont été mis en place par de violentes coulées pyroclastiques dirigées vers le sud, emplacement actuel de la ville de Yogyakarta, en enfouissant le temple de Hindouiste Sambisari au début du XV<sup>e</sup> siècle. De nombreux autres temples Hindouistes, comme Prambanan, Kadisoko, Kedul-an, ont été retrouvés enfouis sous d'épais dépôts volcanoclastiques au Sud du Merapi, ce qui indique que les coulées pyroclastiques et les dépôts de déferlante de même nature sont susceptibles d'atteindre une longueur de 25 à 35 km. On pense qu'il existe encore de nombreux temples et autres vestiges à découvrir sous ces dépôts. La distance parcourue indique que le Merapi ne produit pas uniquement des coulées pyroclastiques suite à l'effondrement d'un dôme mais également des coulées pyroclastiques liées à des épisodes d'éruptions explosives modérées à fortes (type éruptif sub-plinien à plinien, VEI de 3 à 6). *Pour rappel, le VEI, défini en 1982 par Newhall et Self, est l'indice d'explosivité volcanique basé sur le volume de produits émis, la hauteur du panache éruptif et d'autres observations qualitatives.*

### Le Merapi moderne

Le Néo Merapi est caractérisé par la croissance persistante d'un dôme de lave à son sommet, connue comme activité de type Merapi. La croissance de ce dôme est interrompue périodiquement par des effondrements gravitationnels allant jusqu'à sa destruction totale en déclenchant des écoulements de blocs et de cendre associés à des déferlantes pyroclastiques. Exceptionnellement, des coulées pyroclastiques de type Saint-Vincent (où s'est produite une telle éruption le 7 mai 1902, sur l'île du même nom) sont générées en parcourant tous les flancs du volcan suite à l'écroulement d'une colonne éruptive riche en gaz et cendres (colonne sub-plinienne à plinienne) sur elle-même.



*Légende ?*

Depuis le milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, environ 80 éruptions ont été répertoriées et près de la moitié ont été accompagnées par l'effondrement du dôme et la production de coulées pyroclastiques. Environ 16 des éruptions historiques du Merapi, dont celle de 2006, ont causé des morts.

La plupart des événements pyroclastiques survenus au cours du XX<sup>e</sup> siècle ont été provoqués par des effondrements de dôme qui ont produit des quantités limitées de lave ayant parcouru des distances relativement courtes. Cependant, parfois, comme en 1930, les écoulements pyroclastiques liés à l'effondrement du dôme sont exceptionnellement importants. À cette occasion, ils ont parcouru environ 10 km depuis le sommet jusque dans des zones peuplées. Plusieurs études sur les dépôts ont révélé que de nombreuses éruptions survenues au cours du VII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècles ont été beaucoup plus violentes que celles du XX<sup>e</sup> siècle. Elles ont eu lieu à des intervalles irréguliers de plusieurs décennies identifiées en 1768, 1822, 1849, 1872 et 1930-1931. L'éruption de 1872 est la seule de type Saint-Vincent au cours de la période moderne, mais de nombreux dépôts attestent

que c'est un dynamisme éruptif très fréquent au cours des périodes antérieures. En 1872, tous les flancs du volcan ont été recouverts par des coulées de cendres et de fragments pyroclastiques. Un fait intéressant est que la construction de la colonne éruptive a été progressive et précédée, durant deux jours, par des événements spectaculaires qui ont été décrits comme des rugissements tonitrueux, un tremor volcanique intense et de plus petites explosions, ce qui explique le nombre relativement peu élevé de victimes. De nombreux habitants ont pu quitter la zone dangereuse avant que la phase d'intensité maximale de l'éruption ne survienne.

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, l'activité a été principalement caractérisée par la croissance de dômes de lave effusive et pâteuse ainsi que par l'émission de dômes coulées de lave visqueuse, avec parfois des effondrements gravitationnels de matériaux dus aux fortes pentes produisant des nuées ardentes, communément définies comme de type Merapi.

L'activité du XIX<sup>e</sup> siècle est conforme en revanche à la tendance à long terme de l'activité éruptive avec un événement relativement important tous les un ou deux siècles. Ainsi, le Merapi pourrait bientôt être le siège d'un autre événement important avec seulement des signes précurseurs modestes (ou mal appréciés). Cela pourrait conduire à une catastrophe sans précédent dans l'histoire du Merapi parce que la zone entourant le volcan est à présent beaucoup plus peuplée. La récente éruption d'octobre-novembre 2010 est-elle un signe précurseur de cette transition vers une activité éruptive plus explosive? Nul ne peut le confirmer actuellement.

Au contraire, l'éruption de 1930-1931, en dépit d'une émission de lave exceptionnellement élevée, a été relativement modérée, sans coulée pyroclastique durant 23 jours. En conséquence, la phase explosive cataclysmique fut inattendue, ce qui explique le grand nombre de décès (1 369 personnes). Un tel comportement du volcan a été lié à l'ouverture d'un événement à un endroit situé plus bas que d'habitude, au pied du dôme sommital ancien. L'ouverture de cette bouche excentrée aurait été provoquée par une fracturation hydraulique ou par la présence d'une zone préexistante de faiblesse ou encore par les deux. L'éruption a débuté après 11 mois d'augmentation de l'activité sismique. Ce type d'éruption sub-terminale semble être exceptionnel au Merapi.

L'absence de grandes éruptions d'ignimbrite (*type de ponce qui se propage en vastes nappes comme lors de l'éruption de la « Vallée des 10 000 Fumées », en Alaska, survenue en 1912*) suggère à la fois l'absence d'un grand réservoir profond et de longues périodes de repos volcaniques. À partir

des observations sismiques, on estime que le réservoir magmatique qui alimente les éruptions est situé à ~ 1,5 km au-dessous du sommet.

Les études pétrologiques récentes suggèrent que les éruptions les plus importantes du Merapi se déclenchent lorsqu'il y a introduction d'un magma juvénile (d'origine profonde), en général plus basique, dans la chambre magmatique où il se mélange plus ou moins complètement au magma résiduel. La chambre magmatique basculerait ainsi dans un état de déséquilibre thermodynamique qui favoriserait le déclenchement de l'éruption.

### La nature des roches du Merapi

La plupart des laves du Merapi appartiennent à un magmatisme d'affinité calco-alkaline; ce sont des andésites basaltiques riches en potassium (K), avec un pourcentage en SiO<sub>2</sub> de 52 à 57%. Cependant, des basaltes et des andésites existent, qui élargissent la gamme de composition de 49,5 à 60,5% en SiO<sub>2</sub>. Les laves sont très porphyriques (phénocristaux dans une matrice vitreuse et finement cristallisée), avec un pourcentage en phénocristaux variant de 22 à 62%.

L'assemblage minéralogique le plus courant est composé de plagioclase, de clinopyroxène (augite-salite), de hornblende brune, d'olivine (dans les basaltes), de titanomagnétite et d'orthopyroxène de type hypersthène (uniquement dans les andésites basaltiques). Ces grands cristaux sont intégrés dans une matrice vitreuse claire à brune. Les principaux minéraux accessoires, qui précipitent comme microcristaux, sont l'apatite, le feldspath alcalin et la tridymite (un quartz de haute température) au sein des minéraux interstitiels. La matrice est partiellement cristalline, avec des microlites essentiellement de plagioclases et de pyroxènes.

### La surveillance volcanologique du Merapi

L'institution chargée de surveiller en continu l'activité du Merapi est le MVO (*Merapi Volcanological Observatory*), situé à Yogyakarta. Le MVO est intégré dans la structure du CVGHM, anciennement VSI, *Centre de Volcanologie et de l'atténuation des risques géologiques*. La surveillance comprend les paramètres suivants: la sismicité, le volcanomagnétisme, la déformation, la géochimie, la surveillance visuelle de la morphologie et de l'évolution du dôme sommital, et éventuellement la détection de lahars lors des épisodes de l'éruption qui surviennent en saison des pluies. Par ailleurs, des analyses d'images satellitaires ou radar sont ponctuellement réalisées en période de plus forte activité.

La sismicité est considérée comme le paramètre le plus important pour estimer la probabilité d'une éruption au Merapi. Le réseau sismique est constitué de plusieurs sismographes

*Légende ?*

installés autour du volcan, ce qui permet aux volcanologues de localiser avec précision les foyers (hypocentres) du tremor et des divers types de tremblements de terre. Les signaux sismiques observés à la *Montagne de Feu* sont classés de la façon suivante : ceux de types A & B liés à l'ascension du magma, le type MP ou événements sismiques à phases multiples liés à l'activité du dôme, les séismes de longue période associés à la circulation des fluides à faible profondeur, le tremor ou vibration volcanique au cours de l'éruption et divers signaux LP correspondant aux éboulements.

Les mesures de déformation sont effectuées sur le terrain (dôme) par la technique EDM (*Electro-optic Distance Measurement*) et par la tiltmétrie qui utilise des appareils électroniques extrêmement sensibles, disposés sur les flancs du volcan. Ils mesurent en permanence les variations infimes de l'inclinaison des pentes de l'édifice volcanique avant de transmettre les données par télémétrie au MVO. Ces mesures permettent principalement de définir les phases d'inflation (gonflement) et de déflation de l'édifice qui indiquent indirectement l'ascension de magma visqueux dans les conduits éruptifs et puis son vidange au cours de l'éruption.

La surveillance géomagnétique du Merapi est effectuée depuis 1977 en collaboration avec des équipes françaises (IRD, IPGP) avec un ensemble de quatre stations de détection mises en place. Ces capteurs mesurent en permanence l'intensité du champ géomagnétique total avec un échantillon de données par minute.

La surveillance géochimique du Merapi est réalisée depuis 1984. Plusieurs points fixes sont situés dans deux secteurs des solfatares Gendol et Woro pour un échantillonnage en continu.

Depuis 1961, la seule modification de la forme du sommet a eu lieu à l'intérieur du cratère. L'alternance de formation du dôme et d'effondrement du dôme est fréquente. Étant donné que la direction des coulées pyroclastiques dépend fortement de la morphologie du sommet et de l'état et la position du dôme, l'observation visuelle du dôme sommital est indispensable. Des observations détaillées du cratère sont menées régulièrement par une équipe montant au sommet afin de réaliser des clichés du cratère et du dôme. Sur la base des photographies successives, l'évolution du dôme peut être alors reconstruite.

Le CVGHM a également établi six postes d'observation : Kaliurang, Ngepos, Babadan, Jarakah, Krinjing et Selo. Chaque poste est équipé d'un télescope qui permet d'observer les changements dans la partie supérieure du volcan, dont l'activité d'éboulements, leur origine, la direction et la distance parcourue par les avalanches, la localisation de l'édification du dôme et la hauteur de la colonne de gaz volcaniques.

### **Les lahars du Merapi**

Le lahar est l'un des dangers importants secondaires au Merapi. En 1975, un lahar dans la rivière Krasak a détruit le pont sur la route principale reliant les provinces de Yogyakarta et de Java central. Le 5 décembre 1996, sur la rivière Boyong, quatorze camions miniers ont été enfouis sous une coulée de boue. La mesure du volume du lahar est basée sur des estimations du volume de matériau meuble déposé sur les pentes. Certains détecteurs ont également été placés à proximité des lits de rivière et fonctionnent comme un système d'alerte précoce. Un événement de type lahar est habituellement déclenché par de fortes pluies, de sorte que le système est en alerte quand le volume de matière

atteint un certain seuil et lorsqu'il y a eu des précipitations de l'ordre de 50 mm/heure. Toutes les données sont transmises directement à la station de base de l'*Observatoire Volcanologique du Merapi* qui est situé à Yogyakarta. Les données sont traitées pour établir le niveau d'alerte du volcan sur une base quotidienne. Le MVO-CVGHM est également chargé de produire une carte des aléas du Merapi et la réviser si nécessaire.

### Les dangers du Merapi

Plus d'un million d'habitants sont menacés par le Merapi.

La menace directe est liée aux chutes de cendre, de blocs, et aux coulées pyroclastiques associées éventuellement à des déferlantes pyroclastiques qui sont produites par l'effondrement gravitationnel du dôme ou l'effondrement de colonnes éruptives lors d'éruptions (sub)-pliniennes.

Les menaces secondaires comprennent les coulées de boue (lahars) générées par le mélange de matériaux meubles ou peu compactés avec l'eau de pluie et par la pollution de l'air (acidification et gaz nocifs) et de l'eau (pluies acides).

Les zones potentiellement affectées par les effets d'une éruption sont cartographiées par le MVO-CVGHM. La carte divise la zone entourant le volcan en plusieurs zones basées sur les risques potentiels liés aux dangers de futures éruptions. Cette prévision se fonde sur l'état morphologique du Merapi. En outre, la prévision de la nature des dangers des éruptions du Merapi est estimée non seulement sur la base des éruptions observées au cours de la période moderne (Néo-Merapi), qui sont relativement de faible ampleur, mais aussi des éruptions beaucoup plus puissantes qui ont précédé. Il existe un large spectre de scénarios décrivant d'importantes éruptions du passé. La prédiction des éruptions futures doit en tenir compte, en gardant à l'esprit que le scénario le plus probable sera peut-être différent. Par exemple, la localisation d'une bouche peut bouger, ou un nouveau dôme peut apparaître et produire des coulées pyroclastiques associées qui partent dans une direction différente des éruptions précédentes.

De nombreux villages et de villes autour Merapi sont construites sur des dépôts issus de grandes éruptions explosives du Merapi. Près de 80 000 à 100 000 personnes vivent dans la zone interdite définie par Pardyanto en 1978. Cette zone a environ un rayon de 10 km à partir du sommet, principalement sur les flancs ouest et sud du volcan. Plusieurs centaines de milliers d'autres résidents vivent à quelques kilomètres en dehors de cette zone. Les habitants sont familiers des petits effondrements du dôme, mais peu ont connaissance que leurs maisons et

écoles sont construites sur des dépôts de beaucoup plus grande ampleur, relativement récents, issus d'éruptions explosives létales.

### L'éruption de 2006

Après une période de dormance de près de cinq ans, l'activité volcanique du Merapi a repris en juillet 2005 avec une augmentation du nombre de tremblements volcaniques accompagnée d'une déformation de la zone sommitale. Cet épisode de regain d'activité s'acheva par l'extrusion d'un dôme de lave en mars 2006. Cette éruption s'est déroulée en trois phases qui ont produit une séquence complexe de flux pyroclastiques composés de blocs et de cendres principalement orientés vers les flancs sud-ouest (mai 2006) et sud (juin 2006) du volcan. Contrairement aux dômes de lave sommitaux antérieurs à l'éruption de 2001, qui étaient principalement situés à l'intérieur du cratère de 1931, le dôme de lave du Merapi de 2006 s'est mis en place près de la bordure orientale du cratère de 1931, connu localement sous le nom de *Gegerbuaya*. La période de croissance du dôme de lave débuta en mars 2006, augmenta en avril et fut rapidement suivie par des périodes d'éboulements et de multiples écoulements pyroclastiques issus d'effondrements partiels du dôme en mai et en juin 2006.

La déformation du nouveau dôme de lave durant la première phase a été dominée par des avalanches de roches étant donné que le dôme n'était pas encore stabilisé.

Le volume du dôme de lave a été estimé à ~2,3 millions de m<sup>3</sup> le 22 mai 2006.

En raison de la présence d'une barrière topographique dans le secteur sud-est du cratère de 1931, les éboulements et les coulées pyroclastiques, issus des effondrements partiels périodiques du dôme durant la première phase de l'éruption du 5 au 27 mai, ont été principalement orientés vers le flanc sud-ouest du Merapi dans les vallées des rivières Krasak, Bedok et Boyong, avec des distances parcourues de moins de 4 km à partir de la zone sommitale.

La deuxième phase de l'éruption a été associée à un séisme de magnitude 6,3 le 27 mai, dont l'épicentre était situé à 35 km au Sud du Merapi. Immédiatement après cet événement, le taux d'extrusion de lave du Merapi a augmenté à 100 000 m<sup>3</sup>/jour. Le 4 juin, le dôme de lave sommital a atteint un volume de plus de 4 millions de m<sup>3</sup> et une hauteur de 116 m au-dessus de la crête du sommet. À la suite de l'effondrement partiel de la partie orientale de la crête Gegerbuaya, une augmentation du volume des coulées pyroclastiques successives et du matériel d'effondrement a été observée. Cette succession d'événements a permis aux flux pyroclastiques

d'emprunter un trajet différent et de se déverser sur les flancs sud et sud-est du Merapi, versants qui n'avaient pas été touchés par des coulées pyroclastiques depuis plus d'un siècle.

Durant la troisième phase de l'éruption, en juin, l'activité a eu lieu en deux périodes distinctes. Entre le 3 et le 12 juin, plusieurs écoulements pyroclastiques issus de l'effondrement du dôme ont affecté les flancs sud et sud-est vers la vallée de la rivière Gendol sur des distances inférieures à 4,5 km. Le 14 juin, l'activité a atteint un pic avec deux importants événements d'effondrement du dôme qui ont duré plusieurs dizaines de minutes en générant au moins deux coulées pyroclastiques, dans la vallée de la rivière Gendol, longues de 5 et 7 km. Ces écoulements ont causé deux décès et l'enfouissement partiel du village de Kaliadem. Cet événement a été précédé par un taux élevé d'extrusion de lave, un rehaussement du dôme puis un processus de débordement suivi de la déflation du dôme de lave. Après le 14 juin, le nombre et la fréquence des coulées pyroclastiques ont diminué jusqu'à la fin de l'éruption, au début de juillet.

### L'éruption de 2010

Le Merapi a donné les premiers signes de réveil aux alentours du 20 septembre. Le nombre de séismes volcano-tectoniques est passé de 5 à 38 par jour, alors que celui des secousses volcaniques passait de 1 à 11 par jour. C'est à ce moment que l'accès au sommet a été interdit par les autorités locales. À cette époque, deux mineurs travaillant dans une carrière de cendre furent tués suite à un glissement de terrain.

Durant la journée du 21 octobre, le cône volcanique s'est distendu de 8,5 cm et, le jour suivant, le taux de gonflement a grimpé à 16,4 cm. Dans le même temps, le nombre de séismes de type tremor a aussi augmenté, passant de 321 à 525 du 22 au 23 octobre. Le directeur du CVGHM/PVMBG, le Dr Surono, déclara que la déformation (mouvements de distension induisant un gonflement du cône) des pentes du volcan était beaucoup plus rapide par rapport au dernier épisode pré-éruptif de 2006, suggérant une accumulation de gaz sous plus haute pression et, par conséquent, l'éventualité d'une éruption plus explosive que celle de 2006. Il pensait que l'éruption pourrait être équivalente, en intensité, à celle de 1930 qui avait détruit 30 villages et provoqué la mort de plus de 1 300 personnes suite à des coulées pyroclastiques.

Des avalanches de blocs étaient émises du 23 au 24 octobre dans le lit de la rivière Gendol alors que près de 500 secousses sismiques affectaient la zone du volcan. Le niveau d'alerte a été porté à son maximum (4/4) à 6 h du matin le

25 octobre (23 h GMT), après que le taux de distension ait atteint un pic à 83 cm, indiquant qu'une éruption était imminente. «*Le magma est poussé vers le haut en raison de l'énergie sismique et il se trouve à environ 1 km sous le cratère*», précisa le Dr Surono. L'évacuation est décrétée pour les habitants vivant dans un rayon de 10 km autour du cratère situé au sommet du mont Merapi.

**26 octobre :** l'éruption attendue se déclenche vers 17 h, heure locale. Les premières victimes sont retrouvées dans le village de Kinahedjo situé à seulement 4 km du cratère et à un demi kilomètre de la rivière Gendol, qui draine le flanc sud du Merapi. Une trentaine de personnes, n'ayant pas voulu partir du village, seront retrouvées brûlées et asphyxiées dans cette zone. Elles ont été tuées principalement par les gaz à haute température d'une coulée pyroclastique qui a emprunté le lit amont de la rivière Gendol. Le gardien spirituel du volcan, âgé de 83 ans, est retrouvé parmi les victimes.

**29 octobre :** pour la première fois depuis le début de l'éruption, le cratère laisse échapper de la lave incandescente visqueuse. Les coulées pyroclastiques les plus longues parcourent 3,5 km depuis le dôme de lave sommital.

**30 octobre :** le Merapi produit une éruption de 22 minutes qui s'est révélée la plus violente depuis son réveil du 26 octobre. Le panache éruptif atteint une hauteur de 3,5 km au-dessus du cratère alors que des détonations semblables à des coups de tonnerre sont entendues jusqu'à 12 km du cratère. Selon un des volcanologues indonésiens, Subandrio, les autorités devraient envisager d'étendre l'ordre d'évacuation à un rayon de 20 km autour du volcan, contre 10 km jusqu'à présent.

**1<sup>er</sup> novembre :** une nouvelle éruption a lieu à 10 h 02 (heure locale), expulsant un panache éruptif à 1,5 km au-dessus du cratère et des coulées pyroclastiques dévalent vers l'Est ainsi que vers le Sud, le long notamment de la rivière Gendol, jusqu'à 4 km du cratère.

**3 novembre :** une nouvelle puissante éruption se produit pendant une heure, forçant les autorités à étendre la zone d'exclusion à un rayon de 15 km autour du cratère. Un total de 38 coulées pyroclastiques et 140 éboulements sont dénombrés de 0 h à 12 h (heure locale). La coulée pyroclastique la plus longue atteint une distance de 4 km en 4 minutes dans le lit de la rivière Gendol. Cette éruption est trois fois plus puissante que celle du 26 octobre qui avait tué 38 personnes.

**4 novembre :** une nouvelle éruption très puissante secoue l'édifice volcanique. Des jets de lave incandescente à 500 m de hauteur dans un rayon de 500 m sont observés.

**5 novembre :** c'est le pic de l'éruption ! Une éruption paroxysmale se déclenche peu après minuit et tue plus de 300 personnes suite à une coulée pyroclastique (associée à des déferlantes, «*surges*», pyroclastiques latérales) qui parcourt une distance d'un peu plus de 16,5 km à partir du cratère (fig. 3). Plusieurs lieux habités sont ravagés aux alentours de la rivière Gendol et le long de la route qui relie Yogyakarta à Kaliurang. Selon les volcanologues indonésiens, c'est la pire éruption depuis plus d'un siècle (depuis celle 1872) et elle aurait déjà produit la moitié du volume de matériaux émis lors de l'éruption paroxysmale du Galunggung en 1982, la plus importante de ces dernières décennies en Indonésie. Le bruit de l'explosion a été entendu jusqu'à 30 km du cratère.

Hormis les pertes tragiques en vies humaines, les dommages au bétail ainsi que les dégâts aux plantations et forêts situées sur les pentes sud du volcan sont énormes. Le risque pour la santé des personnes est de plus en plus élevé, notamment ceux liés aux problèmes respiratoires liés à l'inhalation de fines particules de cendre mêlées à des gaz nocifs. Par ailleurs, le risque de lahars destructeurs est de plus en plus élevé avec l'accumulation des matériaux volcaniques dans les lits des rivières majeures (Gendol, Woro, Kuning..) drainant les pentes méridionales et orientales du volcan.

Après cette date funeste, l'activité s'est poursuivie durant quelques jours avec une certaine virulence après la libération d'un énorme volume de matériaux éruptifs évalué à 50 millions de m<sup>3</sup> depuis le début de l'éruption. Près de 300 000 personnes se sont réfugiées dans des abris provisoires en attendant une amélioration de la situation. Aux environs du 8 novembre, l'activité a commencé à diminuer de manière significative et progressive. Elle s'est fortement ralentie à l'heure actuelle [NDLR : fin décembre] mais il faudra du temps avant de réparer les nombreux dégâts et soigner les plaies des corps et des âmes.

## Discussion

Cette éruption diffère des précédentes éruptions du Merapi par son dynamisme. Alors que pratiquement toutes les éruptions du XX<sup>e</sup> siècle ont été caractérisées par la croissance et l'effondrement gravitaire de dômes de lave, ce dernier phénomène produit des coulées pyroclastiques de façon généralement non-explosive, et les coulées affectent surtout les vallées drainant le volcan. Au contraire, l'éruption de 2010 a été purement explosive, de type sub-plinien. Les coulées pyroclastiques de 2010 ont été produites par effondrement de la colonne éruptive sous l'effet de sa densité supérieure à celle de l'atmosphère (coulée pyroclastique type Saint-Vincent dans la littérature). Ce type de coulées pyroclastiques est généralement plus mobile et à tendance à développer, par mélange avec de l'air atmosphérique réchauffé, une composante moins concentrée en particules et moins dense, mais plus turbulente et plus mobile. Cette composante, appelée déferlante pyroclastique, («*pyroclastic surge*» en anglais) peut déborder des vallées et franchir des obstacles topographiques qui canaliseront la partie principale plus dense de l'écoulement. La plupart des victimes de l'éruption ont péri brûlées ou asphyxiées par ces déferlantes. Ce changement de comportement, se marque aussi dans la très importante quantité de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) émis au cours de cette éruption. Les mesures effectuées au moyen des satellites OMI et IASI tournent autour d'un demi-million de tonnes de SO<sub>2</sub> émis en deux semaines, alors que les éruptions précédentes, caractérisées par la croissance de dômes de lave, n'émettaient pas significativement plus de gaz que les périodes de repos (200-500 tonnes par jour). Une interprétation de ce changement serait que du magma juvénile riche en gaz se soit injecté dans le système magmatique profond du volcan, alors que les éruptions précédentes n'impliquaient que des phénomènes plus superficiels, cristallisation fractionnée et «*second boiling*», d'un corps magmatique résiduel. □

Merci à Robin Champion (doctorant en volcanologie à l'Université Libre de Bruxelles) pour sa collaboration, en particulier pour le chapitre «*Discussion*».

## Bibliographie scientifique partielle :

- BERTHOMMIER P., 1990 - *Étude volcanologique du Merapi (Centre-Java). Téphrostratigraphie et Chronologie. Mécanismes éruptifs*. Thèse Doct. III<sup>e</sup> cycle, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 115 p.
- CAMUS G., GOURGAUD A., MOSSAND-BERTHOMMIER P.-C. & VINCENT P.-M., 2000 - *Merapi (Central Java, Indonesia): an outline of the structural and magmatological evolution, with a special emphasis to the major pyroclastic events*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 100, pp. 139-163.
- SISWOWIDJOYO S., SURYO I. & YOKOYAMA I., 1995 - *Magma eruption rates of Merapi volcano, Central Java, Indonesia, during one century (1890-1992)*. Bull. Volcanol. 57 2, pp. 111-116.
- VOIGHT B., CONSTANTINE E.K., SISWOWIDJOYO S., TORLEY R., 2000 - *Historical eruptions of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia, 1768-1998*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 100, pp. 69-138.