# Sur l'origine artificielle de la coloration verte du verre basaltique altéré des hyaloclastites de Palagonia (Sicile)

Autor(en): **Honnorez, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **49 (1969)**

Heft 1

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-38585

**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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Sur l'origine artificielle de la coloration verte du verre basaltique altéré des hyaloclastites de Palagonia (Sicile)

Par *J. Honnorez* (Heidelberg)*)

Avec 3 figures dans le texte

**Résumé**

De nombreux auteurs avaient décrit, dans des volcanites basiques sub-aquatiques de diverses régions, des verres caractérisés par une teinte verte.

L'auteur observe qu'un verre vert ($V_3$) accompagne les verres frais ($V_1$) et altéré ($V_2$) constituants essentiels des hyaloclastites de Palagonia (S-E de la Sicile). Il démontre, par plusieurs séries de lames minces fabriquées suivant des critères choisis et contrôlés, que la teinte verte caractéristique du $V_3$ est artificielle: elle apparaît lors de la cuisson du baume du Canada des lames minces à des températures inférieures à 100° C.

L'analyse chimique ($H_2O^+$ et $H_2O^-$), l'analyse thermopondérale et l'ATD permettent d'affirmer que l'apparition de la coloration verte est liée au départ de l'eau adsorbée par le verre altéré.

**Abstract**

Many authors have described the green-coloured glasses found in the subacqueous basic volcanic rocks from several countries. It is observed that some hyaloclastites from Palagonia (S-E Sicily) consist essentially of unaltered and altered glasses ($V_1$ and $V_2$) cimented by zeolites, and subordinately of green glass ($V_3$). It is demonstrated that this green colour is artificial: it appears during the cooking of the Canadian balsam at temperatures lower than 100° C. The chemical analysis, the thermoponderal analysis and the DTA indicate that the green colouration is related to the evaporation of the adsorbed water from the glass $V_2$.

## INTRODUCTION

Rappelons brièvement que le terme hyaloclastite, créé par RITTMANN en 1958, désigne une volcanite clastique vitreuse qui résulte de la vitrification et de la granulation d'un magma basique au contact de l'eau de mer lors d'érup-

*) Adresse actuelle: Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Berliner Strasse 19, D-69 Heidelberg.

tions sous-marines (HONNOREZ 1961). L'apparition des hyaloclastites n'est pas nécessairement liée à la formation de pillows ou de coulées de laves.

Le verre basique frais a été successivement dénommé: *tachylyte* (BREITHAUPT 1826, p. 112), *sideromelane* (VON WALTERSHAUSEN 1846, p. 202–204), *hyalomelane* (HAUSMANN 1847, p. 545), *basaltvytrophyr* (ROSENBUSCH 1877, p. 445), *hyalobasalt* (ROSENBUSCH 1887, p. 739), *obsidienne basaltique* (COHEN 1880, p. 26) et *hydrotachylyte* (PEACOCK 1926).

Dès l'instant de l'éruption qui les engendre, les granules de verre frais subissent une altération qui transforme le verre basique initial en un verre résiduel que VON WALTERSHAUSEN (1846, p. 34) a appelé *palagonite*[1]). Cette transformation que, à la suite de FERMOR (1925), nous appellerons *palagonitisation*, s'accompagne de la cristallisation de minéraux secondaires, montmorillonitoïdes, zéolites et carbonates, qui représentent la majorité des éléments du verre basique mobilisés lors de l'halmyrolyse auxquels sont venus se joindre les sels de l'eau de mer (HONNOREZ 1967).

Les hyaloclastites typiques de Palagonia sont formées de granules vitreux, fréquemment constitués d'un noyau de verre frais ($V_1$) qu'entoure une couronne réactionnelle de verre résiduel ($V_2$) ou le plus souvent de verre résiduel seul. Les granules vitreux sont bordés par un double liséré de spadaïte et de gyrolite et ils sont cimentés par des minéraux secondaires parmi lesquels dominent la phillipsite sodique ou la chabazite.

Dans les lignes qui suivent, nous tentrons d'expliquer la présence dans les lames minces de certaines hyaloclasites, d'un verre de couleur verte qui accompagne souvent les verres $V_1$ et $V_2$.

Nombreux sont les auteurs qui ont observé des verres basiques de teinte verte dans les lames minces et les poudres des „tufs palagonitiques" qu'ils étudiaient.

Dès 1846, VON WALTERSHAUSEN (1846, p. 202–204) observe que la couleur du sidéromelane et de la palagonite associés dans le „Pipernotuff" de Palagonia, varie du noir au vert olive.

En 1891, MURRAY et RENARD décrivent (1891) à plusieurs reprises le verre altéré des volcanites draguées dans l'Atlantique par H. M. S. „Challenger": leur couleur en lame mince, peut-être verte. Les multiples descriptions et les gravures coloriées qui illustrent leur rapport sont suffisamment claires à ce sujet.

Peacock parle lui aussi du verre basique altéré de couleur vert pomme, gris-vert ou brun-vert (TYRREL et PEACOCK, 1926), des tufs palagonitiques d'Islande.

Enfin, DENAEYER (1963, p. 207) déclare; à propos des hyaloclastites du lac Kivu:

[1]) Du nom du village de Palagonia dont les affleurements sont parmi les plus représentatifs du volcanisme basique sous-marin Pliocène des Monts Hybléens (Sud-Est de la Sicile).

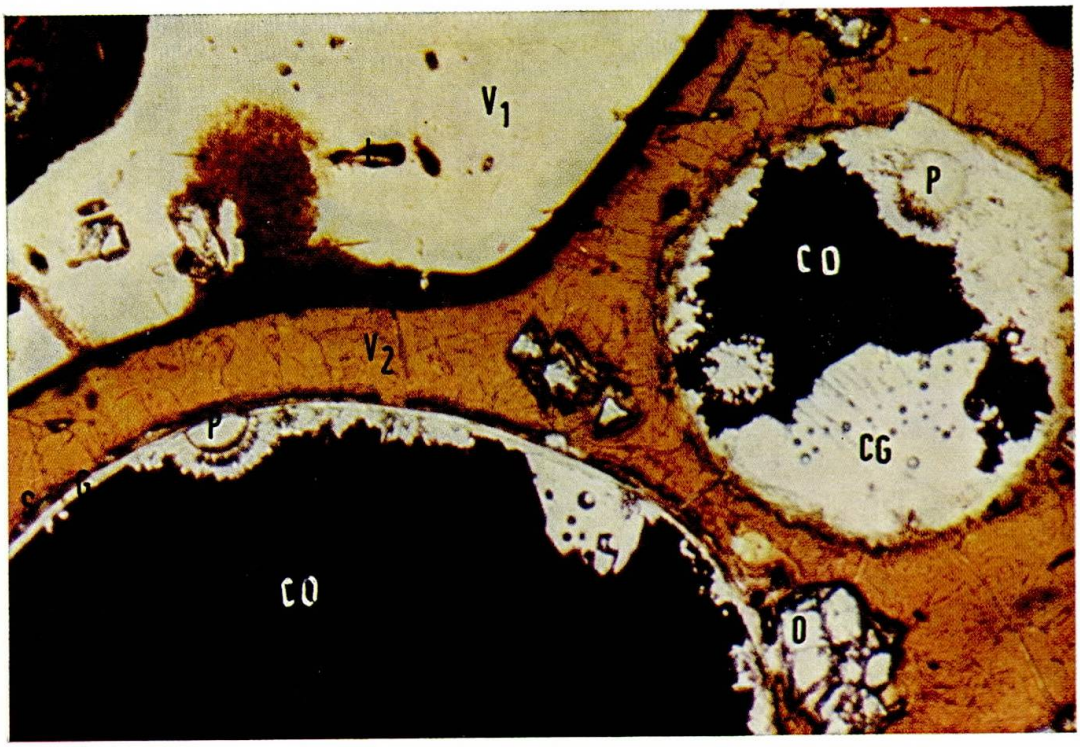


Fig. 1. Structure des granules vitreux $G_{1-2}$ de l'hyaloclastite massive de la Contrada Acqua Amara (Palagonia). Grossissement 42 ×, nicols //. $V_1$ = verre frais, $V_2$ = verre altéré, L = labrador à 60 % An, O = olivine, S = spadaïte, G = gyrolite, P = phillipsite, CG = chabazite et gmelinite, CO = calcite et opale.

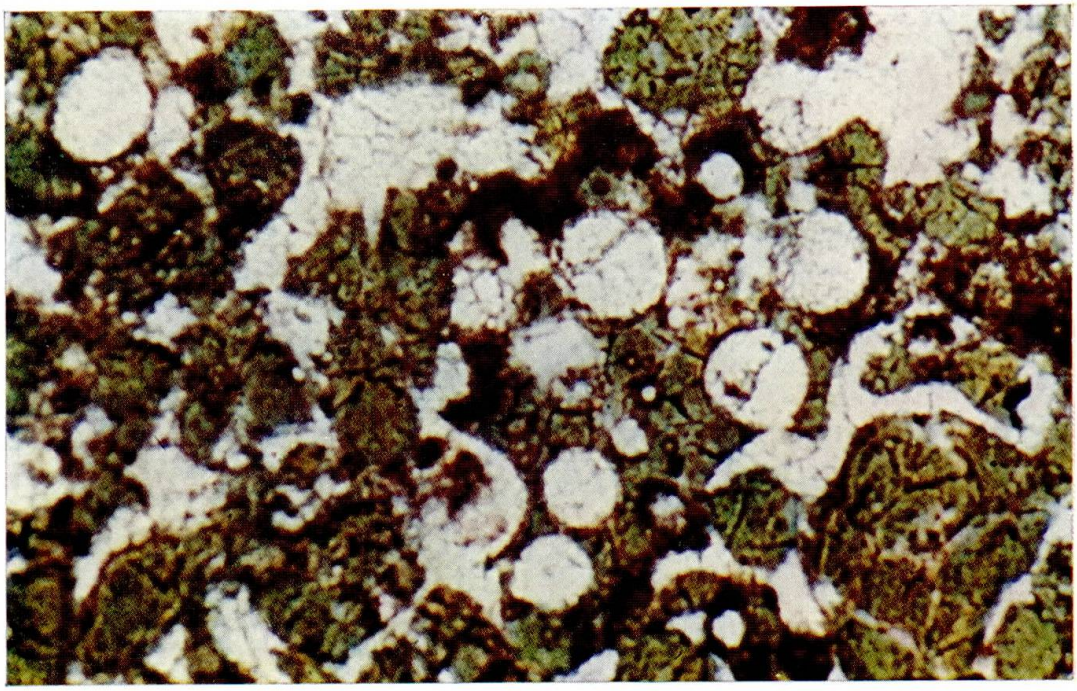

Fig. 2. Structure des granules vitreux de l'hyaloclastite stratifiée de la Contrada Acqua Amara (Palagonia). Grossissement 42 ×, nicols //. $V_3$ = verre altéré vert, Z = zéolites.

„Cette altération se manifeste par une modification de couleur qui devient, en général, jaune or ou jaune orangé, parfois brun roux, jaune verdâtre ou vert."

Ces quatre citations ne sont que quelques exemples parmi tant d'autres; il aurait encore fallut citer COHEN (1880, p. 26), LJAKHOVITCH (1957), NAYUDU (1964), et BREW et MUFFLER (1965) pour établir une liste plus complète mais non exhaustive.

## LES CONSTITUANTS VITREUX DES HYALOCLASTITES DE PALAGONIA

Lors de l'étude de la palagonitisation du verre basique de Palagonia (HONNOREZ 1967, p. 74) nous avons décrit les trois variétés de verre volcanique qui constituent l'essentiel des hyaloclastites de cette localité: le verre $V_1$, le verre $V_2$ et le verre $V_3$ (voir fig. 1).

### Le verre frais $V_1$

Il s'agit d'un verre homogène de couleur *jaune miel* ou mastic. Il est traversé par quelques grandes fissures, mais l'observation en lumière réfléchie de lames minces polies permet de voir qu'il existe un véritable réseau de très petites fissures.

Ce verre est parfaitement *isotrope* et son indice de réfraction est de 1,581. Sa densité est de 2,73 et sa température de fusion se situe aux environs de 1125°.

### Le verre résiduel $V_2$

Il s'agit d'un verre chagriné de couleur *jaune or à jaune orange*. Il est parcouru par de nombreuses fissures très visibles entre nicols croisés. Le long de ces fissures, il arrive que le verre présente une biréfringence floue de tension.

L'indice de réfraction de ce verre varie entre 1,49 et 1,54. Sa densité est de 2,42.

### Le verre résiduel $V_3$

Il s'agit d'un verre d'une couleur verte variable: vert olive, vert bronze, vert pistache, vert d'herbe. etc... (voir fig. 2).

Il est souvent biréfringent et son indice de réfraction est très variable: souvent inférieur à 1,54, il arrive cependant qu'il y soit supérieur.

Les verres $V_1$ et $V_2$ correspondent respectivement aux „sidéromelane", „tachylyte", etc... et à la „palagonite" de la littérature.

Le verre $V_3$ apparaissait de façon aberrante et sporadique dans les lames minces de certaines hyaloclastites de Palagonia. Par exemple, tandis qu'il était exceptionnellement présent dans une seule des 25 lames minces de

l'hyaloclastite massive de la Contrada Acqua Amara, le verre $V_3$ était fréquent dans les 15 lames minces de l'hyaloclastite stratifiée du même affleurement.

On aurait été tenté de penser à une relation entre l'apparition du $V_3$ et la genèse, la mise en place ou l'altération de la roche qui le contenait. Mais on constatait que, si le verre $V_3$ était abondant dans la première lame mince taillée dans un échantillon d'hyaloclastite donné, il faisait complètement défaut dans la seconde lame provenant du même échantillon.

Ce verre vert n'était jamais associé au verre $V_1$, ni au verre $V_2$ lorsque celui-ci entourait un noyau de $V_1$. Le $V_3$ pouvait constituer une couronne entourant un noyau de $V_2$ ou, au contraire, constituer un noyau qu'entourait une couronne de $V_2$. Il pouvait encore être associé au même $V_2$ sous forme de taches informes donnant aux granules l'aspect d'un camouflage militaire.

Ne voyant aucune relation logique de ce verre $V_3$ avec les autres types de verre, nous avons suspecté une origine artificielle de la coloration verte du $V_3$[2]); pour vérifier cette hypothèse, nous avons procédé à la comparaison de plusieurs séries de lames minces dans les échantillons X, A, B, D et L.

Les échantillons X et A correspondent au faciès brun de l'hyaloclastite stratifiée de la Contrada Acqua Amara (Palagonia) altérée en conditions sous-marines puis atmosphériques, alors que les échantillons B et D représentent le faciès noir de la même roche qui a subi l'halmyrolyse seule. L'échantillon L a été prélevé dans l'hyaloclastite massive noire du même affleurement.

## SÉRIE I

Il s'agit de six lames minces taillées dans l'échantillon B selon le schéma de la fig. 3.

Comme toutes les précédentes, ces lames minces ont été sciées et dressées à l'eau. On a collé la première face sur le porte-objet au moyen de baume de Canada synthétique; lors de cette opération, la température de la roche pouvait atteindre environ 135° C, et ce, durant deux à cinq minutes. Le couvre-objet a été collé au moyen de baume de Canada, qui, ensuite, a été cuit à l'étuve pendant plusieurs jours. La cuisson du baume se fait, à ce moment, à une température de 55–60° C.

Signalons que, à différents stades de la fabrication, des bulles apparaissent très fréquemment, aussi bien entre le porte-objet et la roche qu'entre celle-ci et le couvre-objet.

L'étude au microscope des six lames minces permet de constater que l'échantillon B est constitué de minéraux secondaires (spadaïte et chabazite) et de granules $V_2$ et/ou de $V_3$, à l'exclusion de $V_1$. Le $V_3$ domine dans certaines zones

[2]) Allen et Scheid (1946, p. 308) l'avaient aussi suspecté.

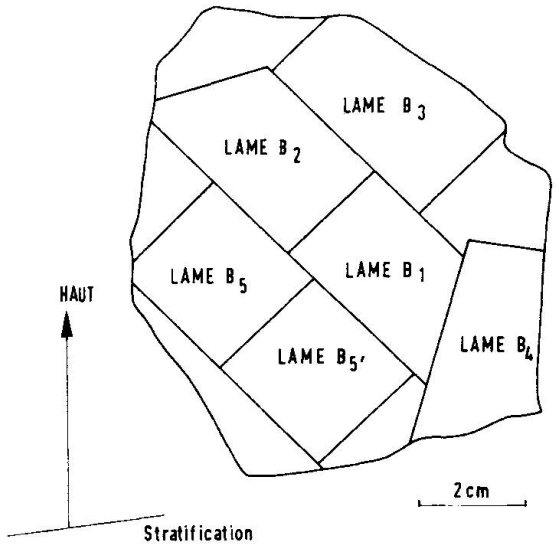


Fig. 3. Emplacements des lames-minces de la série I par rapport à la stratification de l'hyaloclastite stratifiée de la Contrada Acqua Amara (Palagonia).

de la roche qui recoupent la stratification, quel que soit le niveau de celle-ci où la lame a été taillée. Le passage d'une zone où le $V_3$ domine à une zone où il est absent est très rapide.

On peut donc conclure que la présence ou l'absence de verre vert n'est pas liée à des différences de composition des verres ou de structures des granules, différences qui auraient été propres à un niveau, à une strate de la roche. L'origine du verre $V_3$ doit être cherchée dans un processus postérieur à la mise en place de la roche dans son état actuel, donc également postérieur à son altération.

Nous avons alors pensé que le procédé de fabrication des lames minces pouvait être mis en cause. Ce procédé entraîne, en effet, différentes possibilités d'hydratation et de chauffe du verre altéré $V_2$:

1. une hydratation lors du sciage de la roche et du dressage de la première face;
2. une déshydratation lors du collage de cette face sur le porte-objet au moyen de baume de Canada synthétique;
3. une hydratation lors du dressage de la seconde face;
4. une déshydratation lors du collage du couvre-objet au moyen de baume de Canada naturel.

## SÉRIE 2

Afin d'éviter l'hydratation et le chauffage du verre, on a scié et dressé six lames minces des différents échantillons en utilisant le pétrole comme lubrifiant au lieu de l'eau; on les a ensuite collées sur les porte-objet et couvre-objet à l'aide de silicate de soude, donc à froid.

On constate alors que la coloration verte est absente des six lames. Par conséquent, le chauffage et/ou l'hydratation du verre lors de la fabrication des lames minces sont bien seuls en cause.

Il faut cependant faire remarquer qu'une légère hydratation du verre basique altéré pouvait se produire puisque le silicate de soude est une solution hydratée et qu'il rejette une certaine quantité d'eau lorsqu'il cristallise. On ne pouvait donc être certain d'avoir évité l'hydratation du verre.

### SÉRIE 3

Aussi, en guise de contrôle, on a procédé à la fabrication de huit lames minces des différents échantillons, sciées et dressées dans le pétrole et collées au moyen de plastic Palatal (BASF). On était donc tout à fait sûr d'avoir évité le chauffage aussi bien que l'hydratation du verre.

Ici encore, on n'a observé la présence de verre vert dans aucune des lames.

Il restait à savoir laquelle des deux opérations de chauffage ou de dressage-sciage provoquait l'apparition de la coloration verte.

### SÉRIE 4

Pour éviter la seule hydratation de la roche lors du sciage et du dressage des lames minces, ces opérations ont été effectuées à l'aide de pétrole. Les collages ont été faits au moyen de baume de Canada et en utilisant la plaque chauffante et l'étuve.

Cette fois, on observe que les granules verts apparaissent dans chacune des six nouvelles lames. Ils forment l'essentiel dans la lame B et apparaissent même en très petite quantité dans une lame taillée dans l'hyaloclastite massive.

La présence de la coloration verte n'est donc pas due à une hydratation lors du sciage ou du dressage et elle ne peut être qu'imputée au chauffage de la lame mince lors des collages.

### SÉRIE 5

Cette fois, c'est le chauffage seul que l'on voulait éviter. Aussi les lames sciées et dressés dans l'eau ont été collées au moyen du plastic Palatal.

La coloration verte n'est apparue dans aucune des sept lames des différents échantillons fabriquées selon ce procédé.

Cela confirmait que l'apparition du verre vert du type $V_3$ était intimement liée aux opérations de chauffage.

Enfin, pour déterminer le moment et les conditions qui régissent l'apparition de la coloration verte des granules vitreux, on a procédé à la fabrication d'une dernière série de lames.

## SÉRIE 6

Neuf lames des hyaloclastites stratifiées B et E ont été sciées et dressées dans le pétrole.

Toutes ont été collées sur leur porte-objet à l'aide du baume de Canada synthétique.

La seconde face a encore été dressée dans le pétrole et lorsque les lames avaient atteint l'épaisseur de 0,03 mm, elles ont été observées au microscope.

Tous les granules vitreux étaient, à ce moment, exclusivement constitués de $V_2$ jaune or. Il existait aussi quelques rares noyaux de $V_1$ jaune mastic. Six des neuf lames ont alors été recouvertes par un couvre-objet collé au baume de Canada naturel. Le chauffage lors de cette opération a duré 1,30 à 2,30 minutes et la température de la roche n'a pas dépassé 82°.

Les six lames recouvertes par un couvre-objet et les trois lames non couvertes ont été introduites dans l'étuve qui avait une température de 52°. Les lames y ont été laissées six jours. Durant les quatre premières heures, elles ont été observées au microscope à des intervalles d'environ une demi-heure; durant les vingt heures qui ont suivi, elles ont été observées toutes les heures. Enfin, pour les cinq derniers jours, les intervalles d'observations étaient de 24 heures.

Pendant ces six journées, la température de l'étuve a varié de 45 à 70°, tout en restant le plus souvent comprise entre 50 et 65°.

Au cours de cette expérience, on a pu faire les observations suivantes:

— La coloration verte de granules vitreux n'est jamais apparue dans les trois lames non couvertes.

— Le chauffage de la roche pendant 1 à 3 minutes à 82°, lors du collage du porte-objet sur la plaque chauffante, n'a eu aucune influence sur la coloration du verre basique.

— Le changement de teinte des granules vitreux du jaune or au vert, se produit brusquement après 1 à 3 heures de chauffage dans une étuve à 50° ou après une demi-heure à deux heures pour une température de 65°.

— L'extension de la couleur verte aux différents granules des lames, est progressive. De même, la teinte verte devient progressivement plus vive.

— L'extention et l'intensité de la teinte du $V_3$ sont d'autant plus rapides que la température de l'étuve est élevée.

— Après environ 35 heures de chauffage à l'étuve, on n'observe plus de variation ni dans l'intensité ni dans l'extension de la coloration verte.

— L'apparition de bulles entre la roche et le porte-objet ou le couvre-objet, ne se produit qu'après 3 à 4 jours de chauffage. Elle n'est pas généralisée.

## SÉRIE 7

Une dernière expérience a été tentée. Quatre lames minces sciées à l'eau dans l'hyaloclastite stratifiée B ont été dressées au pétrole et collées sur un porte-objet au moyen de baume de Canada synthétique. Les lames ont ensuite été recouvertes par des couvre-objets collés au moyen de baume de Canada.

Après ces diverses opérations, on observait au microscope la seule coloration jaune-or des granules vitreux.

Les lames ont alors été placées sur une plaque chauffante dont la température passait de 0 à 90° en deux heures.

Après une heure trente minutes, la plupart des granules vitreux étaient devenus vert pâle à vert pistache et on observait la présence de nombreuses grosses bulles rondes sous les couvre-objets. La température était à ce moment de 87°. Une demi-heure plus tard, la température atteignait 90°, et tous les granules vitreux avaient acquis une teinte vert d'herbe, très fonçée (voir fig. 2).

## CONCLUSIONS

Ces expériences permettent de tirer les conclusions suivantes:

1. Le changement de teinte des granules vitreux de jaune-or au vert est bien artificiel. Il est provoqué par un chauffage à des températures inférieures à 100° (50 à 65°).

   Ce changement de coloration est d'autant plus rapide et la teinte est d'autant plus prononcée que la température est élevée (85°).

   Mais le changement de teinte ne se produit pas si le temps de chauffe est trop court comme c'est le cas lors du collage du porte-objet. Et pourtant à ce moment la température atteint et dépasse 135°.
2. Ce phénomène semble dû à l'eau dégagée par le verre lorsque celui-ci est chauffé, puisque d'une part l'apparition de la coloration verte précède celle des bulles, mais que d'autre part, elle ne se produit que si cette eau est „retenue" par un couvre-objet.

   Rappelons que les lames de roche non couvertes ne changent pas de teinte.

Il s'agit donc d'une eau d'imbibition de la roche. Les hyaloclastites de Palagonia peuvent contenir jusqu'à près de 18% de cette eau ce qui, à titre d'information, fait avec les 10% d'$H_2O^+$, un total de 28% d'eau.

Mais l'eau qui intervient dans la coloration verte du verre altéré est-elle adsorbée sur le verre ou s'agit-il de cette partie de l'eau des zéolites (phillipsite sodique et chabazite essentiellement) qui part à moins de 100° C?

L'analyse thermique différentielle et l'analyse thermopondérale nous ont confirmé les valeurs données par l'analyse chimique ($H_2O^+$ et $H_2O^-$): la majo-

rité de l'eau contenue par les hyaloclastites de Palagonia est adsorbée et plus aucune variation sensible de poids ne se produit au dessus de 350° C (voir fig. 4).

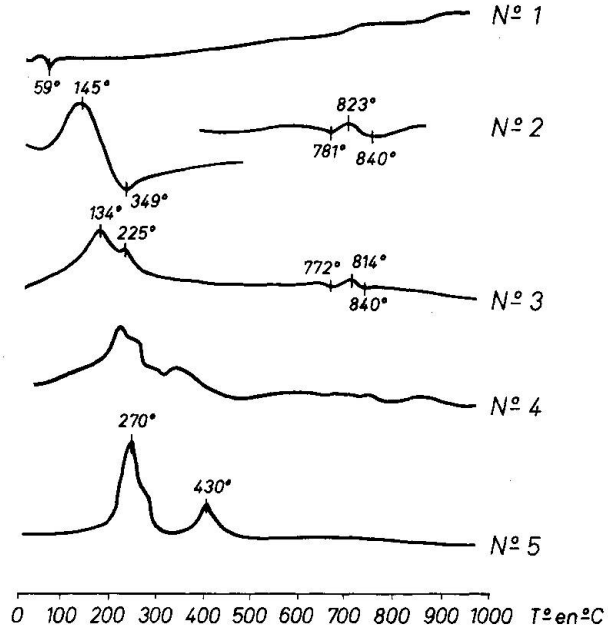


Fig. 4. Diagrammes de l'analyse thermique différentielle des constituants des hyaloclastites de la Contrada Acqua Amara (Palagonia).

N° 1 = Verre frais $V_1$. N° 2 = Verre altéré $V_2$. N° 3 = Phillipsite dominant dans l'hyaloclastite massive de la Contrada Acqua Amara (Palagonia). N° 4 = Phillipsite de Diszel (d'après Pécsi-Donáth 1962). N° 5 = Phillipsite du Monte Somma (d'après Scherillo 1963).

L'ATD nous a encore appris que:

— La quantité d'eau adsorbée par le verre frais est très faible; or le $V_1$ lorsqu'il existe, représente, au maximum, 18% en volume des hyaloclastites.

— La quantité d'eau adsorbée par les zéolites est moins importante que l'eau absorbée par ces minéraux: 28% de l'eau totale de la zéolite (10 à 30% selon Hoss et Roy 1960, fig. 5) qui représente 27 à 30% des hyaloclastites de Palagonia.

Le rôle de ces deux eaux d'imbibition est donc négligeable en tout cas, elles sont nettement moins importantes que l'eau d'imbibition du $V_2$.

— La quantité d'eau adsorbée par le verre altéré $V_2$ est, de loin, plus importante que son eau de constitution. De plus, comme ce verre constitue 45 à 58% des hyaloclastites, nous pouvons en déduire que l'eau d'imbibition du verre altéré $V_2$ représente l'essentiel de l'eau succeptible d'entraîner la coloration verte du $V_3$.

Mais la coloration verte est-elle liée à l'état du fer dans le verre basique altéré et l'apparition de cette teinte serait-elle due à une réaction de réduction?

Vouloir répondre à cette question nous aurait entraîné hors du cadre de la thèse de doctorat dont ce travail est extrait et aurait exigé un matériel dont nous ne disposions pas.

Nous retiendrons la conclusion suivante:

Dans le cas des hyaloclastites de Palagonia que nous avons étudiées, la présence de verre vert du type $V_3$ est artificielle: il faut l'imputer à une réaction liée au départ de l'eau adsorbée par le verre altéré $V_2$.

Bien qu'il soit imprudent de généraliser cette observation, il est très probable que la majorité des verres basiques verts observés jusqu'à maintenant au microscope ne soient que le résultat d'un processus artificiel qui affecte le verre volcanique lors de la fabrication des lames minces.

Il ne faut cependant pas confondre la teinte verte du verre $V_3$ qui est une coloration de matière amorphe, avec la teint verte de certains verres plus ou moins dévitrifiés qui, elle, est due à la présence de minéraux du groupe de la chlorite ou de la serpentine. C'est, par exemple, le cas des méta-hyaloclastites de la nappe pennique de Platta (Suisse) qui ont subit un métamorphisme épizonal (DIETRICH 1967).

D'autre part, il n'est pas exclu qu'une altération hydrothermale puisse, dans certaines conditions, être responsable de la présence naturelle de verre altéré de couleur verte.

*Remerciements.* Je remercie Messieurs W. De Kayser et R. Wollast, respectivement Directeur et Chargé de cours du Service de Chimie Industrielle de l'Université Libre de Bruxelles, qui m'ont permi d'utiliser les appareils d'analyse thermique différentielle et thermopondérale de leurs laboratoires.

Je remercie Messieurs J. Tistaert, G. Van Gerewey et R. Vermeire, techniciens à l'U.L.B., dont l'habileté a eu raison des difficultés de fabrication des lames minces dans les hyaloclastites.

Cet article est extrait d'une thèse de doctorat préparée avec l'aide financière du Centre National de Volcanologie et de l'Institut Belge de Volcanologie.

## BIBLIOGRAPHIE

ALLEN, V. T. and SCHEID, V. E. (1946): Nontronite in the Columbia River Region. Amer. Mineral. *31*, p. 294–312.

BREITHAUPT, A. (1826): Tachylit, sehr wahrscheinlich eine neue Mineral-Spezies. Kastner's Arch. gesamte Natur. *VII*, p. 112–113.

BREW, D. A. and MUFFLER, L. J. P. (1965): Upper Triassic undevitrified volcanic glass from Hound Island, Keku Strait, South-eastern Alaska. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper 525-C, p. C 38–C 43.

COHEN, C. (1880): Über Laven von Hawaii und einigen anderen Inseln des Grossen Oceans, nebst einigen Bemerkungen über glasige Gesteine im allgemeinen. N. Jb. Mineral., *11*, p. 23–62.

DENAEYER, M.-E. (1963): Les hyaloclastites de la rive nord du Lac Kivu. Bull. Volc. *XXV*, p. 201–215.

Dietrich, V. (1967): Geosynklinaler Vulkanismus in den oberen penninischen Decken Graubündens (Schweiz). Geol. Rdsch. *57*, p. 246–264.

Fermor, L. L. (1925): On the basaltic lavas penetrated by a deep boring for coal at Bushawal, Bombay Residency. Rec. Geol. Surv. India, *60*, p. 411–430.

Hausmann, J. (1847): Handbuch der Mineralogie. T. II, 2⁰ Ed., Göttingen.

Honnorez, J. (1961): Sur l'origine des hyaloclastites. Bull. Soc. belg. Geol. *LXXI*, p. 297–316.

— (1967): La palagonitisation. Un aspect du volcanisme sous-marin: l'altération du verre basique de Palagonia (Sicile). Thèse doc., Univ. Libre Bruxelles.

Hoss, H. and Roy, R. (1960): Zeolite studies III: On natural phillipsite, gismondite, harmotome, chabazite and gmelinite. Beitr. Mineral. Petr. *7*, p. 389–408.

Ljakhovitch, V. V. (1957): K mineralogii palagonitov. Mineral. Sbornik Vloskogo geol. obchtchestva, *11*, p. 193–222.

Murray, J. and Renard, A. F. (1891): Report on deep deposits based on the specimens collected during the voyage of HMS "Challenger" in the years 1872/76. London.

Nayudu, R. Y. (1964): Palagonite tuffs (hyaloclastites) and the products of post-eruptive processes. Bull. Volc. *XXVII*, p. 1–20.

Pécsi-Donáth, É. (1962): Investigation of the thermal decomposition of zeolites by the DTA method. Acta Geol., Magyar Tudományos Akad. *VI*, p. 429–442.

Rosenbusch, H. (1877): Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine. Part. II, I. Ed., Stuttgart.

— (1887): Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine. Part. II, I. Ed., Stuttgart.

Scherillo, A. (1963): Le piroclastiti. Chap. XIII in „La regione vulcanica dei Colli Albani (Vulcano Laziale)". C.N.R., Rome.

Tyrell, G. W. and Peacock, M. A. (1926): The petrology of Iceland-Preface and Part I: the basic tuffs. Trans. Royal Soc. Edinburgh, T. 55, p. 51–76.

von Waltershausen, S. (1846): Über die submarinen vulkanischen Ausbrüche in der Tertiär-Formation des Val di Noto im Vergleich mit verwandten Erscheinungen am Ätna. Abgedruckt aus den Göttinger Studien.

Manuscrit reçu le 27 septembre 1968.