

Quelques recherches sur le volcanisme : action de la vapeur d'eau à haute température sur les roches éruptives

Autor(en): **Brun, Albert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **41 (1916)**

PDF erstellt am: **14.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-742652>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

QUELQUES RECHERCHES SUR LE VOLCANISME

SEPTIÈME PARTIE (SUPPLÉMENT) ⁽¹⁾

ACTION DE LA VAPEUR D'EAU A HAUTE TEMPÉRATURE SUR LES ROCHES ÉRUPTIVES

PAR

Albert BRUN

Il est important de connaître l'action de l'eau sur un magma éruptif en fusion.

En effet, si une action chimique existe entre le magma et l'eau, cela implique le fait que, dans les multiples réactions qui se passent au moment de l'éruption, il y en a au moins une qui est limitative de la quantité d'eau possible intra-magmatique.

J'ai déjà indiqué, dans mes publications précédentes, que si cette réaction était géologique, il se formerait des oxydes fixes qui resteraient dans le magma, tandis que les composés volatils CO_2 , CO , HCl , ClNH_4 s'échapperaient.

L'action de l'eau se réduirait donc à une oxydation du magma, qu'il faudrait pouvoir constater dans la nature, si la théorie aqueuse était vraie.

Je m'étais précédemment, surtout basé sur les combinaisons accessoires, chlorure de fer, fluorure de silicium, carbone; je n'avais pas étudié ce qui se passe entre l'eau et les silicates. La présente publication vient combler cette lacune. Je vais

¹⁾ Pour les six premières parties, voir *Archives*, années 1905 à 1912. Quelques recherches sur le Volcanisme, etc.

étudier plus spécialement l'action de l'eau sur le magma silicaté dans son ensemble, et sur le silicate ferreux en particulier.

MODE OPÉRATOIRE

Le principe de la méthode est celui-ci :

Chauffer la lave du volcan à une température déterminée ; faire arriver à ce moment sur elle, de la vapeur d'eau, à une pression connue et récolter les produits gazeux ou solides de la réaction. L'appareil se compose d'un tube laboratoire, d'une ampoule à eau, d'un baromètre et de la pompe à mercure destinée à faire le vide et à retirer les gaz.

Le tube laboratoire, en silice fondue, fermé à un bout, a 70 cm. de longueur, 25 à 28 mm. de diamètre. Il est doublé de platine dans la portion destinée à contenir la roche en fusion.

Le chauffage a lieu électriquement, ou par un four à gaz, arrangé de telle sorte qu'aucun gaz du foyer ne peut entrer en contact avec le tube.

Ce tube laboratoire est relié à une ampoule munie d'un robinet ; cette ampoule contient de l'eau privée de ses gaz.

Lorsqu'on ouvre le robinet, l'eau s'écoule du côté de la roche en fusion ; elle se volatilise du reste bien avant d'arriver à son contact. Un baromètre est soudé sur le trajet des tubes qui relie cet ensemble à la pompe à faire le vide.

Les liaisons non soudables sont faites au ciment hydraulique recouvert de lames de caoutchouc serrées par enroulement. Ce mode de fermeture est le seul tenant le vide à la température de 100 à 110°.

Mon expérience se faisait comme suit :

Tout d'abord, la roche chauffée seule est débarrassée de ses gaz magmatiques qui sont extraits par la pompe. Une fois la température obtenue, on ouvre le robinet de l'ampoule ; l'eau s'écoule. Il se fait une petite explosion, et brusquement la pression monte ; le baromètre en donne la valeur. Cette pression résulte : de la pression de la vapeur d'eau à la température du point de l'appareil qui a la température la plus basse, et, de la pression des gaz formés.

Pour connaître ce qui concerne l'eau, les tubes ont une courbure en V un peu renflée, qui peut se plonger dans un bain, ou chaud ou froid. Lorsque la pression n'augmente plus, on plonge le V dans un mélange réfrigérant, les traces de vapeur d'eau se congèlent et l'on retire les gaz à peu près secs. Cette eau congelée est alors extraite afin d'être analysée à part.

A l'aide de cet appareil, la réaction peut s'étudier dans tout le domaine des températures dont on dispose, et dans celui de pressions pouvant aller jusqu'à 720—740 mm. de mercure.

Pour expérimenter à une pression supérieure, il est préférable de chauffer la roche dans un courant de vapeur d'eau; la pression totale est donnée par la hauteur barométrique ajoutée à la profondeur à laquelle l'orifice du tube de dégagement plonge dans le mercure. La roche est chauffée dans un long tube en silice, recourbé deux fois, dont l'extrémité effilée de dégagement débouche sous le mercure, en dessous d'un tube (aussi en silice) plein de mercure ou d'eau bouillie.

Cette éprouvette de réception est épaisse, afin de résister aux chocs que provoque la brusque condensation de la vapeur. De plus, elle doit être refroidie par un courant d'eau froide. On ne risque pas de ruptures, grâce à la nature du verre de silice.

* REMARQUES SUR LES COMPOSÉS SOLIDES ET GAZ PRODUITS
DANS LA RÉACTION

Pour toutes les laves étudiées, la décomposition de l'eau par la roche commence vers 750°, quelle que soit la pression de la vapeur d'eau. La quantité des gaz et la vitesse de leur formation, augmente avec la température et la pression.

Les substances les plus sensibles à l'action de l'eau sont attaquées les premières. Le carbone et les hydrocarbures sont attaqués avec formation de CO, CO₂ et H₂ libre. Le soufre donne SO₂ (à forte pression on a H₂S traces).

Les chlorures donnent HCl, qui avec les azotures, forme NH₄ Cl. L'excès du HCl se retrouve dans l'eau condensée qui a une réaction acide.

Le silicate ferreux subit deux actions simultanées : celle du

chlore et celle de l'eau. La première volatilise du chlorure de fer immédiatement transformé en Hématite ; la seconde oxyde directement le silicate ferreux en fournissant le Spinnelle magnétique noir (Fe_3O_4).

1° La volatilisation du fer est si intense que le tube est bientôt tapissé d'un vernis d'hématite. Jamais un phénomène semblable n'a lieu avec la roche seule. Il suffit d'une quantité d'eau égale au demi-millième du poids de la roche pour amener une genèse d'hématite tellement grande que l'on doit considérer que la vapeur d'eau joue le rôle d'un excitateur d'un genre particulier. Notons en passant que les cratères présentent des chlorures et non pas des oxydes de fer.

2° Le silicate ferreux suroxydé reste dans le magma et le colore d'une manière intense. Cette coloration est d'autant plus remarquable que la roche mise en expérience est plus pâle. Les ponces blanches des volcans acides (Lipari, Santorin, Gata), deviennent en peu de minutes si foncées, brunes ou noires, que jamais un géologue ne les prendrait, à première vue, pour des pierres poncees.

Pour ce qui concerne les substances plus volatiles, il faut noter encore un dégagement de salmiac, proportionnellement aussi remarquable par son abondance, que celui du fer.

Les gaz sont : CO_2 , CO , SO_2 , HCl et surtout l'Hydrogène libre H_2 . Ce dernier est toujours en grand excès, surtout dans les dernières portions formées, une fois que les autres composés susceptibles d'être gazéifiés sont éliminés.

Il va sans dire que si la lave (basalte) contient du fer métallique, rien n'est changé à la marche de la réaction, qui a lieu comme pour le silicate ferreux.

Il est facile de démontrer que la première action de la vapeur d'eau est de libérer les oxydes du carbone.

En faisant agir sur la lave, successivement de très petites quantités d'eau, soit $\frac{1}{2}$ à un millième du poids de la roche, l'on obtient tout d'abord des gaz riches en CO_2 et CO , puis finalement seulement du H_2 avec encore un peu d'azote.

Les lois de l'équilibre chimique, peuvent s'appliquer à cette oxydation qui a de l'analogie avec celle du fer, et celle industrielle, du carbone, dont les marches sont connues.

Lorsque la pression de la vapeur d'eau est petite, 10 à 20 mm. de mercure, l'on s'aperçoit très bien que la réaction se ralentit, lorsque la pression de H_2 arrive à une certaine valeur. Mais il n'est pas certain que ce ralentissement soit de même nature que celui qui a lieu dans le système Eau-Fer métallique étudié par Sainte-Claire-Deville et Debray. Dans ce système, il y a arrêt réel de la réaction, ce qui ne semble pas avoir lieu avec la lave. En effet, il suffit de renouveler les surfaces d'attaque, pour que la réaction reprenne. Cela peut s'expliquer par le fait que la pénétration de la vapeur, au travers des couches de silicate vitreux, se fait lentement.

Tout d'abord, la première surface réagit, ce qui donne une poussée des gaz, puis ensuite ceux-ci ne résultent que de la lente pénétration de la vapeur au sein du grain de silicate chaud, ou du verre en fusion. Comme qu'il en soit, et toujours, la quantité des gaz obtenue est beaucoup plus considérable que celle qui a formé dans la nature les ponces les plus légères, à la même température. Même en réaction ralentie ou limitée, l'on obtient 6 à 8 litres de gaz pour une lave qui dans la nature en a donné $\frac{1}{3}$ pour former sa ponce (réduits à 0° et 760° mm.).

La lave du Kilauea peut donner assez rapidement 12 à 15 litres par kilogramme. Une pareille quantité suffirait pour projeter dans l'espace tout le lac de lave du Kilauea, à l'état de cendre fine. Bien au contraire, ce lac est en état de fusion assez tranquille. Il est bien entendu que tous ces raisonnements impliquent la comparaison faite entre les deux phénomènes, à la même température et dans le même état physique d'agrégation.

En effet, une lave qui, comme celle du Vésuve en 1904, a cessé d'émettre des gaz à la température de 984° , se trouve dans un état de faux équilibre. Chauffée plus haut 1200° , l'émission se renouvelle. On sait que: « L'on peut toujours abaisser suffisamment la température d'un système chimique, pour que ce système demeure à l'état de faux équilibre » (1).

L'introduction de vapeur d'eau rompt cet état de faux équilibre, provoque une nouvelle formation de corps volatilisables

1) Duhem, Leçons de thermodynamique, page 456.

à une température, à laquelle la lave seule, voit ses réactions gazeuses arrêtées. Il est facile de comprendre qu'une enclave pourrait jouer le même rôle. Ceci montre quelle est la complexité du phénomène.

J'ajoute encore que l'état d'agrégation physique des cristaux, ou fragments de cristaux, et du verre, a aussi une importance manifeste. Quelques expériences exécutées dans cet ordre d'idées, m'ont donné des résultats intéressants qui pourraient trouver leur application dans la recherche de la cause du *rythme volcanique* à très courte période.

ANALYSES

Voici un certain nombre d'exemples qui fixeront les idées à l'égard de la composition des gaz engendrés par la réaction qui nous occupe. J'ai choisi les roches des volcans connus dont j'ai déjà parlé dans ce recueil⁽¹⁾.

Krakatau. — Ponce andésitique très blanche, récoltée sur l'île.

a) Chauffage dans un courant de vapeur. Pression 740 mm., température 800°.

Les gaz contiennent

CO ₂	22.8
CO	absence
H ₂	77.2
	<hr/>
	100.0

Il y a une abondante formation d'Hématite. Le HCl se retrouve dans l'eau condensée. La ponce est devenue d'une coloration très noire.

En poussant la température à 950°, c'est-à-dire fusion complète du verre, les mêmes gaz se forment.

b) L'obsidienne du même volcan est fondue à 1000°, dans une cellule de silice fermée, en présence de sa propre eau. La pression atteint un peu plus de 3 atmosphères (calculée) presque 4.

¹⁾ Voir aussi: Recherches sur l'exhalaison volcanique At. Brun, Genève, Paris, 1911.

Le verre fondu est brun rougeâtre avec facules d'Hématite superficielle. Dans la portion la moins chauffée de la cellule se trouve un anneau noir d'un oxyde de fer.

Cabo de Gata. — Obsidienne filonienne verdâtre, un peu hydratée: titrant 73,6% SiO₂, 2,5% FeO, 5,6% H₂O; contient des grains de quartz craquelés et en partie digérés. Fondue en présence de sa propre eau, elle donne 2 litres de HCl. Les gaz privés de HCl ont la composition suivante

CO ₂	18.8
H ₂	81.2
	100.0

Le silicate restant dans le tube *est noir*. L'expérience montre que pour 180 cc. de HCl, il y a 55 de CO₂. En faisant en sorte de volatiliser toute l'eau de la roche, celle-ci perd encore à la fin du chlore libre.

Vésuve. — Lave de septembre 1904.

J'ai arraché cette lave en fusion à la coulée qui s'échappait d'un cône adventif dans l'Atrio del Cavallo. La roche était à la température de 984°. Elle émettait lentement quelques bulles de salmiac en fumées blanches.

Refondue encore une fois au creuset, elle perd encore un peu de substances volatiles. Soumise alors à l'action de la vapeur d'eau, elle fournit une démonstration très élégante du rôle excitateur de ce corps à l'égard des substances encore virtuellement volatilisables. Afin de se placer dans les conditions d'un magma hydraté ne perdant son eau qu'à haute température, j'ai utilisé la propriété qu'a le talc de se déshydrater seulement vers 800°.

La lave fondue d'abord au creuset, est broyée avec un poids de talc calculé pour que l'eau qui se dégage forme les 11 dix-millièmes du poids de la roche. Il se dégage tout d'abord 1800 cc. de gaz par kilogramme; de plus, un abondant anneau d'Hématite et de Spinelle noir tapisse le tube; enfin 250 milligrammes de salmiac par kilogramme sont aussi volatilisés. Soit, six fois plus de gaz et douze fois plus de salmiac que n'est capable d'en dégager la roche primitive, chauffée seule. L'Hématite non plus ne se forme jamais avec la roche chauffée seule et ce minéral ne se remarque pas sur le terrain.

La composition des gaz est, sans tenir compte d'une partie du HCl retenue par quelques gouttelettes d'eau condensée :

HCl	5.0
CO ₂	62.0
CO	7.5
SO ₂	1.5
H ₂	10.0
N ₂	14.0
	100.0

La roche ayant subi cette première action de la vapeur d'eau est reprise et soumise à une seconde opération identique à la précédente. Il se forme beaucoup moins d'hématite, peu de salmiac, mais la quantité des gaz augmente fortement 2440 cc.

Les gaz, sans tenir compte d'une petite trace de HCl retenue par de fines gouttelettes d'eau condensée sont :

HCl	traces
SO ₂	absence
CO ₂	32.3
CO	21.4
H ₂	46.2
N ₂	traces
	99.9

L'on remarque immédiatement l'augmentation du titre en H₂. Somme toute, de faibles quantités d'eau suffisent ici pour provoquer le départ de quantités considérables de fer, de chlore, de salmiac et de gaz.

Si l'on tient compte que ces réactions sont rapidement achevées, on peut dire que la lave du Vésuve jouit d'un pouvoir destructeur vis-à-vis de l'eau.

Cette lave coulante que j'ai étudiée à l'Atrio del Cavallo en 1904, était donc sèche. A la bouche, il n'y avait aucune flamme d'hydrogène, aucune formation d'hématite. Le petit cratère neuf, tout voisin, en était aussi indemne que la bouche. Notons que malgré la richesse en chlorures et en fer des laves du Vésuve, *ce volcan ne présente pas l'hématite comme minéral ordinaire*. Les minéraux rejetés en 1906, par la destruction du cône, furent surtout des chlorures divers, en blocs souvent de quelques kilogrammes ; sans compter des masses considérables de roches salées.

Kilauea. — Ce volcan a donné lieu à divers travaux. Je vais m'occuper tout d'abord de la génération des gaz, et plus loin, je montrerai ce qu'il faut penser des recherches effectuées par les chimistes de l'Institut Carnegie à Washington.

La lave du Kilauea chauffée seule, donne en général $\frac{1}{3}$ de litre de gaz par kilogramme.

J'ai fait quelques expériences sur un échantillon retiré du lac de lave fondue, par M. Frank, A. Perret. M. Perret a décrit dans l'*American Journal of Science*⁽¹⁾ la façon dont il s'y est pris pour extraire de la lave en fusion hors du lac. Une partie de ce précieux échantillon m'a été obligeamment remise par ce savant. Les autres roches ont été recueillies par moi-même.

Le tableau ci-dessous résume les analyses (A et B ont déjà été publiés dans l'*American Journal of Science*, même article que celui de M. Perret déjà cité):

	A	B	C	D	E	F	G
SO ₂	26.2	0.25	—	Gaz combustibles avec grande flamme	—	0.3	traces
CO ₂		19.4	10.0		15.0	29.4	22.5
CO		5.0	6.4		absence	15.0	13.7
H ₂	68.0	74.0	Gaz combustibles		85.0	50.0	34.7
N ₂	0.4	traces	traces		traces	5.6	29.1
	99.6	100.05	100.0		100.0	100.3	100.0

A. Lave du lac, privée au préalable de ses gaz magmatiques restants, par fusion complète dans le vide: Pression 500 mm.; température 1000°; quantité obtenue 6000 cc. par kilogramme.

B. Exactement mêmes conditions. Expérience rapide: Quantité obtenue 4000 cc. par kilogramme.

C. Expérience de contrôle: Température poussée à 1170°. Recueilli les gaz se dégageant à cette température.

D. Expérience de contrôle: Pression 300 mm.; température 1250° à 1300°; quantité obtenue 5050 cc. par kilogramme.

E. Lave chauffée dans un courant de vapeur d'eau; pression

¹⁾ *American Journal of Science*: Volcanic Research at Kilauea on the summer of 1911. Frank. A. Perret, November 1913.

745 mm.; température 1150° à 1175°; quantité non mesurée, mais considérable.

F. Pression 300 mm.; température 930° à 950°.

G. Mêmes conditions que *F* mais expérience très rapidement conduite.

Dans l'eau condensée, l'on retrouve un peu de HCl et un peu de SO₂. Mais la roche est pauvre en chlore. L'eau condensée a toujours une réaction acide.

Voici quelques autres analyses où les conditions ont un peu changé:

H. Expérience plus prolongée; donne 15 litres de gaz par kilogramme. Echantillon prélevé vers le milieu du plancher de la Caldeira. Les gaz fractionnés donnent:

1° portion H₂ 23% 2° portion H₂ 60%

I. Un autre échantillon du plancher de la Caldeira est broyé et chauffé avec du talc, comme cela a été fait pour le Vésuve. La proportion d'eau fut de onze dixmillièmes. La lave contenait encore ses gaz magmatiques résiduels.

Il se forme un abondant anneau d'Hématite (moins fort que celui du Vésuve et en rapport avec la teneur en chlore). Il distille un bitume soufré. On recueille 2 litres de gaz, c'est-à-dire dix fois plus que n'en donne le même échantillon chauffé seul. Il n'y a pas assez d'eau pour attaquer tout le bitume dont la portion non oxydée distille. Ces gaz contenaient:

CO ₂	42.2
CO	22.5
H ₂	35.5
	<hr/>
	100.2

On voit que plus de un millième d'eau n'est pas suffisant pour oxyder seulement le bitume.

Passons maintenant au minéral basaltique par excellence, le Peridot. Mais auparavant, je donne comme comparaison l'analyse des gaz qui résultent de l'action de l'eau sur un silicate ferreux pur, ne contenant ni carbone ni soufre, ni chlore: la ripidolite.

Ripidolite

de la moraine du Glacier du Rhône, au pied du Galenstock. Chauffée avec sa propre eau, donne 6600 cc. de gaz par kilogramme, qui est de l'hydrogène pour ainsi dire pur.

H ₂	96.1
N ₂	3.9
	100.0

Passons maintenant aux Peridots.

Peridots.

Je pensais avec ce minéral, n'obtenir que l'action de l'eau sur le silicate, comme c'est le cas pour la ripidolite. Il n'en fut rien. Ce silicate, quoique purifié et en cristaux, fournit autant de carbone, de bitume, et souvent plus, que la lave prise dans sa totalité. Tous les peridots, chauffés seuls, ont laissé distiller du bitume accompagné de CO₂ et CO. Mais ce minéral présente un grand avantage: n'étant fusible que vers 1730°, il peut être soumis à une température de 1300° pendant 60 à 80 minutes sans se déformer. L'on a ainsi, à très haute température, une grande surface d'attaque. L'on obtient de très grandes quantités de gaz pouvant être quasi théoriques (d'après la teneur en FeO).

Les expériences définitives ont été faites avec deux peridots différents:

1° Peridot du Koko Head, Ile Oahu (Sandwich), que j'avais récolté en abondance dans le cratère égueulé par la mer. Les vagues avaient lévigé les lapillis et laissé un sable formé presque uniquement de ce minéral en petits cristaux, très brillants, très nets, à arêtes encore vives; couleur jaune pâle à peine verdâtre. Ces cristaux lavés et triés fournissent un excellent matériel d'étude.

Leur titre en FeO est de 9 à 10 % et quelques impuretés.

2° Peridot du Dreyser Weiher: masses granuleuses d'enclaves dans le basalte. Cristaux sans arêtes, coloration verdâtre-bleuâtre; poussière jaunâtre-verdatre pâle. Contient: SiO₂ 41,88, FeO 9,09, MgO 49,50. Point de fusion 1730°.

C'est le même matériel qui m'avait servi pour la détermination du point de fusion de ce minéral (¹).

A. Peridot du Koko Head: Pression de la vapeur 20 mm., température 900°.

B. Peridot du Koko Head: Pression 745, température 1200 à 1250°.

C. Peridot du Dreyser Weiher débarrassé de son bitume et de ses gaz par un premier chauffage dans le vide, puis soumis à la vapeur d'eau. Pression 400 mm., température 1100°.

D. Mêmes conditions que pour C, pression 300 mm., température environ 1100°.

E. Peridot du Koko Head: Pression 750 mm., température 1000 à 1100°.

F. Le Peridot ayant servi à E est maintenu dans la vapeur d'eau et la température est portée à 1300°.

G. Peridot du Dreyser Weiher débarrassé de ses gaz par chauffage dans le vide, puis ensuite chauffé avec du talc. Pression de 100 à 120 mm., température 900 à 950°.

	A	B	C	D	E	F	G
CO ₂	33.3	3.5	12.7	9.7	3.2	1.8	19.5
CO		1.1	absence	4.1	9.7	9.6	10.2
H ₃	66.6	95.4	84.1	72.2	81.0	82.9	57.1
N ₂	—	—	3.1	14.1	6.0	5.5	13.0
	99.9	100.0	99.9	100.1	99.9	99.8	99.8

Dans toutes les expériences faites, le peridot est devenu *très noir*.

APPLICATIONS A LA THÉORIE VOLCANIQUE

Les analyses ci-dessus vont me permettre d'aborder, avec plus de force que je n'avais pu le faire jusqu'à aujourd'hui, deux points encore en discussion, savoir :

- 1° L'absence d'altération aux roches du cratère.
- 2° Les gaz hydratés du Kilauea.

¹) *Archives*, décembre 1904. Point de fusion des minéraux.

1° *Absence d'altération*

Il est impossible d'admettre que des quantités appréciables d'eau ayant pu, à haute température, être véhiculées avec un magma, sans laisser sur celui-ci ou sur sa gaine, des traces de leur présence.

L'oxydation par la vapeur d'eau me semble tout à fait générale. Pour m'en convaincre définitivement, j'ai procédé à un grand nombre de vérifications sur les roches éruptives les plus diverses. Un fragment de ponce blanche de 50 c³ de volume devient toujours coloré jusque dans son intérieur.

Les ponces de Lipari deviennent noires ou gris-noir; celles de Santorin, suivant la durée d'exposition à la vapeur, deviennent jaunes, brunes ou noires-brunes. La ponce et la cendre du Kloet (Java), quoique riches en fer, sont d'une blancheur remarquable. Eh bien! en trois minutes, dans la vapeur d'eau à 1000° environ, ces produits volcaniques deviennent noirs avec une pointe de brun, tellement foncés que leur poudre fine est noire. Ce changement de couleur est extraordinairement rapide.

L'obsidienne de Cabo de Gata, et bien d'autres encore, fondues avec leur propre eau deviennent noires. Dans un courant de vapeur, elles se recouvrent d'un vernis d'hématite brune⁽¹⁾.

Une élégante variation aux expériences est celle-ci: On creuse dans un bloc de pierre ponce un trou obturé à sa base; on injecte, au fond de cette sorte de cheminée en miniature, un courant de vapeur d'eau à 1000° ou 1100°, et en très peu de minutes ses parois deviennent rouges.

On peut aussi projeter la vapeur sur une plaque plane de ponce blanche; au point d'impact il se fait la tache d'oxyde. Le changement de couleur est si rapide qu'en peu de minutes on obtient plusieurs taches colorées⁽²⁾.

Enfin les peridots sont dans la nature d'un blond pâle, à peine verdâtre. Ils sortent au contraire du four à expérience complètement noirs.

¹⁾ Donc les obsidiennes naturelles hydratées ont acquis leur eau *a posteriori*.

²⁾ Cette expérience pourrait être utilisée dans une conférence.

Or la formation d'oxyde de fer a lieu d'une façon positive à une pression de 3 à 4 atmosphères, ainsi que l'expérience le montre ⁽¹⁾ (Krakatau). Par conséquent, pendant toute la durée qui s'écoule entre le moment où la bulle de gaz est soumise à cette pression jusqu'à l'instant où elle débouche à l'air, cette réaction a lieu, et elle se continue à la pression ordinaire.

Enfin les gaz chauds, qui filtrent au travers des lapillis du cône ou des fentes, à la pression ordinaire, ont tout le temps de provoquer toutes les réactions chimiques qui sont possibles, ainsi que cela se constate aisément sur le terrain.

L'on sait combien les ponces blanches sont répandues dans le monde entier. Leurs amas sont souvent énormes, le Krakatau et le Santorin sont des exemples classiques.

Les basaltes, en coulées parfois gigantesques, ont toujours leur peridot d'une pâleur bien connue.

On peut donc écrire que : *La blancheur des ponces et la pâleur des peridots, sont incompatibles avec la vapeur d'eau à haute température, par conséquent le phénomène éruptif anhydre est universel.*

La théorie aqueuse est impuissante à expliquer rationnellement ces faits. Tout au plus pourrait-elle avancer qu'il n'y a pas assez d'eau pour altérer les ponces. Ce qui reviendrait à avouer, avec réticences, ce que je soutiens.

Mais je ne suis pas seul à admettre que l'éruption n'altère pas les gaines cratériennes. M. W. Lowthian Green ⁽²⁾ avait déjà dans une brochure publiée en 1887 à Honolulu (Vestige of the molten globe), annoncé que, du moment que l'eau altère les roches et que cette altération n'existe ni au cratère ni dans la lave, le cratère du Kilauea n'émettait pas d'eau.

¹⁾ J'ignore totalement ce qui peut se passer sous de très fortes pressions; cependant je pense que, à une pression plus grande que 4 atmosphères, l'oxydation peut encore avoir lieu. Des obsidiennes hydratées et chauffées dans une enveloppe de fer, de façon à faire éclater celle-ci, donnent une ponce grise et non pas blanche comme la naturelle.

²⁾ W. Lowthian Green (1819-1890), naquit à Londres, vint s'établir en 1848 aux Sandwich où il occupa des charges importantes. Certaines de ses publications géologiques ont eu du retentissement.

Voir aussi « Recherches », op. cit., pages 176.

J'ignorais complètement cette publication, qui n'est venue à ma connaissance que par le travail de MM. Day et Shepherd, et seulement en 1914. Indépendamment de Green, j'ai répété exactement la même observation, au même volcan, en 1910, et je l'ai mentionnée dans mes « Recherches », page 251, sous le titre de « bordure rouge ».

Voici la remarque faite par M. Green :

...« and that as a matter of fact they do not seem to come up with them from below, whilst the basic minerals themselves give no indications in the main eruption, of having been in contact with water, highly susceptible as they are, to such an influence ».

On voit combien l'expérience faite avec les peridotites donne raison à ce perspicace observateur !

MM. Day et Shepherd⁽¹⁾ de l'Institut Carnegie à Washington ont aussi étudié le Kilauea. Ne voulant pas accepter les conclusions de Green et les miennes, mais sentant toute l'importance de nos observations, ces messieurs n'ont rien trouvé de mieux, que nier purement et simplement, l'action de l'eau à 1100° sur les laves et « basics minéraux ».

C'est un procédé fort simple pour échapper à une difficulté !

Ces messieurs ont publié dans leur travail, qu'ils ont fait une expérience, et que : « the results appears to support our view, for after several ours of the most intimate contact between the gaseous H₂O and the lava no chemical change whatever could be detected either in the « basic minerals » or the water, etc... »

Je ne sais que penser de cette expérience, qui laisse planer quelques doutes sur la rigueur des travaux publiés par le laboratoire de Washington ?

Je ne pouvais pas laisser s'accréditer, sans protester, une affirmation aussi dénuée de sens volcanologique. Les expériences que je viens de citer sont très faciles à renouveler. Je pense qu'elles convaincront les géologues⁽²⁾.

¹⁾ Arthur L. Day et E. S. Shepherd, Water and Volcanic activity. *Bullet. of. Geol. Soc. of America*, 16 décembre 1913.

²⁾ Il semble que les géologues américains commettent un peu souvent de singulières erreurs, qu'ils ont la prétention de vouloir imposer aux savants européens. M. le professeur M. Lugeon a eu l'occasion d'en

J'ajouterai encore une remarque à l'égard des scories rouges qui se rencontrent dans un certain nombre de cratères.

Ces scories rouges résultent de l'action postvolcanique d'eaux chaudes acides, à une température telle, que le fer ne peut pas se volatiliser; ils sont l'équivalent de la bordure rouge dont j'ai parlé ci-dessus. Notons encore que certaines « cordes » et scories peuvent être oxydées en rouge par l'action atmosphérique, à chaud.

2° *Les gaz hydratés du Kilauea*

MM. Day et Shepherd (op. cit.) ont retiré du cratère du Kilauea des gaz hydratés qu'ils déclarent être magmatiques. On a vu ci-dessus avec quelle facilité l'eau est décomposée par la lave de ce volcan. J'ai aussi insisté (Recherches, pages 162 et 169), sur le fait que les graviers des solfatares voisines de ce cratère fournissent à la chauffe beaucoup d'hydrogène libre. J'ai rendu attentif au fait que H_2 libre est souvent le résultat de perturbations, et qu'il est alors dû à des phénomènes étrangers à ceux qui se passent dans le *magma vrai*.

Les savants américains n'ont pas tenu compte que trois causes différentes peuvent fournir l'eau et l'hydrogène qu'ils ont recueillis, à savoir : action d'une eau extérieure sur la lave incandescente, réchauffement de graviers solfataris et digestion d'une enclave profonde⁽²⁾.

J'ai aussi montré, en 1910, que l'exhalaison générale du cratère deshydrate l'atmosphère. Ne pouvant pas nier ce fait, les chimistes de l'Institut Carnegie, cherchent à expliquer comment une exhalaison hydratée, qui laisse condenser de l'eau à la température ordinaire, peut encore deshydrater l'atmosphère ambiante, elle aussi à la température ordinaire (op. cit., p. 578).

relever quelques-unes. Il écrit, page 20 de sa publication sur les « Hautes Alpes calcaires », 1914, fasc. I. : « si les résultats de la « physiographie » de nos confrères américains les amène à des conceptions si étranges, on peut se demander ce qu'il en est des travaux faits sur leur territoire.... ».

²⁾ Les enclaves en voie de digestion ne sont pas rares au Kilauea; l'on observe fréquemment sous le microscope de gros peridots anciens arrondis et corrodés.

Je ne suivrai pas ces messieurs dans cette discussion, où la fantaisie joue un trop grand rôle.

Les mêmes auteurs admettent que, comme qu'il en soit, l'hydrogène et le gaz carbonique du magma doivent, par réaction mutuelle, fournir de l'eau. Je ne ferai à cela qu'une réponse : ces gaz ne sont pas seuls en présence, ils sont inclus dans un magma qui les met en contact avec des azotures, des chlorures, du carbone et enfin d'une masse énorme de silicate ferreux. Il faudra donc pouvoir tenir compte de tout cet ensemble, avant d'affirmer que H_2O est magmatique.

J'admets donc que les gaz retirés par ces messieurs ne sont pas autre chose que le mélange de gaz magmatiques vrais avec les gaz résultant de l'action d'une eau étrangère sur la lave incandescente ; je viens de montrer que cette réaction est suffisamment rapide pour que cette explication soit rationnelle ⁽¹⁾.

La quantité d'eau retirée par MM. Day et Shepherd s'élevait à 300 grammes pour environ 1100 litres de gaz. Il n'est guère admissible que ce mélange ait barboté un temps appréciable dans la lave fondue. La destruction de l'eau par le magma est trop instantanée. Pour les pressions voisines de la pression ordinaire, la pression partielle de l'hydrogène obtenu, est toujours supérieure à la pression partielle de l'eau non décomposée. Ce qui est conforme à ce que l'on sait des systèmes fer-eau et carbone-eau. Or c'est l'inverse qui se présente dans les gaz analysés par ces savants. La quantité d'hydrogène qu'ils ont constatée est réellement trop faible et ne peut être due qu'à une réaction très fugitive et superficielle.

J'insiste encore sur la remarque de Green. Par hypothèse, admettons pour un instant, que les conséquences de mes expériences ne soient pas applicables à des gaz soumis à une pression plus forte que 4 atmosphères (voir ci-dessus Krakatau).

On verra immédiatement que cela ne changera rien aux

¹⁾ Les gaz ne contenaient pas d'argon. MM. Day et Shepherd en concluent que l'eau constatée n'est pas extérieure. Cet argument n'a pas grande valeur. Les eaux des soufflards sont, par le fait de leur température, privées d'air et de gaz. Ensuite pour expulser l'air d'une cavité on y fait bouillir de l'eau.

conditions auxquelles sont soumis les graviers du fond du cratère, à pression ordinaire. Ces graviers, ces lapillis, les radeaux du lac de lave, les ponces ou le « *limu* », ne pourront pas échapper aux réactions sus-mentionnées. Or le fond du cratère est indemne. (Les radeaux du Kilauea, en 1910 pouvaient rester à la surface du lac pendant un temps de 15 à 50 minutes, avant d'être entraînés par le courant).

CONCLUSIONS

Mes conclusions générales sont donc en tous points semblables à celles que j'ai énoncées lors de mes publications précédentes: La théorie aqueuse est insuffisante pour expliquer les phénomènes observés, elle doit donc être abandonnée.
