

KUWAE, L'ÉRUPTION VOLCANIQUE OUBLIÉE

L'IMMENSE CALDEIRA QUI GIT AU FOND DE L'OCÉAN PACIFIQUE ET LES AMAS DE PONCES QUI LUI SONT ASSOCIÉS TÉMOIGNENT D'UNE DES PLUS VIOLENTES ÉRUPTIONS VOLCANIQUES DE L'HISTOIRE RÉCENTE DE L'HUMANITÉ.

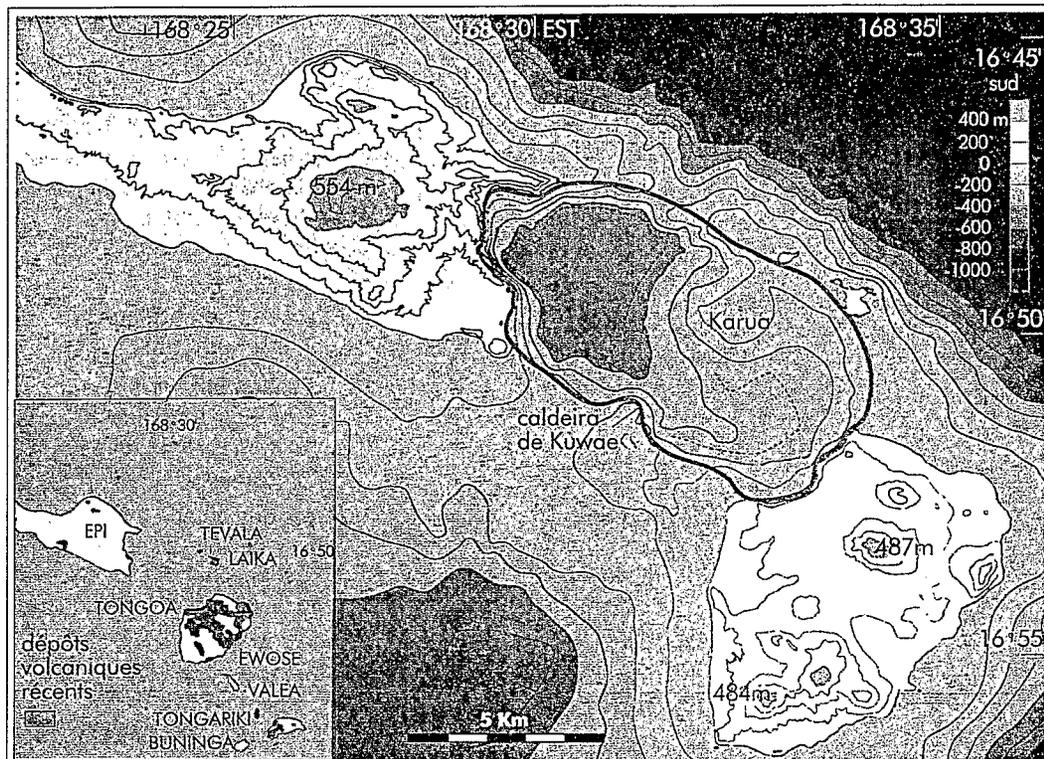


Figure 1. Coincée entre les îles de Tongoa et d'Epi, dans l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu, sud-ouest Pacifique), la caldeira de Kuwae est une vaste dépression bilobée allongée selon un axe nord-ouest sud-est, de douze kilomètres de long sur six de large, ce qui représente une surface d'environ soixante kilomètres carrés. Le volcan actif Karua édifié après la formation de la caldeira occupe une partie de son plancher, au sud-ouest de Tevala. Cette caldeira s'est formée vers l'an 1452 après Jésus-Christ. Le volume « perdu » de la caldeira a pu être calculé à partir des nouvelles données bathymétriques acquises par le navire océanographique de l'Orstom, Alis. Il est du même ordre de grandeur que le volume de magma émis au cours de sa formation, soit entre trente-deux et trente-neuf kilomètres cubes, ce qui en fait l'une des plus importantes éruptions que l'homme moderne ait connues.

Au xv^e siècle, l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu), dans le sud-ouest du Pacifique, a été le siège d'une gigantesque éruption volcanique. Aujourd'hui, les seuls vestiges de ce cataclysme sont une grande dépression qui git sur le fond de la mer, entre les îles de Tongoa et d'Epi, et d'épais dépôts, typiques d'un volcanisme explosif, recouvrant les îles avoisinantes (fig. 1). Bien que connu des géologues, des archéologues ou des ethnologues travaillant dans la région, l'absence d'étude volcanologique détaillée n'avait pas jusqu'à présent permis d'évaluer l'importance exacte de cet événement ni d'en comprendre le déroulement. Par ailleurs, les quelques datations dont disposaient les scientifiques étaient souvent mal interprétées.

Les études réalisées au cours des dernières années tant en mer qu'à terre par l'Institut français de la recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom) et les nouvelles datations au carbone 14 permettent de préciser sans ambiguïté l'âge et le déroulement de l'événement volcanique à l'ori-

gine de la caldeira de Kuwae. Il s'agit d'un événement majeur de l'histoire de la Terre puisqu'elle fait partie des sept plus importantes éruptions explosives des dix derniers millénaires, comparable, par son ampleur, à celle de Santorin en Grèce (3600 ans BP), ou du mont Mazama (Crater Lake) aux Etats-Unis (6845 ans BP)^(1,2,3).

RÉINTERPRÉTER LA TRADITION ORALE

Les premiers témoignages concernant l'éruption de Kuwae furent rapportés à la fin du xix^e siècle^(4,5). Divers récits et légendes transmis oralement par les autochtones expliquent de façon très imagée que les îles de Tongoa et d'Epi formaient autrefois une île beaucoup plus grande, appelée Kuwae, détruite partiellement lors d'un grand cataclysme sismo-volcanique. Ces récits rapportent que cet événement s'est produit « il y a environ dix ou douze générations avant 1900... ».

Il faudra attendre les années 1960 pour que le scénario s'étoffe. Les divers récits sur Kuwae transmis oralement et re-

cueillis par l'ethnologue français Jean Guiart à Tongoa, Makura et Tongariki — même s'ils diffèrent un peu dans les détails —, forment un ensemble cohérent dont voici une version simplifiée^(6,7) : « Tombuk fut trompé par les habitants de Kuwae qui le firent coucher à son insu avec sa mère, femme de mœurs légères. Désespéré par son geste incestueux, il décida de mourir en faisant périr les gens responsables de sa faute. Son oncle lui donna le moyen de réaliser sa vengeance sous la forme d'un lézard, véhicule de la puissance des volcans. Il organisa une fête qui dura six jours. Chaque jour, un porc fut sacrifié, dont il attacha la vessie gonflée d'air à l'arbre de fer (arbre local) sous lequel il avait caché le lézard enfermé dans un bambou. En faisant éclater successivement les quatre premières vessies, il causa un tremblement de terre de plus en plus intense. Quand la cinquième vessie éclata, Kuwae bascula et se brisa en morceaux. Lorsque Tombuk fit éclater la sixième vessie, un volcan surgit de terre à l'emplacement de l'arbre de fer et tous furent tués. Un enfant, Asingmet, échappa au cataclysme car il était occupé à piéger des oi-

seaux sur la côte vers Tongariki. Dès le début du cataclysme, il courut s'abriter dans un tambour (tronc d'arbre creusé) dressé sur la place de danse de Lakilia. Les cendres recouvrirent le tambour mais il resta vivant. L'éruption terminée, il chercha à faire un trou dans les cendres. Tarifegit, une femme qui avait aussi échappé à la catastrophe en se cachant dans une grotte côtière, entendit du bruit dans le tambour, retira les cendres et vit l'enfant en sortir... Ayant fait le tour de la nouvelle île de Tongariki, ils constatèrent qu'ils étaient seuls en vie. Plus tard, ils furent recueillis par les gens de Makura. Asingmet, devenu un homme sous le nom de Ti Tongoa Liseiriki, revint sur l'une des îles qui restaient de l'ancienne Kuwae, ap-

les cartes bathymétriques. Ces séismes et ces glissements de terrain engendrèrent des raz de marée (tsunamis), que mentionnent également certains récits. L'éruption entra ensuite dans sa phase paroxysmale, au cours de laquelle périrent tous ceux demeurés sur Kuwae, à l'exception de deux d'entre eux qui trouvèrent refuge sur un îlot situé au sud-est de l'actuelle île de Tongoa. Cette éruption fut cependant suffisamment brève pour leur permettre de survivre. Enfin, dans les années qui suivirent l'éruption, les habitants revinrent s'installer sur ce qui restait de l'ancienne île de Kuwae. Les données concernant cette éruption étaient, jusqu'à très récemment, peu nombreuses et contradictoires ; une cer-

tiques et minières⁽⁶⁾, entre 400 ans avant Jésus-Christ et 1425 après Jésus-Christ pour Andrew Warden du New Hebrides Geological Survey⁽⁹⁾, etc. C'est l'étude détaillée de la caldeira de Kuwae et des dépôts volcaniques associés, entreprise depuis 1990 dans le cadre du programme d'étude et de surveillance des principaux volcans actifs de Vanuatu (ex Condominium des Nouvelles-Hébrides), par notre équipe (UR14 du département Terre-Océan-Atmosphère de l'Orstom) qui nous a permis de reconstituer le déroulement de l'éruption^(2,3). A la base, un ensemble épais d'environ quarante mètres montre une alternance de niveaux hydro-magmatiques (résultant d'interactions entre le magma et l'eau de mer) et de retombées pliniennes (c'est-à-dire issues d'un panache volcanique).

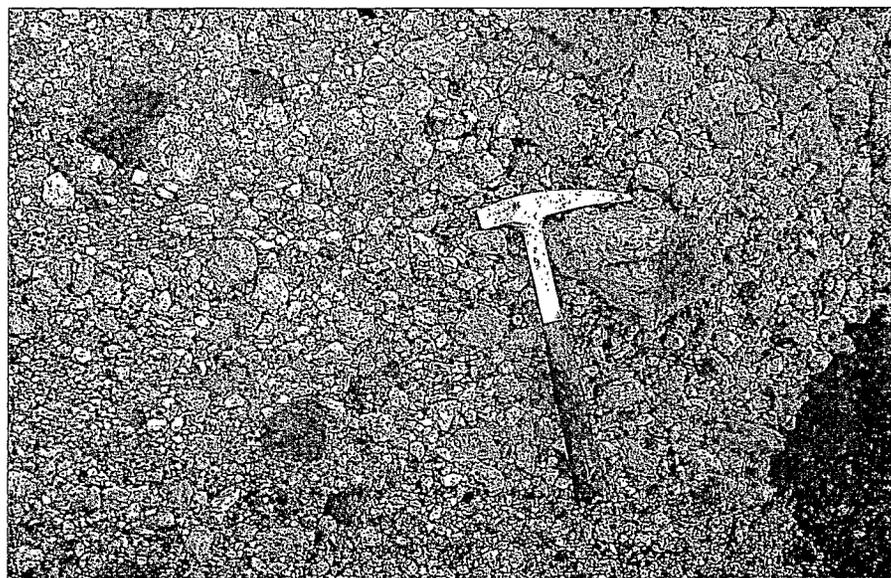


Figure 2. L'interaction entre le magma et l'eau de mer a un rôle primordial dans le déclenchement, et tout au long de l'éruption volcanique à l'origine de la caldeira de Kuwae. Les produits liés à l'effondrement des deux lobes de la caldeira forment des dépôts dits « pyroclastiques » (ignimbrites, tufs, retombées de cendres et/ou de ponces, etc.) qui ceinturent la caldeira. L'ignimbrite représentée ici s'est mise en place lors de la phase liée à l'effondrement du lobe sud-est de la caldeira. Elle correspond à l'émission brutale d'une émulsion riche en magma frais (ponces et blocs vitreux), en gaz et en cendres, contenant des éléments rocheux arrachés à l'encaissant lors de l'élargissement du conduit d'alimentation au début de la phase paroxysmale. La mise en place de cette coulée s'est faite à température suffisamment élevée pour carboniser des arbres entiers. C'est l'analyse du carbone 14 dans ces charbons de bois qui a permis d'estimer l'âge de cette éruption : 1420-1430 après Jésus-Christ. (Cliché J.-P. Eissen)

taine confusion régnait même quant à la date de l'éruption : entre 1320 ± 80 et 1475 ± 85 après Jésus-Christ pour l'archéologue José Garanger⁽⁷⁾, entre 1760 et 1800 pour le géologue Jean-Jacques Espira du Bureau de recherches géolo-

UNE ÉRUPTION D'UNE GRANDE VIOLENCE

Ces dépôts, qui précèdent la formation de la caldeira, correspondent probablement à quelques mois d'une activité relativement modérée avec émission d'un magma basaltique à partir d'un événement central. La fin de cet ensemble est marquée par le passage de magmas basaltiques à des magmas plus acides (dacitiques). Suivent alors deux épaisses séquences dacitiques, directement liées à la formation de la caldeira. Chacune d'elles débute par des dépôts hydro-magmatiques, témoignant encore une fois de l'importance des interactions entre le magma et l'eau de mer. La première séquence, qui correspond pour l'essentiel à l'émission de coulées de ponces et de cendres (« ignimbrites », fig. 2), atteint localement plus de trente mètres d'épaisseur. Son dépôt est immédiatement suivi par l'effondrement du lobe sud-est de la caldeira. La seconde séquence, qui s'est déposée immédiatement après la précédente, est formée de tufs soudés, et précède quant à elle l'effondrement du lobe nord-ouest de la caldeira. Ces tufs, affleurent remarquablement bien sur Laika sur plus de soixante-dix mètres de hauteur. Un niveau de retombées pliniennes d'une dizaine de mètres d'épaisseur marque la fin de l'éruption. Par analogie avec des éruptions historiques mieux connues (comme celle du Krakatau), la durée totale de la phase paroxysmale de l'éruption n'a probablement pas excédé quelques jours, ce qui expliquerait qu'il ait pu y avoir deux survivants.

Le volume de magma émis au cours de l'éruption est du même ordre de grandeur que le volume de la caldeira, soit entre trente-deux et trente-neuf kilomètres cubes. A titre de comparaison, le volume de magma émis lors de la formation de la caldeira minocénne de Santorin est de l'ordre de vingt-sept à trente

pelée depuis Tongoa (nom venant d'une plante épineuse dite « worotonga » qui fut la première à repousser sur l'île). Puis les gens qui s'étaient réfugiés à Efate dès le début du cataclysme revinrent peu à peu s'installer à Tongoa. »

En dépit du mélange de faits réels et imaginaires que comporte inévitablement ce « témoignage » (dont il existe d'autres exemples en Mélanésie⁽⁸⁾), il nous fournit des informations primordiales sur le déroulement du cataclysme. Tout d'abord, l'éruption a été précédée de plusieurs séismes d'intensité croissante, donnant ainsi à la majorité des habitants de Kuwae le temps de quitter l'île. Ils rejoignirent en pirogue l'île d'Efaté où subsiste encore de nos jours une partie de leurs descendants. Par ailleurs, « l'île bascula et fut brisée en plusieurs morceaux » avant la phase paroxysmale. D'importants glissements de terrain (aériens et sous-marins) ont effectivement eu lieu, en réponse aux secousses ébranlant les flancs de l'île de Kuwae, ainsi qu'en témoignent les nombreuses cicatrices d'arrachement encore visibles sur la plupart des îles et îlots de cette région et sur

- (1) J.P. Eissen et al., I.A.V.C.E.I. General Assem. Canberra, 199
- (2) M. Monzier et al., J. Volcan. Geothermal. Res. 59, 207, 1994
- (3) C. Robin et al., Bull. Volcanol., 56, 170, 1994.
- (4) G.C. Frederick, Quaternary. J. Geol. Soc., Sydney, 49, 227, 1893
- (5) B. Hébert, Études Mélanésiennes, Nouméa, 71-98, 1966.
- (6) J.J. Espirat et al., Mémoire de l'Institut d'Ethnologie, vol. 10, 1973.
- (7) J. Garanger, Publication de la Société d'Océanistes, n° 30, 1972.
- (8) R. Blong, The Time of Darkness, ANU Press, Canberra, 1982.
- (9) A.J. Warden, New Hebrides Geol. Survey Regional Report 5, Port Vila, 19 et N.H.G.S. Sheet 8, 1972.
- (10) R.J. Delme et al., Tellus, 44B, 335, 1992.
- (11) C.U. Hammer et al., Nature, 228, 230, 1992.
- (12) V.C. La Marche et K.K. Hirschboe, Nature, 307, 121, 1992.
- (13) K.D. Pang, EOS, 74, 43, 106, 1993.

kilomètres cubes, celui lié à la caldeira du Krakatau, d'environ dix kilomètres cubes.

De nouvelles datations au carbone 14 effectuées sur des bois carbonisés retrouvés dans les coulées de ponces ont permis de situer la période au cours de laquelle s'est produite cette éruption vers 1420-1430 après J.-C. (à quelques dizaines d'années près)⁽⁹⁾. La présence d'une anomalie en soufre et en chlore dans les glaces des carottes de l'Antarctique en 1452⁽¹⁰⁾ et du Groenland en 1453⁽¹¹⁾, un hiver 1453 rigoureux dans l'ouest des Etats-Unis déduit d'études dendrochronologiques⁽¹²⁾ ainsi que diverses manifestations météorologiques anormales rapportées dans les écrits de l'époque⁽¹³⁾ permettent de penser que la phase paroxysmale de cette éruption s'est produite plus précisément vers l'an 1452 (± 1 an).

La formation de la caldeira de Kuwae est ainsi une des éruptions volcaniques les plus importantes que l'homme moderne ait connues par la surface de la zone effondrée (soixante kilomètres carrés), l'amplitude de cet effondrement (au moins six cents mètres) et le volume de magma éjecté (entre trente-deux et trente-neuf kilomètres cubes). De par sa taille et sa jeunesse, la caldeira de Kuwae est un exemple exceptionnel pour l'étude de ce type original d'activité volcanique, car situé juste à l'interface terre-mer. Elle fait ainsi l'objet d'un projet de campagnes océanographiques pour l'étudier plus en détails, à partir de la surface et au moyen d'un submersible afin de mieux évaluer son impact régional et de mieux comprendre les mécanismes de la mise en place sous-marine des dépôts volcaniques qui lui sont liés et qui sont maintenant bien connus à terre.

Les recherches entreprises par notre équipe montrent que toutes les grandes caldeiras des îles de Vanuatu (Ambrym, Santa Maria, Vanua Lava, etc.) résultent d'événements cataclysmiques dont Kuwae n'est que l'exemple le plus récent et l'un des plus remarquables. Ces caldeiras sont le résultat d'éruptions très violentes, déplaçant à chaque fois plusieurs dizaines de kilomètres cubes de matériel, y compris pour celles formées sur des volcans essentiellement basaltiques. Ce qui constitue un type de volcanisme explosif original peu connu jusqu'alors. Le rôle fondamental joué par les interactions explosives entre le magma et l'eau dans les dynamismes éruptifs observés à partout été mis en évidence. C'est en cela que réside l'originalité de ces volcans mais également le risque majeur qu'ils font courir à toute cette région.

JEAN-PHILIPPE EISSEN, MICHEL MONZIER
ET CLAUDE ROBIN

ORIGINE DE LA VIE :

COMMENT LES PREMIERS ACIDES NUCLÉIQUES
SE SONT-ILS MULTIPLIÉS À L'AUBE DE LA VIE ? DES CHIMISTES
ESSAIENT DE RÉPONDRE À CETTE QUESTION GRÂCE
À DES SYSTÈMES BIOMIMÉTIQUES.

« L'apparition de la vie ? Une folie passagère, une frasque, une fantaisie des éléments, une toquade de la matière » telle est du moins l'opinion du moraliste Emile Cioran⁽¹⁾. Si les événements à l'origine de l'émergence de la vie sur Terre restent encore mystérieux, les scientifiques, qui ne se satisfont pas d'explications poétiques, explorent depuis quelques années de nouvelles pistes qui se révèlent prometteuses (voir « Aux frontières de la vie » dans *La Recherche* de mars 1992). Le chimiste américain Stanley Miller avait effectué dans les années 1950 les premières expériences de reconstitution d'une « soupe primitive », dans laquelle les molécules constituant la matière vivante auraient été synthétisées. Cette hypothèse se révèle aujourd'hui improbable et il apparaît plus vraisemblable que ces molécules se soient formées à la surface de certains minéraux⁽²⁾. Dans cette optique, l'une des questions centrales est de savoir comment sont apparues, voici 4,5 milliards d'années, des molécules capables de s'autoreproduire en l'absence d'enzymes, condition indispensable pour que l'information génétique puisse être transmise.

Deux équipes, l'une en Allemagne et l'autre en Californie, ont récemment mis au point des systèmes « biomimétiques », c'est-à-dire dans lesquels des acides nucléiques se multiplient *in vitro*, qui permettent d'étudier cette question^(3,4). Les acides nucléiques (ADN, acide désoxyribonucléique, et ARN, acide ribonucléique) sont le support de l'information génétique ; ce sont des polymères de nucléotides. Ceux-ci se divisent, en fonction de leurs structures chimiques, en purines (adénine et guanine) et pyrimidines (cytosine, tyrosine et uracile). Les acides nucléiques s'associent par des liaisons hydrogènes spécifiques entre les nucléotides et forment des structures en double hélice : ces associations spécifiques sont la base physique de l'hérédité. Un des scénarios vraisemblables pour expliquer l'apparition de molécules porteuses de l'information génétique est celui d'un « monde d'ARN », proposé en 1986 par le biochimiste américain W. Gilbert⁽⁵⁾. Dans cette hypothèse, l'ARN se serait formé en premier grâce à l'enchaînement de nucléotides et aurait joué, dans les cellules primitives, le rôle de l'ADN et celui des protéines, en particulier en possédant une activité cataly-

tique. Par la suite, dans les cellules plus évoluées, la conservation de l'information génétique aurait été prise en charge par l'ADN, chimiquement plus stable que l'ARN, et l'activité catalytique serait principalement devenue le fait des protéines ; l'ARN sert aujourd'hui de relais entre les deux, sous forme d'ARN messager et de constituant essentiel des ribosomes, qui sont les « machines » à fabriquer les protéines.

J. Ferris et ses collaborateurs, de l'institut polytechnique Rensselaer, dans l'Etat de New York, ont établi à la fin de 1993 que de petits polymères de nucléotides (oligonucléotides) se forment par une catalyse non biologique⁽⁶⁾. Le dispositif consiste en une solution aqueuse de nucléotides, rendus artificiellement plus réactifs que les nucléotides naturels, agitée en présence de montmorillonite, à pH égal à 8. La montmorillonite est une argile naturelle acide, couramment utilisée en chimie organique comme catalyseur, sur laquelle se fixent les nucléotides avant de réagir pour former de petits polymères. Des oligonucléotides comprenant jusqu'à onze éléments, ont été détectés. Il est intéressant de noter que, dans les acides nucléiques formés, les nucléotides sont majoritairement reliés par des liaisons identiques à celles trouvées dans les ARN et les ADN biologiques. La formation initiale de petits polymères de nucléotides est donc possible selon un schéma simple.

Toutefois, pour valider l'hypothèse du « monde d'ARN », il faut aussi trouver un mécanisme plausible pour la réplication des acides nucléiques en absence d'enzyme. Le chimiste américain L. Orgel, pionnier des études sur la réplication *in vitro* des acides nucléiques, avait montré dès 1983 que des nucléotides s'assemblent pour former le brin complémentaire d'un acide nucléique riche en pyrimidines⁽⁷⁾. En revanche, un acide nucléique riche en purines ne peut pas diriger la formation du brin complémentaire. En outre, les deux brins d'une double hélice d'ADN sont trop fortement liés pour recommencer spontanément le processus : il n'y a donc pas de réplication. Pour surmonter ces difficultés, il est nécessaire d'employer de petits acides nucléiques, au lieu de simples nucléotides. Très récemment deux chimistes californiens, T. Li et K. Nicolaou de l'institut de recherche Scripps, sont partis d'une