

NOTE A PROPOS DES PETITS GEYSERS ET SOFFIONI DE MAHATSINJO

(Massif volcanique de l'Itasy, Madagascar)

par

J. N. SALOMON

A 70 km à l'WSW de Tananarive, le massif de l'Itasy est un véritable musée de formes volcaniques simples. A ce titre, il est fréquemment visité par les géographes malgaches ou étrangers (R. Battistini et G. Donque, 1963). Nous pensons que ces excursions méritent de faire un détour jusqu'au site de Mahatsinjo.

I. LE SITE DE MAHATSINJO

Mahatsinjo se situe sur la rive gauche de la rivière Mazy qui passe à Analavory. Cette rivière a eu autrefois son cours obstrué par des constructions et coulées volcaniques mais elle a réussi à percer le barrage par l'intermédiaire d'une petite gorge latérale, véritable trait de scie qui se prolonge jusqu'aux environs des Mahatsinjo. Ce lieu-dit se situe à 1,5 km environ en aval du pont de la piste qui va d'Analavory à Tsiroanomandidy. Il y a là plusieurs griffons sourdant des fissures de gneis de la rive gauche.

L'intérêt de ces sources est multiple. L'une d'elles est un véritable petit geyser ; une autre se comporte en *soffione*. Ces sources chaudes marquent le dernier stade de la perte de chaleur de masses en fusion et se produisent là où les eaux chaudes montantes d'un système thermal sortent des conduits souterrains. La très grande majorité des sources évacuent les eaux d'une façon « normale » c'est à dire non éruptive. Mais, selon certaines conditions de température, de débit de la source, de taille et de forme des conduits souterrains, certaines sources jaillissent très haut (*soffioni*). Dans certaines sources chaudes toutefois, les conduits souterrains sont trop étroits ou bien les arrivées d'eau chaude ou de vapeur sont trop importantes pour permettre une arrivée régulière. Il en résulte des périodes éruptives. Ces sources très spéciales sont appelées *geysers*, du mot islandais *geysir* qui signifie « fureur » ou encore « jaillissement ».

A Mahatsinjo, toutes les sources sont bicarbonatées calcique, bicarbonatées sodiques et magnésiennes, sulfatées, chlorurées sodiques très chargées en gaz carbonique (P. Bussière, 1961). A proximité des griffons, la vie de la végétation a été interrompue par l'arrivée de l'eau et de nombreuses plantes ont été pétrifiées. Après des siècles d'activité, les couches de travertin ont construit des planchers successifs. Les dépôts sous-jacents sont relativement anciens car ils sont recouverts par une épaisse couverture d'alluvions et de colluvions. Ces dépôts anciens sont constitués par une aragonite en masses concrétionnées à fibres très longues et serrées. Ces dépôts sont très souvent lités, chaque couche représentant généralement au moins 5 cm d'épaisseur.

Cette aragonite fibreuse, véritable onyx translucide et pouvant être utilisée comme pierre d'ornementation, est malheureusement exploitée. En effet, les travaux semblent menés de façon débridée, sans aucun souci de préservation du site. Celui-ci est menacé de destruction à très court terme car sa surface est restreinte : 40 à 50 m de longueur pour une vingtaine de mètres de largeur. L'ensemble domine de quelques mètres le cours de la Mazy.

II. L'ACTIVITE GEYSERIEENNE

Cette activité est liée à des conditions tout à fait spéciales.

A — *Tout d'abord, il faut de la chaleur*

On sait que l'augmentation de la température au sein de la terre est fonction de la profondeur : c'est le *gradient thermique* qui est en moyenne de 1°C tous les 60 m. Mais, dans les régions d'activité thermique, le gradient est beaucoup plus rapide (1). Cette chaleur est engendrée par la dégradation des éléments radio-actif (uranium, thorium, potassium, etc...) qui sont présents en faibles quantités dans presque toutes les roches de l'écorce terrestre. Dans certains cas, la température atteint le point de fusion de la roche en place. De tels secteurs très chauds se produisent quand :

- le pourcentage en éléments radio-actifs est très élevé.
- les conditions normales de pression sont modifiées par des alternances de compression et de décompression au sein de la roche.
- des matériaux en fusion remontent de grandes profondeurs comme c'est probablement le cas à Mahatsinjo.

Quelle qu'en soit la cause, le résultat est l'accumulation d'une formidable poche de roches en fusion, enfermée dans une profonde chambre souterraine. A Mahatsinjo, cette poche, ou magma, est sans doute contemporaine de la mise en place des derniers volcans, mais elle met très longtemps à se refroidir et, pendant ce temps, de grandes quantités de chaleur sont transmises à travers les roches qui forment le toit de la chambre du magma. La «chaudière» se tient probablement sous les sources, à quelques centaines de mètres seulement.

B — *Deuxième nécessité : il faut de l'eau*

Pratiquement, toute l'eau vient de l'atmosphère (eau météorique) et très peu du magma (eau magmatique). Cette eau pénètre dans les roches par l'intermédiaire de fractures et conduits. Le mécanisme qui permet l'échauffement de l'eau est encore sujet à des incertitudes. On a longtemps pensé que l'échauffement se produisait à faible proximité de la surface et était provoqué par des gaz chauds (vapeurs notamment) montant de la chambre magmatique (A. Rittman, 1963). Toutefois, des forages profonds effectués dans plusieurs zones thermales permettent d'avancer une meilleure explication (W.R. Keefer, 1971). Selon celle-ci, les eaux de surface s'infiltrèrent jusqu'à des profondeurs où elles atteignent des températures loin au-dessus de leur point d'ébullition de surface. L'augmentation de la température avec la profondeur s'accompagne d'une

1). Dans le parc national de Yellowstone (Etats-Unis), il est huit cents fois plus rapide.

baisse de poids (densité) de l'eau. C'est à cause de cela que l'eau chaude (plus légère) remonte vers la surface, repoussant l'eau froide (plus lourde) proche de la surface et qui s'infiltré. Ce faisant, il se produit dans ce mécanisme un courant de convection qui opère en permanence.

Le rôle de la pression sur la température d'ébullition de l'eau joue également un rôle vital. A la surface, il s'agit de la pression atmosphérique : l'eau bout à 100°C au niveau de la mer mais, en profondeur, il lui faut des températures nettement supérieures. C'est pourquoi, les eaux les plus profondes qui subissent de très fortes pressions, doivent connaître de très fortes températures pour atteindre le point d'ébullition. Lorsque les eaux remontent vers la surface, la pression diminue mais les eaux continuent à bouillir. Le bouillonnement sera tranquille si la pression diminue graduellement ce qui est le cas le plus fréquent (cas de plusieurs griffons de Mahatsinjo). Mais si la pression se relâche brusquement (par exemple en cas de rencontre d'une cavité souterraine), le bouillonnement est violent car une grande partie de l'eau se transforme en vapeur, occupant un volume considérable. Cette expansion procure l'énergie nécessaire aux éruptions des geysers et *soffioni*. Dans le cas de Mahatsinjo, la colonne d'eau propulsée arrive à «bout de course» ce qui explique à la fois la médiocrité des éruptions et la faiblesse de la température de l'eau (29°C). En effet, il est évident que, pendant la remontée, l'eau reperd, avant d'atteindre la surface, une partie de la chaleur acquise.

C — Le cycle éruptif

La «tuyauterie» d'un geyser consiste en un conduit généralement connecté à des chambres, des canaux latéraux ou des lits de roche très poreuse, car ces «annexes» sont nécessaires à l'emmagasinement de quantités d'eau appréciables. Ce système est relié vers le bas à la «chaudière» constituée par la chambre magmatique. La fig. 1 illustre les phases supposées, engendrant le cycle éruptif d'un geyser (D.E. White, 1967).

1). *La phase de recharge* : Après une éruption, le conduit principal et les chambres annexes se remplissent à nouveau d'eau. Les eaux froides percolent à partir des fissures proches de la surface et les eaux chaudes pénètrent par des canaux d'alimentation en provenance des profondeurs. Des bouillonnements gazeux commencent à former des courants ascendants à mesure qu'une baisse de pression abaisse le point d'ébullition des eaux.

2). *Le stade préliminaire à l'éruption* : A mesure que les bouillonnements gazeux grandissent en volume et en quantité, ils tendent à obstruer certaines parties du conduit central du geyser (peut-être en raison de certaines étroitures). Lorsque cela se produit, la vapeur sous pression force brutalement le passage et provoque le jaillissement d'une partie de l'eau et de la vapeur par l'orifice de surface, sous forme de bouillonnements préliminaires.

3). *Le stade éruptif* : Finalement, un jaillissement préliminaire évacue assez d'eau (ce qui diminue la pression dans le conduit) pour faire démarrer une réaction en chaîne à l'intérieur du système. De grandes quantités d'eau contenues dans les chambres latérales commencent à se transformer en vapeur et le geyser entre rapidement en pleine éruption (Photo 1).

4). *Le stade de la vapeur* : Lorsque la plupart de l'énergie est dispersée et que le conduit central est proche d'être vide, l'éruption cesse. Une partie des eaux reste sous terre continuant encore pendant un certain temps, à produire



Ph. 1 — *Le petit geyser de Mahatsinjo en période éruptive.*

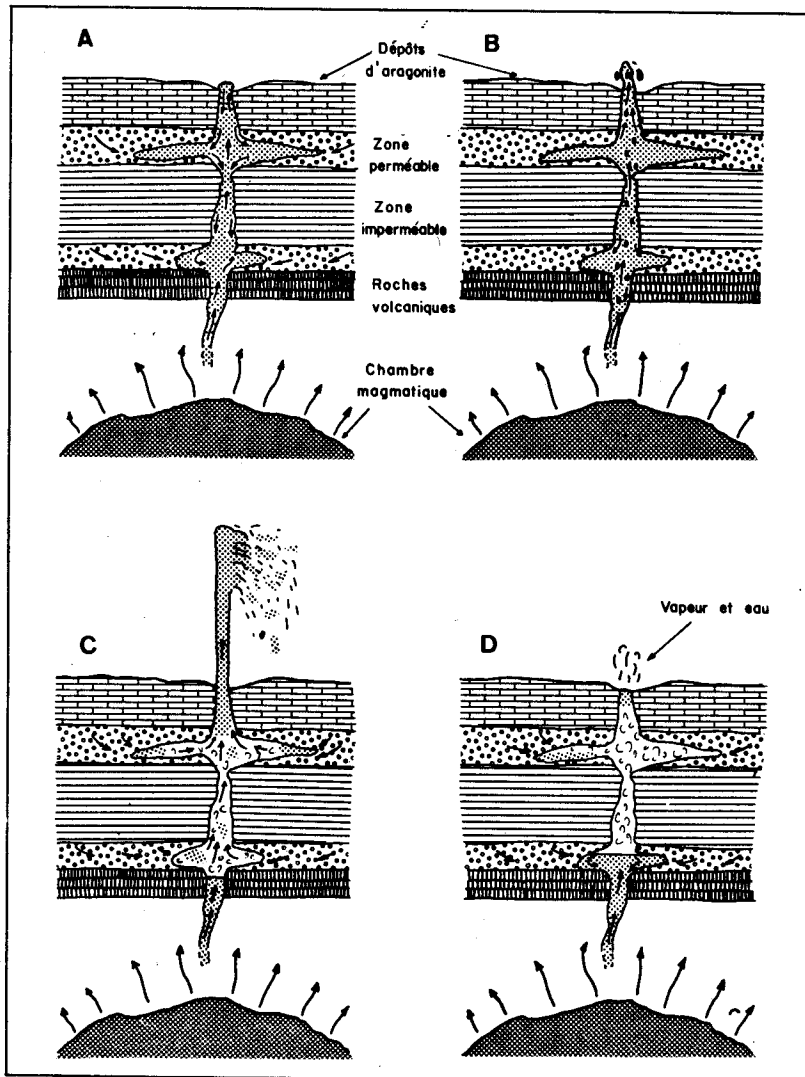


Fig. 1 Le cycle éruptif d'un geyser . A) Phase de recharge , B) Stade pre-éruptif , C) Stade éruptif , D) Stade post-éruptif .

de la vapeur (ce qui n'est pas le cas à Mahatsinjo). Puis le système recommence à se remplir et le phénomène recommence.

L'intervalle entre deux émissions dépend des dimensions du conduit, de la vitesse de celui-ci par l'eau vadose, ainsi que de la quantité et de la température des gaz et vapeurs arrivant par unité de temps. A Mahatsinjo, chaque émission dure de vingt-cinq à trente secondes et il se passe deux minutes entre chaque éruption (Fig. 2).

Il n'y a pas deux geysers identiques : formes, tailles, agencements et durées de vie sont très variables. Certains ont des cuvettes à leur embouchure, d'autres des cônes éruptifs. Surtout, chacun se comporte différemment des autres quant à la fréquence et la hauteur des éruptions et des quantités d'eau expulsée. Le geyser de Mahatsinjo est minuscule par rapport aux geysers de Yellowstone (Etats-Unis) d'Islande ou de Nouvelle-Zélande. Le grand geyser d'Islande lançait un jet à près de 70 m de hauteur vers 1772 !

En général, les geysers sont des phénomènes instables et de courte durée : le Waimangu, en Nouvelle-Zélande, le plus grand que l'on ait connu, n'a été actif que de 1899 à 1904 (2). Un geyser peut varier dans son comportement selon le temps car, peu à peu, son conduit et son évent se modifient et, d'autre part, les précipitations de minéraux peuvent obstruer partiellement le conduit, altérant progressivement le mécanisme de l'éruption.

Dans le cas d'un soffione, le mécanisme semble plus simple du fait de l'absence de magasins adjacents ; ou bien les dépôts sont trop poreux pour que l'eau soit concentrée épisodiquement. Dans ces deux cas, l'eau jaillit en permanence (Photo 2).

III. LES CONCRETIONS ET DEPOTS ASSOCIES

Presque tous les geysers et sources chaudes construisent des tertres et des terrasses de dépôts minéraux qui, comme à Mahatsinjo, prennent parfois des formes étonnantes. Ici, la matière première est essentiellement le carbonate de calcium. Ordinairement, l'eau ne peut dissoudre les carbonates que très lentement mais, dans notre cas, l'eau est riche en CO₂ en raison de l'apport de gaz volcaniques. Mêlés à l'eau, ils donnent une solution d'acide carbonique susceptible de dissoudre rapidement de grandes quantités de calcaire. De fait, ces eaux sont en rapport avec des processus karstiques puisqu'elles se chargent en carbonates en traversant, soit en amont, soit en profondeur, des roches carbonatées : l'eau analysée tient un résidu sec de 5 à 8 g/l de composition bicarbonatée calcique. Saturées en carbonates, les eaux parviennent jusqu'aux évents où le dioxyde de carbone peut s'échapper à l'air libre. Ce faisant, les carbonates sont précipités sous forme de travertin en engendrant différentes terrasses (*Sinterterrassen*) ou tables (*Kalksintertische*).

La précipitation forme des concrétions variées et colorées offrant aux yeux des observateurs un merveilleux spectacle. Le scintillement de l'eau sur les surfaces moutonnées ou ciselées du travertin met en valeur les nuances délicates des différentes couleurs qui parent les dépôts. Généralement, les verts, les bleus et les bruns sont dus à des myriades de bactéries et d'algues microscopiques,

2). Au temps de sa splendeur, chaque éruption du Waimangu projetait 800 t d'eau à plus de 400 m de hauteur !

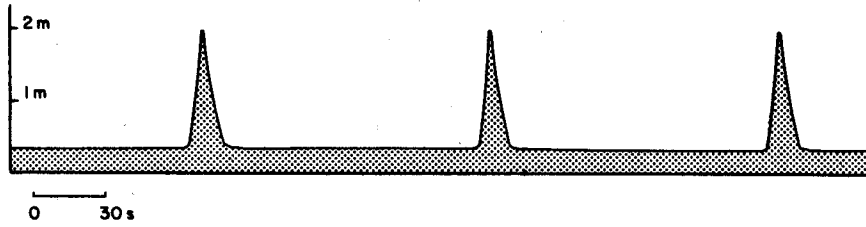


Fig. 2 Rythme des éruptions du petit geyser de Mahatsinjo .

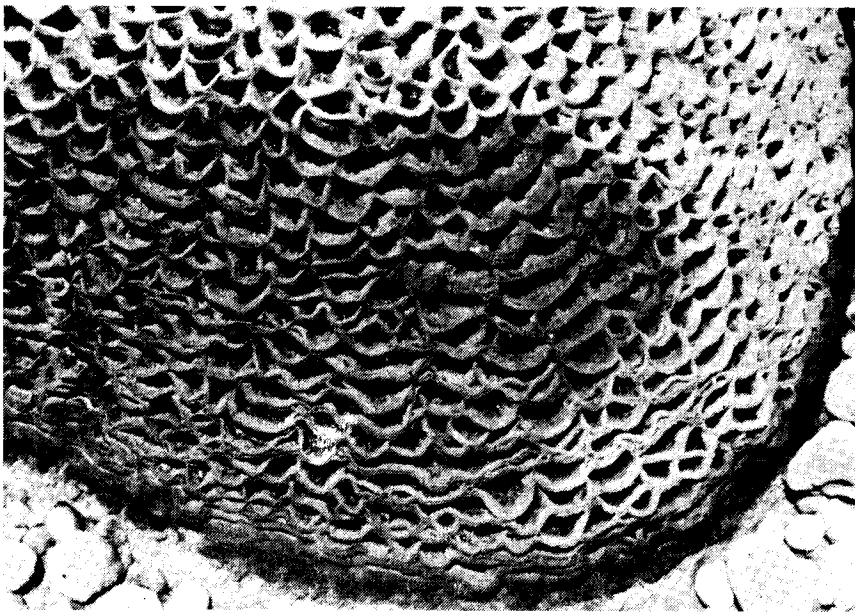
La petitesse du système permet un retour rapide des émissions -



Ph. 2 — Concrétions formant balcon et stalagmites. A gauche, le soffione.



Ph. 3 — Grosse stalagmite d'aragonite



Ph. 4 — Concrétions fossiles et dragées de Carlsbad.



aux organismes très primitifs. Les rouges et les ocres dépendent essentiellement des teneurs en oxydes de fer ou de manganèse. Finalement, chaque ruisseaulet d'écoulement engendre un ruban fragile de couleur différente, teintant de même façon chaque feston ou dentelure. A Mahatsinjo, les bruns rouges et les ocres dominent largement et colorent les moindres pendeloques ou stalagmites.

Les vasques en gradins, peu nombreuses à Mahatsinjo, se forment en raison de la façon selon laquelle le dioxyde de carbone s'échappe de l'eau en cours de refroidissement. Lorsque les bassins sont calmes, l'évaporation est lente ; quand les eaux sont plus agitées (rupture de pente, même légère) le gaz s'échappe plus rapidement, les carbonates sont vite déposés. Les dépôts grandissent alors et s'élèvent pour former une murette étroite et souvent sinueuse qui, par la suite, démarque deux zones. D'un côté on a un bassin calme avec faible évaporation et faible dépôt ; de l'autre, une bordure de ruissellement où l'évaporation et les dépôts sont plus importants. Comme les sorties des eaux y sont souvent changeantes, il s'en suit des constructions composites et souvent étagées.

L'un des griffons a édifié une véritable stalagmite d'aragonite haute de près de 2 m (Photo 3). L'eau sous pression fuse par l'évent situé au sommet de la concrétion et ruisselle sur cette dernière en déposant de nouveaux carbonates ce qui augmente peu à peu sa hauteur et son volume.

L'une des principales curiosités minéralogiques du site de Mahatsinjo est de montrer la formation actuelle de *ctypéite*. Cette variété particulière de carbonate de chaux est très rare et ne se forme actuellement que dans les sources de Carlsbad en Bohême et d'Hammam-Meskoutine en Algérie (H. Besairie, 1967). La *ctypéite* est une variété d'aragonite pisolithique qui a dû être colloïdale à l'origine. Elle se forme autour d'un minuscule grain de quartz et lorsque celui-ci a suffisamment grossi, il tombe au fond de l'eau ; il est alors entouré d'une enveloppe corticole d'aragonite à structure concentrique. La *ctypéite* est à l'origine des nombreuses dragées pisolithiques dites *dragées de Carlsbad* qui jonchent les terrasses travertineuses de Mahatsinjo. Certaines sont très grosses et peuvent mesurer jusqu'à 7 ou 8 cm de grand axe (Photo 4).

CONCLUSION

On sait que la géothermie à haute énergie coïncide la plupart du temps avec les régions de volcanisme récent (ou actif), ce qui est le cas du massif de l'Itasy. Or, geysers et soffioni représentent des « fuites » des réservoirs géothermiques de haute énergie. Dans ce contexte, il y a peut-être là une possibilité d'exploitation future, relativement intéressante en raison de la proximité de la capitale (70 km). Cependant, dans l'immédiat, l'intérêt du site de Mahatsinjo, au sein d'une région magnifique et très accessible, est surtout d'ordre touristique. Mahatsinjo devrait être classé et cela avec d'autant plus d'urgence qu'il est menacé de destruction rapide si rien n'est fait.

J.N. SALOMON



BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI R. et DONQUE G. — 1963 — L'excursion dans le massif volcanique de l'Itasy, Mad. Rev. de Géo. N°2, Janv.-juin 1963, pp. 34-59.
- BESAIRIE H. — 1967 — Itinéraires géologiques le long des principales routes de Madagascar, Doc. Bur. Géol. n° 174, Tananarive.
- BUSSIRE P. — 1961 — Notice explicative de la feuille Soavinandriana, Serv. Géol., 9 p., Tananarive.
- KEEFER W.R. — 1971 — The geologic story of Yellowstone national park, Geological Survey, 1347.
- RITTMAN A. — 1963 — Les volcans et leur activité, Masson, Paris, 461 p.
- WHITE D.E. — 1967 — Some principales of geyser activity, mainly from Steamboat Springs, Nevada, American Journal of Science, vol. 265, n° 8, pp. 641-684.

RESUME

Les sources de Mahatsinjo présentent un intérêt touristique remarquable par les multiples concrétions d'aragonite qu'elles ont créées. Un petit geyser et un petit soffione représentent deux autres curiosités naturelles. Les mécanismes engendrant ces phénomènes sont évoqués.

SUMMARY

The Mahatsinjo springs present a noteworthy touristic interest for the manifold chalk-stones that have created. A small geyser and a small soffione offer two another natural curiosities. The mecanisms generating those phenomena are avocated.

RESUMEN

La fuentes de Mahatsinjo ofrecen un interés turístico señalado por las numerosas concreciones de aragonito que han creado. Un pequeño géiser y un pequeño soffione representan dos otras curiosidades naturales. Los mecanismos que engendran estos fenómenos son tratados.