

Zeitschrift:	Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber:	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band:	23 (1970)
Heft:	2
Artikel:	Étude pétrographique des opiolites et des granites du flysch des Gets (Haute-Savoie, France)
Autor:	Bertrand, Jean
Kapitel:	3: Les inclusions dans les serpentinites
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-739139

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TROISIÈME PARTIE

LES INCLUSIONS DANS LES SERPENTINITES

Introduction

Relativement peu intéressantes en elles-mêmes (caractère fort limité des affleurements, état de conservation souvent très mauvais), les serpentinites de la région des Gets n'en sont pas moins l'un des sujets dont l'étude est la plus passionnante, ceci étant donné les nombreuses et diverses inclusions qu'elles renferment.

Rappelons, en effet, que M. VUAGNAT (1952) fut le premier à signaler dans ce secteur, en même temps qu'au Mont-Genève, la présence d'enclaves, curieusement métamorphosées et baptisées, quelques années après, ophisphérites par M. VUAGNAT et F. JAFFÉ (1954). Dans son travail de thèse, F. JAFFÉ (1955) s'est déjà intéressé tout particulièrement à ces inclusions dont il donne plusieurs descriptions pétrographiques et analyses chimiques. Ces divers travaux, joints à ceux de M. VUAGNAT (1953), M. VUAGNAT et L. PUSZTASZERI (1964), M. VUAGNAT (1965 et 1967) apporteront au lecteur intéressé toutes les données actuelles concernant la pétrographie, le chimisme et les hypothèses sur les divers modes de formation envisagés tant pour les ophisphérites que pour l'ensemble des inclusions dans les serpentinites et, en particulier, pour les rodingites dont certaines analogies avec les ophisphérites sont relevées.

Si, dans la région des Gets, les ophisphérites sont incontestablement les plus spectaculaires et les plus intéressants des « éléments étrangers » associés à l'ultrabasite, ce ne sont pas les seuls. En effet, ainsi que nous l'avons mentionné lors de la description des affleurements, on observe en certains points (le Bartoli, la Charnia, le Crêt) des zones que l'on peut attribuer à des vestiges de filons; ailleurs, des lentilles ou fragments, dont certains relativement importants (le Bartoli, le ruisseau des Bounaz), ont une origine plus incertaine; enfin, divers débris de taille comparable à celle des ophisphérites mais n'en présentant pas les zonations caractéristiques (ophisphérites dont il ne reste que le « noyau » ou fragments n'ayant jamais été ophisphérités), sont aussi dispersés dans les serpentinites.

Il est ainsi possible de classer ces diverses inclusions en trois catégories:

- 1) *Vestiges de filons, lames tectoniques;*
- 2) *fragments, lentilles de natures diverses;*
- 3) *ophisphérites.*

Avant de traiter séparément chacune de ces subdivisions, voyons, d'une manière globale, quel peut être l'inventaire minéralogique d'enclaves de caractères si variés.

1. DESCRIPTIONS MINÉRALOGIQUES

Plagioclase :

Ce constituant essentiel apparaît:

- 1) En *microlites*, parfois en *phénocristaux*, dans les roches à structures franchement diabasiques.
- 2) En *cristaux plus trapus*, à contours irréguliers, portant souvent les traces d'actions mécaniques; suivant leur taille, ils caractérisent alors soit les diabases hypidiomorphes grenues soit les gabbros.

Comme nous l'avons souligné lors de la description pétrographique des gabbros et des diabases en liaison plus ou moins étroite avec les serpentinites, la composition du plagioclase, surtout dans les ophisphérites, est sujette à de nombreuses variations.

Ces variations, révélées avant tout par les analyses roentgenographiques effectuées sur de nombreux échantillons représentatifs de toutes les variétés d'ophisphérites, et confirmées par quelques résultats obtenus à l'aide de la microsonde électronique (J. BERTRAND, 1968), paraissent s'échelonner entre des teneurs en anorthite voisines de 40% pour les termes les plus basiques, et de 0% à 5% pour les plus acides. L'étude du plagioclase en lames minces ne permet pas de mettre clairement en évidence ces changements de composition, la détermination des propriétés optiques étant rendue difficile, et souvent impossible, par la présence de nombreuses et fines écailles de chlorite et de séricite, même dans les roches les plus fraîches. A propos de ces développements, on relèvera leur fréquente tendance à affecter davantage la partie centrale des microlites et à être plus abondants, soit dans les phénocristaux, soit dans les plages largement cristallisées, des gabbros par exemple; un tel mode de distribution pourrait être lié à certaines différences de composition primitive bien que, par ailleurs, on n'observe jamais de cristaux véritablement zonés. Indépendamment des cristallisations de chlorite et de séricite, le plagioclase des roches incluses dans les serpentinites peut être affecté par divers autres remplacements de caractère beaucoup moins constant. Ce sont des formations:

- d'*épidotes*, le plus souvent très fines et disséminées (*clinozoisite* surtout), sauf dans certaines ophisphérites (ophisphérites épidotiques) dans lesquelles ces développements peuvent montrer une très grande extension;
- de *pumpellyite*, moins fréquentes, très finement cristallisées, excepté dans certaines ophisphérites gabroïques;
- de *prehnite*, très occasionnelles, associées à celles de pumpellyite, et observables seulement dans quelques ophisphérites gabroïques;
- de *calcite* (avec séricite, chlorite, épidote, pumpellyite) sans doute accidentelles, puisqu'observées dans une seule ophisphérite diabasique;
- d'*actinote-trémolite* enfin, pouvant apparaître occasionnellement en rares et minuscules cristaux aciculaires.

L'étude de nombreuses ophisphérites nous a conduit à envisager une relation très nette entre la composition du plagioclase et l'état de transformation de la roche. En effet, dans les diabases et gabbros les plus frais, les analyses du feldspath révèlent, le plus souvent, une teneur en anorthite comprise entre 40 et 30% environ, teneur qui s'abaisse suivant l'importance des développements métamorphiques. Ainsi, lorsque la hornblende (ou le pyroxène) est largement remplacée par une actinote-trémolite, ce pourcentage oscille entre 30 et 10%; dans les cas (rares) où les développements de pumpellyite, parfois associée à de la prehnite, sont importants, la teneur en anorthite est encore moins élevée puisque comprise entre 10 et 0%; enfin, dans la diabase essentiellement chloritique qui apparaît au *point I* du Bartoli, le plagioclase correspond à une albite.

Toutefois, comme nous l'avons déjà dit en décrivant les diabases massives en liaison plus ou moins étroite avec les serpentinites, ces changements de composition liés à l'intensité des transformations métamorphiques ne doivent pas exclure l'existence de certaines variations primaires de composition; d'autre part, comme l'ont confirmé quelques mesures à la microsonde électronique, dans chaque type de roche, et surtout dans les variétés les plus fraîches, les cristaux de plagioclase montrent de sensibles différences de composition attribuables uniquement à des recristallisations secondaires albitiques (ces dernières apparaissent plus limpides et généralement exempte de développements chloriteux et sérichtiques). Les ségrégations albitiques, dont nous faisons dériver certaines des rares ophisphérites feldspathiques observées, correspondent sans doute à de telles recristallisations, mais alors beaucoup plus importantes.

Amphiboles :

Le composant mélanocrate de loin le plus fréquent, et souvent très abondant, des roches observées en inclusions dans les serpentinites est une hornblende brune en tous points comparable à celle observée et décrite, soit dans les gabbros, soit dans les diabases massives en liaison plus ou moins étroite avec les serpentinites; il s'agit, comme nous l'avons vu, d'une *kaersutite*.

S'il n'est pas rare que cette hornblende soit demeurée quasiment fraîche dans certaines inclusions, il est toutefois plus fréquent qu'elle se présente partiellement ou totalement remplacée, soit par de la chlorite, soit par une amphibole secondaire, une actinote-trémolite, associée à de la chlorite; relevons que le remplacement par la chlorite seule s'accompagne d'une libération plus ou moins importante de granules de minéraux titanifères, certaines plages pouvant même, de ce fait, apparaître presque opaques. Ce phénomène est particulièrement visible dans les zones chloritisées des ophisphérites, enclaves qui dérivent, dans leur grande majorité, de roches à hornblende brune.

Beaucoup plus rarement, dans quelques inclusions, on observe une *hornblende brun-vert*, affectée par les mêmes altérations que la kaersutite, mais presque toujours largement remplacée par l'actinote-trémolite. Bien que l'on puisse également invoquer une différence de composition originelle pour expliquer l'existence de cette variété, il semble plutôt qu'il s'agit d'un terme intermédiaire entre hornblende brune et actinote-trémolite, comme certains passages le montrent parfois.

L'*actinote-trémolite* ne résulte pas uniquement de la transformation de la hornblende, mais aussi de celle du pyroxène qui, le plus souvent, apparaît associé, en proportions variables, à la hornblende brune, ou parfois comme élément mélanocrate unique ou largement prédominant de certaines roches en inclusions dans les serpentinites (gabbros surtout, quelques diabases). Indépendamment de son habitus aciculaire, l'amphibole secondaire se distingue aisément de la hornblende par ses propriétés optiques; en LN, elle apparaît le plus souvent incolore (trémolite) ou, par places seulement, plus ou moins pléochroïque dans les teintes vert bleuté (actinote). En fait, les diagrammes obtenus par diffraction des R.X. correspondent, généralement, à des termes intermédiaires entre ces deux variétés, raison pour laquelle nous parlons toujours d'actinote-trémolite.

F. JAFFÉ (1955, p. 114, b) a déjà relevé la présence, assez fréquente dans les diabases à amphibole, de petites concentrations de minéraux mélanocrates (à l'origine, formées surtout par de la hornblende brune, en agrégats de petites plages, ou en un cristal unique, mais d'assez grande taille) dont la structure actuelle, liée à des phénomènes d'altération, rappelle souvent celle des enveloppes kélyphitiques. Il est intéressant de noter que l'on retrouve dans ces zones mélanocrates, à une moindre échelle, un phénomène semblable à celui que nous verrons caractériser certaines ophisphérites (ophisphérites « inverses ») dans lesquelles le minéral ferro-magnésien est davantage transformé au centre qu'au bord de l'inclusion. En effet, si parfois dans de telles zones, la hornblende est demeurée pour ainsi dire fraîche dans toute la concentration, on observe le plus souvent les deux types d'altération suivants: 1. La partie centrale, totalement chloritisée, est entourée par une « ceinture » d'actinote-trémolite, la hornblende n'apparaissant que dans la zone externe où elle passe déjà à une

actinote-trémolite. 2. L'actinote-trémolite a totalement envahi le centre de l'accumulation dont seul le pourtour est souligné par une frange de hornblende brun-vert. Indépendamment de ces deux possibilités, un « cœur » pyroxénique peut avoir existé au centre de telles concentrations, comme l'attestent quelques reliques ayant échappé aux transformations mentionnées ci-dessus.

Pyroxène :

Nettement moins bien représenté que la hornblende, ce minéral apparaît tel que décrit, soit dans la partie consacrée aux diabases massives en liaison plus ou moins étroite avec les serpentinites, soit dans celle consacrée aux gabbros. Il s'agit en effet d'une *augite*, plus ou moins titanifère, comme l'indique son pléochroïsme fréquent dans les teintes pâles rose-saumon à mauve, son petit angle 2V et sa dispersion parfois importante; plus largement cristallisée dans les diabases hypidiomorphes grenues ou les gabbros, elle peut alors montrer l'habitus du *diallage*. Rappelons l'association étroite, reflet d'une évolution magmatique, souvent observée entre augite et hornblende: « coeurs » pyroxéniques dans certaines plages d'amphibole lorsque celle-ci est prédominante, ou au contraire, inclusions, marges amphiboliques de certains cristaux de pyroxène.

D'une manière générale, avant la *phase de chloritisation principale* (phase définie plus loin, lors de la description de la chlorite), l'augite semble avoir été déjà passablement « rongée » par la chlorite; elle a aussi été remplacée, d'une façon partielle ou totale, par de l'actinote-trémolite associée à de la chlorite. Sa chloritisation complète ultérieure, souvent réalisée dans les ophisphérites, peut s'accompagner d'une libération plus ou moins intense de granules de minéraux titanifères; toutefois, dans l'ensemble, une telle « exsudation » n'est pas aussi importante que celle consécutive à la chloritisation de la hornblende. Enfin, relevons que dans les ophisphérites affectées par d'intenses recristallisations épidotiques, en plus des transformations mentionnées ci-dessus, le pyroxène, tout comme la hornblende d'ailleurs, peut être partiellement envahi par l'épidote.

Biotite :

Tout à fait accessoire, la biotite n'apparaît nullement de manière constante dans les diverses roches en inclusions dans les serpentinites. Le plus souvent, elle se présente en rares et petites lamelles, fréquemment associées à la hornblende surtout, mais aussi isolées. Dans les roches feldspathiques constituant de rares ophisphérites, ce mica peut être mieux représenté; ainsi, dans les variétés albitiques attribuées à des ségrégations plus tardives, il peut arriver que la biotite, toujours rare, soit l'unique élément mélanocrate; dans les enclaves feldspathiques non albitiques, le mica, parfois en lamelles plus importantes, peut même parfois apparaître très nettement concentré.

Il s'agit d'une biotite brune dont les teintes de pléochroïsme sont très voisines de celles de la hornblende. Son degré d'altération est variable: souvent presque fraîche ou légèrement pâlie par une faible altération, ou encore plus ou moins chloritisée; la chloritisation peut s'accompagner d'une libération de minéraux titanifères finement divisés.

Dans l'enveloppe externe des ophisphérites, alors que plagioclase, hornblende ou pyroxène sont partiellement ou totalement remplacés par de la chlorite, la biotite demeure, le plus souvent, telle qu'au centre de l'inclusion.

Chlorite :

C'est là un des constituants importants des inclusions dans les serpentinites, les phénomènes de chloritisation étant l'une des caractéristiques principales d'un bon nombre de ces enclaves.

Il faut distinguer *deux phases de chloritisation*. *Au cours de la première*, apparaissent les développements chloriteux, généralement fins, plus ou moins abondants, observés dans le plagioclase surtout (et souvent associés à ceux de séricite), mais affectant aussi la hornblende et l'augite, associés ou non à de l'actinote-trémolite.

Durant la seconde phase, plus tardive, se développe la chloritisation intense qui affecte très souvent les inclusions dans les serpentinites et dont le résultat le plus spectaculaire a été la formation des ophisphérites; c'est aussi lors de cette même phase que certaines diabases en contact avec l'ultrabasite (à la Mouille-Ronde) ont été chloritisées. Très semblables, les propriétés optiques des chlorites de ces deux générations sont les suivantes:

En LN, incolores ou d'un vert extrêmement pâle avec un pléochroïsme quasi indistinct; toutefois, il peut arriver qu'une chlorite de la première génération montre, très localement, un pléochroïsme nettement plus accentué (incolore à vert émeraude). En LP, ces chlorites sont le plus souvent isotropes ou presque isotropes et montrent, assez fréquemment, des teintes de dispersion dans les bleus très sombres, plus rarement dans les bruns verdâtres. Infiniment plus rare, et sans doute formée au cours de la première génération, mentionnons encore une variété, soit disposée en agrégats de petites fibres, soit en lamelles plus importantes, montrant une biréfringence plus élevée (elle polarise dans les gris clair du premier ordre) et, tout à fait occasionnellement, un très faible pléochroïsme (incolore à vert rosé); il s'agit sans doute d'un clinochlore.

Les quelques analyses au moyen de la microsonde électronique destinées à illustrer le phénomène de la chloritisation dans les ophisphérites (J. BERTRAND, 1968), ont également permis de révéler certaines différences de composition chimique entre les chlorites formées au cours de l'une ou de l'autre des deux phases définies précédemment, ce qui tend bien à confirmer l'existence de deux stades de formation bien distincts. En effet, la chlorite liée à la phase principale de chloritisation (caractéristique des zones chloritisées des ophisphérites) est avant tout magnésienne, Fe et Al apparaissant, dans l'ordre, en quantités très nettement inférieures; par contre, les développements chloriteux attribués à la première phase, bien que toujours caractérisés par une teneur élevée en Mg, renferment davantage d'Al, la proportion de cet élément étant alors plus importante que celle du Fe, nettement moins abondant que dans l'autre variété de chlorite.

Séricite :

Ce minéral s'observe de manière presque constante, dans les cristaux de plagioclase, en très fins développements, en général nettement moins abondants que ceux de chlorite; toutefois, dans certains cas, il arrive que la séricite remplace très largement le feldspath.

Peut-être en rapport avec une éventuelle zonation primitive du plagioclase, nous avons déjà relevé le mode de distribution de ces fines recristallisations qui, comme celle de chlorite, montrent une fréquente tendance à se concentrer dans la partie centrale des microlites ou des phénocristaux, ces derniers étant par ailleurs davantage affectés par la séricitisation.

Dans les ophisphérites, la chloritisation totale du plagioclase s'accompagne toujours de celle de la séricite, bien que cette dernière puisse disparaître avec un très léger retard par rapport au feldspath.

Epidote :

Ce minéral s'observe:

- 1) Tout à fait occasionnellement et très finement divisé dans les cristaux de plagioclase; parfois, plus largement cristallisé, en veinules ou en «nids» disséminés dans la roche. Le plus souvent, il s'agit d'une *clinozoïsite*, parfois associée à de l'*épidote-pistacite*, surtout dans les veinules ou cristallisations plus importantes.

2). *Surtout dans certaines ophosphérites* dans lesquelles l'épidote peut apparaître, de relativement peu abondante à très abondante, puisqu'elle va jusqu'à envahir non seulement le plagioclase mais aussi, parfois, la presque totalité de la roche. Dans ces ophosphérites épidotiques, l'épidote se présente le plus souvent en fines cristallisations, mais il peut arriver, surtout lorsqu'il s'agit d'ophosphérites dérivant de gabbros, qu'elle apparaisse assez largement cristallisée. On est presque toujours en présence d'une *clinozoïsite*; cependant, quelques cas très exceptionnels montrent, soit une variété plus riche en *épidote-pistacite*, soit de la *zoïsite* associée à un peu de clinozoïsite (détermination vérifiée par analyse roentgenographique).

Relevons encore que l'analyse de la clinozoïsite au moyen de la microsonde électronique (J. BERTRAND, 1968) a permis de préciser qu'il ne s'agit pas d'une variété essentiellement alumineuse, mais bien d'un terme intermédiaire renfermant déjà une certaine proportion d'épidote-pistacite, propriété nullement évidente au seul examen du minéral en lame mince.

Dans l'enveloppe externe des ophosphérites, la chloritisation de tous les développements épidotiques est complète; d'autre part, l'existence antérieure de l'épidote dans une telle zone ne fait aucun doute, les contours des anciens cristaux étant encore souvent bien reconnaissables.

Pumpellyite :

Dans les ophosphérites diabasiques, ce minéral n'apparaît que très occasionnellement. En général très peu abondant, quelques cas mis à part, il forme de très fines recristallisations dans le plagioclase et seules les analyses roentgenographiques confirment sa détermination. Par contre, la pumpellyite se rencontre plus fréquemment, et parfois plus largement cristallisée, dans les ophosphérites gabbroïques; sa détermination est alors possible par les méthodes optiques classiques.

Ces développements de pumpellyite sont toujours associés à ceux de chlorite ou de séricite et, assez souvent, à de fines et très rares cristallisations d'épidote (clinozoïsite surtout). Quelques associations sont plus exceptionnelles. Ainsi, dans une ophosphérite diabasique, le plagioclase, non seulement affecté par les remplacements mentionnés ci-dessus, est largement envahi par de la calcite; enfin, dans certaines ophosphérites gabbroïques, de la prehnite peut accompagner la pumpellyite. Les propriétés optiques de cette dernière sont les suivantes: en LN, incolore à très légèrement verdâtre; en LP, biréfringence peu élevée (polarise au maximum dans les jaunes très pâles), très faible dispersion et petit angle 2V. Ce sont les caractères d'une variété pauvre en Fe. De telles propriétés peuvent rendre difficile la distinction (dans le cas des très fines cristallisations) entre pumpellyite et épidote (en particulier, lorsqu'il s'agit de clinozoïsite ou de zoïsite).

Comme pour tous les minéraux qui se sont développés dans le plagioclase, la chloritisation totale de ce dernier entraîne celle de la pumpellyite.

Prehnite :

Tout à fait exceptionnel, ce minéral n'a été mis en évidence que dans quelques ophosphérites gabbroïques. Développé dans le plagioclase, en association avec la pumpellyite, il apparaît le plus souvent très finement cristallisé et seuls les R.X. le révèlent, ou permettent de confirmer sa présence. Il serait toutefois imprudent d'exclure à priori l'existence de prehnite dans certaines ophosphérites diabasiques que l'on sait pouvoir contenir de la pumpellyite; en effet, dans de tels cas, la plus grande finesse de grain de ces roches, combinée à la rareté de la prehnite, peuvent très bien conduire à l'impossibilité de mettre cette dernière en évidence tant par l'observation sous le microscope, que par l'analyse roentgenographique.

Lorsque le plagioclase est totalement chloritisé, la prehnite l'est aussi.

Calcite :

Tout à fait accessoire, ce minéral a été observé:

- 1) en minuscules et très occasionnels développements, dans le plagioclase surtout, ainsi qu'en remplissages de fissures et alors très nettement secondaire;
- 2) comme nous l'avons déjà mentionné lors de la description pétrographique des serpentinites, très largement développé dans quelques zones faisant actuellement partie intégrante des serpentinites écrasées et bariolées mais que nous présumons correspondre à d'anciennes enclaves gabbroïques;
- 3) dans une ophosphérite dérivant d'une diabase porphyrique à hornblende brune où il apparaît, assez abondant, en développements diffus dans le plagioclase, associé à de la séricite surtout mais aussi à de la chlorite, ainsi qu'à de la pumpellyite et à de l'épidote, ces deux dernières plus rares; dans l'enveloppe externe de l'inclusion, la chloritisation complète du plagioclase entraîne celle du carbonate et des minéraux qui l'accompagnent.

Apatite :

Très accessoire, le plus souvent même accidentel, ce minéral est toutefois présent de manière quasi constante. Il se présente en minuscules cristaux disséminés, idiomorphes ou non, bien que, surtout dans certains gabbros ou diabases hypidiomorphes, il puisse apparaître à la fois plus abondant et plus largement cristallisé.

Remarquons que l'apatite n'est nullement affectée par les phénomènes de chloritisation, puisque, dans l'enveloppe chloritisée des ophosphérites, elle subsiste telle qu'au centre de l'inclusion.

Zircon :

Tout à fait accidentel, ce minéral ne s'observe, en très rares et petits grains, que dans les ophosphérites albitiques représentant, comme nous le supposons, les vestiges de ségrégations leucocrates dans les gabbros et les diabases aux dépens desquels se sont formées la quasi totalité des ophosphérites de la région étudiée.

Minéraux opaques, leucoxène, sphène :

Ces minéraux accessoires sont toujours présents, mais leur distribution est irrégulière. Ils sont particulièrement abondants dans les zones où hornblende, augite et, dans une bien moindre mesure, biotite sont chloritisées; nous avons vu, en effet, que la chloritisation de ces minéraux et avant tout celle de l'amphibole, s'accompagne d'une libération plus ou moins importante de poussières, de granules de minéraux titanifères, certaines plages chloritisées allant même parfois jusqu'à apparaître quasi opaques. Toutefois, une telle « exsudation » n'est pas à l'origine de tous les minéraux opaques et semi-opaques (ilménite surtout, magnétite, leucoxène) et du sphène observés, puisque ces minéraux existent déjà dans les parties exemptes de chloritisation.

D'une manière générale, la transformation de l'ilménite en leucoxène, voire même en sphène bien cristallisé, est importante. Mais en fait, il est très difficile de dire si une telle association a été réalisée, soit précocement lors de phénomènes magmatiques ou tardi-magmatiques, soit durant la phase principale de chloritisation, ou si elle traduit des transformations ultérieures qui pourraient être le reflet de certaines actions métamorphiques. Par ailleurs, il serait inexact de voir en tous les granules ou grains de sphène, dont certains assez gros, le résultat de la transformation d'une ilménite préexistante.

Principalement dans les ophosphérites formées aux dépens de diabases à hornblende brune, hypidiomorphes grenues ou finement intersertales, il n'est pas rare qu'une section à travers de telles inclusions révèle, dans les zones chloritisées, une « sous-zonation » due à une alternance de fines enveloppes plus claires et plus foncées.

Sous le microscope, cette zonation mineure est généralement très peu évidente; elle paraît uniquement liée à la plus ou moins grande abondance des granules titanifères libérés par l'amphibole lors de sa chloritisation, et au mode de distribution de ces derniers, soit répartis de façon homogène, soit encore concentrés à la place des anciens cristaux d'amphibole (les passées claires sont les plus riches en minéraux titanifères). Quelques analyses au moyen de la microsonde électronique ont confirmé que ce sont bien les seuls facteurs responsables de cette zonation mineure. Bien que l'amphibole apparaisse toujours entièrement chloritisée, ces différences semblent devoir être attribuées à de légères oscillations dans l'intensité du phénomène de chloritisation (la distribution homogène des granules indiquant sans doute un degré de transformation plus élevé).

2. LES DIVERS TYPES D'INCLUSIONS

2.1. VESTIGES DE FILONS, LAMES TECTONIQUES

Les rares vestiges de filons recoupant l'ultrabasite ont été observés au Bartoli (*point 2*), à la Charnia (*point 2*) et au Crêt (immédiatement au-dessus du grand bloc de serpentinite): ils sont toujours de *nature diabasique*. Dans les deux premiers cas, la diabase est incluse dans la serpentinite bariolée; au Crêt, la roche encaissante, totalement écrasée, est dépourvue d'hématite.

D'autre part, au Bartoli, quelques observations nous ont conduit à interpréter la petite masse de diabase formant le *point 1* (ophisphérite cyclopéenne de F. JAFFÉ) comme une lame primitivement associée à la serpentinite. A ce propos, rappelons que l'on ne peut pas exclure que certaines des zones diabasiques visibles à la Mouille-Ronde ne correspondent pas, elles aussi, à des écailles liées tectoniquement à l'ultrabasite.

Les inclusions mentionnées ici se rattachent à trois variétés pétrographiques différentes.

a. *Diabase intersertale à hornblende brun-vert et pyroxène augitique : vestiges de filons du Bartoli et de la Charnia.*

La roche volcanique, vert foncé, présente une structure fine à très fine, à tendance divergente par places. La trame feldspathique est toujours entièrement chloritisée. Par contre, la chloritisation se manifeste avec une intensité variable sur les minéraux interstitiels: 1) une *hornblende brun-vert*, déjà plus ou moins remplacée par une amphibole actinote-trémolite associée à de la chlorite; 2) un *pyroxène augitique*, inégalement distribué, et qui semble avoir été moins abondant que la hornblende, lui aussi déjà partiellement et irrégulièrement remplacé par de l'actinote-trémolite et de la chlorite; en effet, soit aux marges de ces filons, soit de part et d'autre de fissures, la hornblende surtout, mais le pyroxène également, peuvent être

totallement chloritisés. Les granules opaques et surtout semi-opaques (leucoxène et même sphène), libérés en plus ou moins grande abondance lors de la chloritisation de l'amphibole et du pyroxène, sont les constituants accessoires les plus représentés, l'apatite n'apparaissant qu'en rares et minuscules cristaux disséminés.

Au Bartoli, il ne fait pas de doute que l'on se trouve en présence d'un vestige de filon dont la dislocation a été insuffisante pour aboutir à la formation d'ophisphérites; à la Charnia, l'examen des *points 1 et 2* illustre bien le passage d'un témoin de filon boudiné aux ophisphérites.

b. *Diabase intersertale à pyroxène (à l'origine)* : vestige de filon du Crêt

Il s'agit d'une diabase mouchetée vert foncé-vert clair, montrant une structure intersertale assez grossière et, par places un léger caractère porphyrique, tous deux bien visibles à l'œil nu. La plagioclase (pâte et phénocristaux) est totalement chloritisé; le minéral interstitiel primitif, une *augite*, a été remplacé par de l'actinote-trémolite déterminant de petits agrégats de cristaux aciculaires associés à de la chlorite. Leucoxène et sphène (ce dernier parfois en grains d'assez grande taille) s'observent accessoirement, ainsi que l'apatite en rares et minuscules sections.

Il est possible d'affirmer que cette diabase correspond bien à une variété à pyroxène car, en plusieurs pointements, nous l'avons retrouvée formant, soit de rares petits débris non ophisphéritisés, soit quelques ophisphérites; dans les deux cas, divers stades de transformation permettent en effet d'observer, tantôt le pyroxène, tantôt le plagioclase, non totalement remplacés.

Précisons encore que l'état actuel de l'affleurement n'autorise pas d'être aussi catégorique qu'au Bartoli ou qu'à la Charnia, en admettant qu'il s'agit d'un lambeau de filon recouvrant l'ultrabasite.

Ainsi, on notera que dans la région des Gets, les vestiges de filons observés dans les serpentinites ne sont jamais de nature rodingitique, c'est-à-dire affectés par un intense développement de silicates de Ca divers, tels que grenats, vésuvianite ou epidotes pour ne mentionner que certains d'entre eux.

c. *Diabase intersertale albite-chloritique* : au Bartoli, zone diabasique formant le *point 1*.

La majeure partie de cette zone est constituée par une diabase gris-vert pâle, à structure intersertale moyenne à fine à tendance divergente, de caractère porphyrique léger et accidentel; de plus, elle renferme de nombreuses petites amygdales chloriteuses. Comme l'a confirmé une analyse roentgenographique, la trame feldspathique est constituée par une *albite* quasiment pure, montrant de fines inclusions de chlorite, beaucoup plus rarement de séricite ou d'actinote-trémolite. De la *chlorite*, qu'aucune relique ne permet de considérer ici comme résultant de la transformation d'un minéral préexistant, occupe les interstices de la structure. Les minéraux accessoires sont: le

leucoxène et le sphène, en granules, traînées ou grains, dispersés surtout dans la chlorite; la calcite, soit en développements diffus, soit dans quelques veinules, souvent associée à de l'albite elle aussi nettement secondaire.

Une telle diabase s'apparente beaucoup à celle constituant les vestiges de filons mentionnés au Vuargne.

A l'approche de son contact avec la serpentinite écrasée qui la surmonte, la roche volcanique est chloritisée de façon progressive et semble-t-il irrégulière; sa teinte est alors plus foncée ou, parfois, beige. Sous le microscope, on remarque que seules quelques reliques de plagioclase ont été épargnées par la chloritisation, les autres caractères demeurant inchangés.

Enfin, semblant plus ou moins jaloner le contact avec l'ultrabasite, quelques passées bréchiques, sans doute d'origine tectonique, sont constituées de petits fragments de diabase généralement chloritisée, bien que le plagioclase puisse subsister encore relativement frais, soit dans quelques petits « îlots », soit au centre de certains éléments. Par ailleurs, plusieurs débris présentent des structures très fines, à tendance arborescente manifeste: leur rattachement à des épanchements subaquatiques est donc quasi certain (nous avons fait une observation semblable à la Mouille-Ronde, dans la région du *point 1*); cette particularité, jointe à la nature bréchique du contact, nous a incité à considérer cette masse diabasique comme une écaille tectonique et non pas comme un lambeau disloqué de filon recoupant la serpentinite.

Relevons encore que les zones bréchifiées ont été le siège d'une légère minéralisation en chalcopyrite.

2.2. FRAGMENTS, LENTILLES DE NATURES DIVERSES

Sont groupés ici tous les éléments ne présentant pas les zonations caractéristiques des ophisphérites, mais dont la taille (diamètre compris entre 5 et 20 cm) est le plus souvent comparable à celle de ces dernières. Mise à part la question de leur dimension, ce sont aussi les conditions d'affleurement, ne permettant pas de préciser leur mode de gisement, qui nous ont amené à séparer de celles décrites dans la subdivision précédente les roches mentionnées ici, bien qu'il s'agisse aussi très vraisemblablement, de débris résultant de la dislocation, soit de filons recoupant l'ultrabasite, soit d'écaillles tectoniques.

Une première catégorie rassemble tous les fragments, souvent plus ou moins morcelés, correspondant à des ophisphérites débarrassées de leur enveloppe chloritisée. Observés en chacun des pointements où apparaissent les ophisphérites, ils semblent toutefois particulièrement fréquents à la Pierre-à-Feu. Chacun des types de roches constituant les ophisphérites est donc susceptible de se présenter sous une telle forme.

Dans une seconde catégorie, nous avons réuni toutes les enclaves qu'aucun indice ne permet de supposer avoir jamais subi toutes les transformations conduisant à la formation des ophisphérites. On y relève les variétés pétrographiques suivantes:

- *Diabase à hornblende brune et augite*, à structure grossièrement hypidiomorphe grenue (terme de passage au gabbro).
- *Diabase à hornblende brune prédominante*, à structure identique au type précédent, mais fortement tectonisée.
- *Diabase porphyrique* (phénocristaux de plagioclase) à *augite et hornblende brun verdâtre*.
- *Diabase augitique* (hornblende accessoire), à structure intersertale.

Rappelons que des variétés analogues ou, tout au moins, apparentées à celles mentionnées ci-dessus s'observent dans les zones diabasiques et gabbroïques « en place » à la Mouille-Ronde (voir les descriptions pétrographiques correspondantes).

- *Diabase à structure sphérolitique et à nombreuses amygdales de chlorite* (origine subaquatique), métamorphisée puisqu'une amphibole actinote-trémolite, associée à un peu de chlorite, en est actuellement le constituant essentiel.

De tels fragments semblent tout à fait accidentels; nous n'en avons trouvé qu'un seul exemplaire, au Ruisseau des Bounaz.

- *Gabbro à hornblende brune intensément transformé* (plagioclase sérichtisé et carbonatisé ou totalement chloritisé, hornblende remplacée par de l'actinote-trémolite), associé à la serpentinite écrasée au Ruisseau des Bounaz.
- *Brèche ophiolitique*, comparable à celle décrite à la Mouille-Ronde, mais qui, avant d'être chloritisée, a été plus ou moins envahie par des développements épidotiques (clinozoïsite) semblables à ceux observés dans certaines ophisphérites.

Très rares, de tels débris s'observent à la Mouille-Ronde (*point 11*) et au ruisseau des Bounaz. Au premier de ces pointements, la chloritisation incomplete a permis à l'épidote de subsister encore par places (« éléments zoïsiques dans une brèche diabasique chloritisée » de F. JAFFÉ, 1955, p. 123); au second, la brèche a été totalement chloritisée.

- *éléments, le plus souvent lenticulaires, constitués avant tout par un feutrage de cristaux aciculaires d'actinote-trémolite*, accompagnés de chlorite et parfois de talc; quelques reliques de pyroxène peuvent s'observer. L'origine exacte de telles lentilles demeure énigmatique. Peut-être, dérivent-elles d'anciens niveaux de pyroxénites primitivement associés à la roche mère des serpentinites.

Enfin, toujours rattachées à cette deuxième catégorie, mais se distinguant des divers éléments mentionnés ci-dessus par leurs dimensions généralement plus grandes, citons encore les inclusions suivantes:

- *Gabbro très riche en hornblende brune*, pour ainsi dire frais (voir la description pétrographique des gabbros). Cette roche forme, au ruisseau des Bounaz,

plusieurs blocs, dont la plupart sont totalement déchaussés; rappelons qu'elle constitue aussi certains éléments dans la brèche ophiolitique de la Mouille-Ronde.

- *Diabase porphyrique à hornblende brune* (comparable à celle formant de nombreuses ophisphérites au Crêt). Cette variété apparaît au ruisseau des Bounaz, le plus souvent à proximité du gabbro mentionné ci-dessus; excepté les quelques blocs plus volumineux qui justifient son attribution à cette subdivision, une telle diabase se présente surtout en petits débris et peut aussi, toujours au même affleurement, constituer quelques rares ophisphérites.
- *Les zones faisant partie intégrante de la serpentinite bariolée*, mais que nous présumons correspondre à d'anciens gabbros associés à l'ultrabasite (voir la description pétrographique des serpentinites). Rappelons que de telles zones s'observent au ruisseau des Bounaz surtout, au Bartoli et à la Charnia.

Quelles origines attribuer à ces diverses inclusions ?

Ecailles tectoniques plus ou moins fragmentées? Filons ou, dans certains cas, différenciations primaires, liés à l'ultrabasite et ultérieurement disloqués?

Si la dernière possibilité paraît la plus improbable et ne semble pouvoir être envisagée que rarement, par contre il ne fait aucun doute qu'aussi bien l'hypothèse de filons disloqués que celle d'écailles tectoniques (parfois certaines: débris de lave en coussins, fragments de brèche ophiolitique) doivent être prises en considération pour expliquer la présence de roches aussi variées dans les serpentinites. Malheureusement, les conditions actuelles d'affleurement ne permettent pas, dans les cas particuliers mentionnés ci-dessus, de trancher en faveur de l'une ou de l'autre de ces deux possibilités.

Reste encore à expliquer pourquoi certaines de ces inclusions apparaissent pour ainsi dire fraîches alors que d'autres ont subi des transformations plus ou moins intenses; pourquoi aussi certaines ont été chloritisées, parfois entièrement, tandis que d'autres ne l'ont pas été.

L'étude des ophisphérites soulève les mêmes problèmes. Nous verrons, pour conclure le chapitre consacré aux inclusions dans les serpentinites, quelles hypothèses peuvent être émises à ce sujet.

2.3. LES OPHISPHÉRITES

2.3.1. *Introduction*

Des trois catégories distinguées parmi les inclusions dans les serpentinites, celle groupant les ophisphérites présente sans aucun doute, le plus d'intérêt. En effet, tant par leur diversité que par les transformations nombreuses et variées dont elles témoignent, de telles enclaves méritent largement d'être étudiées d'une manière approfondie, ne serait-ce que dans l'espoir d'apporter une contribution à la solution de

certains des nombreux problèmes liés à l'existence d'inclusions dans les serpentinites.

Mais avant toute chose, rappelons quelles sont les particularités essentielles définissant les ophisphérites :

- 1) *La nature ophiolitique des roches au détriment desquelles elles sont formées* (diabases surtout, gabbros).
- 2) *Le caractère émoussé de leurs contours*, parfois à un tel point qu'il arrive assez fréquemment que l'on rencontre des formes presque sphériques.
- 3) *Leur dimension relativement restreinte*, puisque leur diamètre oscille, le plus souvent, entre 5 et 20 cm.
- 4) *Leurs zonations caractéristiques dues à la disposition concentrique de parties affectées par diverses transformations*. Dans les cas les plus simples, la partie centrale de l'inclusion, ou « noyau », montre une roche, soit relativement fraîche, soit plus ou moins métamorphisée, alors que dans la zone périphérique de l'inclusion, cette même roche apparaît partiellement ou complètement chloritisée.

Connues surtout au Mont-Genève et dans le secteur des Gets, les ophisphérites ne sont vraisemblablement pas le reflet de phénomènes particuliers propres aux ophiolites de ces deux seuls domaines ; mais, jusqu'à ce jour, leur recherche n'a été que peu entreprise en d'autres régions.

Mentionnons cependant que M. GALLI (1964) signale des ophisphérites (diabasiques et gabbroïques) dans le complexe ophiolitique de l'Apennin ligure ; que J. P. BASSAGER (1966) observe de telles inclusions associées à des ultrabasites du sud-ouest de la Turquie. Dans les Alpes, le professeur M. VUAGNAT a effectué des recherches dans les Grisons (zone d'Arosa, Basse-Engadine et Oberhalbstein) qui, dans l'ensemble, se sont révélées négatives ; en effet, si en Basse-Engadine et dans l'Oberhalbstein, de rares inclusions ont été remarquées, elles semblent plutôt se rattacher à des rodingites. Relevons toutefois, que lors d'une excursion dans l'Oberhalbstein en compagnie du professeur M. VUAGNAT, Tj. PETERS et V. DIETRICH, nous avons eu la chance de trouver, dans une serpentinite fortement écrasée, par ailleurs très semblable à certaines de la région des Gets, un unique spécimen d'une ophisphérite typique ; ainsi, pour cette région tout au moins, l'existence de telles enclaves est démontrée bien qu'elles ne soient ici que tout à fait accidentnelles. Enfin, toujours en compagnie du professeur M. VUAGNAT, nous avons pu, récemment, observer à l'île d'Elbe (Punta della Contessa) une zone de serpentinite sur plusieurs points très semblable à certaines zones de la région étudiée dans le présent travail (voir aussi la description pétrographique des serpentinites) et renfermant, de plus, quelques petites inclusions fort comparables à des ophisphérites.

Pour ce qui est de leur mode de gisement, il apparaît que les ophisphérites connues jusqu'à ce jour ne se rencontrent que dans des roches ultrabasiques totalement serpentinisées et, de plus, affectées par d'importantes contraintes tectoniques :

serpentinites fortement écrasées, passant même, par endroits, à une sorte de pâte meuble; serpentinites de type ophicalcites, plus ou moins bréchifiées et envahies par du carbonate, brèche serpentineuse indurée.

Mais revenons au secteur des Gets où les ophisphérites, non seulement fréquentes, sont aussi de types nettement plus diversifiés que dans les autres régions mentionnées ci-dessus.

En premier lieu, il nous paraît utile, pour mieux situer le problème, de rappeler brièvement les principaux résultats et les conclusions de F. JAFFÉ (1955):

Nature pétrographique des ophisphérites

JAFFÉ relève que les ophisphérites sont formées:

- a. Le plus souvent, de diabases à hornblende brune présentant des structures variées: intersertale à phénocristaux de plagioclase; hypidiomorphes grenues, souvent rubanées, et comprenant plusieurs variétés suivant la taille et le mode de distribution des minéraux principaux (plagioclase, hornblende); très exceptionnellement trachytique.

Beaucoup plus rarement:

- b. d'une diabase intersertale à hornblende verte, très pâle;
- c. d'une diabase intersertale à pyroxène;
- d. d'une diabase albito-chloritique.

Encore moins fréquemment:

- e. de roches presque exclusivement feldspathiques;
- f. d'une zoïsite.

Enfin, JAFFÉ signale des ophisphérites essentiellement chloritiques et d'autres constituées uniquement par la serpentinite massive typique.

Les divers stades de transformations responsables de la zonation caractérisant les ophisphérites : les phénomènes de chloritisation.

JAFFÉ envisage cinq stades, d'intensité croissante, dont les trois premiers seulement sont réalisés dans la région des Gets:

- 1) Chloritisation du plagioclase, soit au bord de l'inclusion seulement, soit dans l'inclusion entière.
- 2) Remplacement partiel de l'amphibole et du pyroxène par un agrégat leucoxénique et ceci dans une zone étroite jalonnant le contact centre-bord de l'ophisphérite.
- 3) Amphibole et pyroxène sont totalement remplacés par le même agrégat leucoxénique qu'en 2), mais ici cette substitution affecte l'ensemble de la partie externe de l'ophisphérite.
- 4) Chloritisation totale des pyroxènes dans le bord. Ce stade de transformation plus intense n'est pas réalisé dans le secteur des Gets; par contre, il est de règle au Mont-Genève où les ophisphérites à amphibole sont inconnues.
- 5) Transformation totale d'une roche préexistante en une serpentinite typique.

JAFFÉ pense que ce stade, encore inconnu, est prévisible.

Conclusions de JAFFÉ

De l'étude des ophosphérites et des roches connexes (diabases, brèches diabasiques) ayant subi les effets de la chloritisation, JAFFÉ tire les conclusions principales suivantes :

- 1) Les ophosphérites se rencontrent toujours là où la serpentinite (le plus souvent très altérée) est le faciès dominant; elles paraissent aussi associées, mais de façon moins évidente, aux ophicalcites (du type apparaissant surtout au torrent du Marderet et au Crêtet). Il est difficile de déterminer sur le terrain la nature exacte de ces enclaves particulières; seule une étude en laboratoire (sections d'échantillons, lames minces) donne de bons résultats.
- 2) Les ophiphérites sont formées avant tout aux dépens de diabases à caractère spilitique (nature albitique du plagioclase); les rares spécimens dérivant d'une albitite ou d'une zoïsitite ont une origine plus énigmatique; ceux essentiellement chloritiques proviendraient de véritables chloritites dont la présence, dans un complexe ophiolitique, est facilement concevable. Par contre, l'existence des ophosphérites constituées uniquement par de la serpentinite massive est plus difficile à expliquer; à ce sujet, JAFFÉ émet deux hypothèses qui, l'une comme l'autre, ne le satisfont pas pleinement:
 - a) La brèche diabasique dont la chloritisation a conduit à la formation des ophosphérites (voir ci-dessous en 3) renfermait déjà des fragments de serpentinite avant d'être transformée (mais de tels éléments ne s'observent jamais dans les brèches non chloritisées de la région étudiée!).
 - b) La chloritisation a agi avec une intensité variable au sein d'une même brèche, allant jusqu'à transformer certains éléments en serpentinite typique (mais un tel processus est difficile à concevoir!)
- 3) Les ophosphérites, de même que les roches connexes (brèches diabasiques et diabases chloritisées) résultent de transformations diverses partielles liées à l'existence de venues ultrabasiques ayant affecté, soit des brèches ophiolitiques (cas illustré au ruisseau des Bounaz par la brèche diabasique chloritisée qui surmonte le grand bloc de brèche diabasique hématitique; la limite entre ces deux zones matérialisant le front de la chloritisation), soit des diabases (cas illustré par l'actuel contact diabase totalement chloritisée-serpentinite visible à la Mouille-Ronde, aux *points 12 et 13* de JAFFÉ, contact marquant le front de la serpentinitisation; les enclaves diabasiques observées dans cette ultrabasite étant interprétées comme des vestiges de la roche primitive ayant échappé à une serpentinitisation complète).
- 4) *Mais la conclusion la plus importante à laquelle JAFFÉ a été amené par l'étude des ophosphérites et autres roches chloritisées et de leurs rapports avec les serpentinites, est que ces dernières, dans la région des Gets tout au moins, ne sont pas, comme selon l'hypothèse classique, le résultat de l'hydratation d'une péridotite, mais bien*

des roches formées lors d'une phase ultrabasique tardive, postérieure aux gabbros et diabases, phase ayant conduit à une transformation complète (serpentinites) ou partielle (ophisphérites et roches connexes) de ces gabbros et diabases.

Ainsi, ne suivant pas l'ordre proposé par B. LOTTI (1910) puis G. STEINMANN (1927) pour les ophiolites des Apennins, JAFFÉ considère que la phase ultrabasique, dans la région étudiée ici, marque la fin du cycle ophiolitique.

Voyons maintenant quelles sont les données nouvelles obtenues lors du présent travail, données qui permettent soit de confirmer, soit de compléter, soit encore de ne pas suivre les résultats et conclusions de F. JAFFÉ.

2.3.2. *Modes de gisement des ophisphérites*

Rappelons que de telles inclusions apparaissent le plus souvent associées à une serpentinite totalement écrasée, par places très altérée (le Crêt, la Mouille-Ronde, la Pierre-à-Feu); elles se rencontrent aussi dans la variété largement transformée, souvent envahie par de l'hématite et du carbonate, et décrite comme serpentinite bariolée (le ruisseau des Bounaz, la Charnia, le Bartoli); enfin, plus rarement, les ophisphérites peuvent être observées dans la serpentinite encore massive, quoique toujours fortement tectonisées (le ruisseau des Bounaz, la Mouille-Ronde).

Comme nous avons vu que la serpentinite bariolée correspondait en fait à un type d'ophicalcite (voir description pétrographique des serpentinites), les ophisphérites peuvent donc être associées à de telles roches (cas également réalisé pour les ophisphérites gabbroïques que nous avons observées dans l'Apennin ligure). Mais en aucune façon (contrairement à F. JAFFÉ, 1955, p. 112), les ophisphérites ne se rencontrent dans les ophicalcites apparaissant surtout dans le torrent du Marderet et dans la zone le Crêtet-les Ramus. Il s'agit là de roches dont l'origine est toute différente (voir la description pétrographique concernant les formations diabasiques particulières) et dans lesquelles la chloritisation ayant affecté les éléments diabasiques que l'on trouve est totalement indépendante de celle ayant conduit à la formation des ophisphérites; en effet, ces fragments consistent toujours en d'anciennes diabases albito-chloritiques qui, d'après les reliques de structures observées, proviennent d'épanchements subaquatiques et l'on sait qu'en chacun des affleurements où elles apparaissent de telles diabases peuvent être localement plus ou moins chloritisées, sans pour autant montrer une quelconque liaison avec la serpentinite. Il est fort probable que cette chloritisation soit liée aux processus de formation des roches spilitiques.

2.3.3. *Classification des ophisphérites*

Il est assez malcommode d'établir une telle classification.

Une subdivision tenant compte de la répartition des diverses variétés présentes en chaque affleurement n'a pas une grande signification, car bien qu'en certains

pointements une espèce puisse être particulièrement représentée (par exemple, au Crêt, les ophosphérites formées aux dépens de la diabase à hornblende brune et phénocristaux de plagioclase, à la Charnia, celles de nature gabbroïque), en fait tous les types rencontrés sont plus ou moins susceptibles d'apparaître, dans la région des Gets, en l'un ou l'autre des points ou affleure la serpentinite.

De même, une classification basée uniquement sur les caractères actuels des ophosphérites ne peut pas être envisagée. En effet, les types pétrographiques et structuraux déjà relativement nombreux constituant ces enclaves ont été affectés par diverses modifications minéralogiques ultérieures qui font que l'on se trouve en présence d'un nombre très important de variétés qu'il serait extrêmement fastidieux de décrire séparément d'autant plus qu'un bon nombre d'entre elles sont très voisines les unes des autres.

Nous avons procédé de la manière suivante:

D'après la nature originelle des roches formant les ophosphérites, il est possible de répartir ces inclusions en diverses catégories. *Ainsi, on distinguera les ophosphérites dérivant de :*

- Diabases à hornblende brune (et parfois, pyroxène accessoire) à structures hypidiomorphes grenues, souvent plus ou moins orientées.
- Diabases à hornblende brune, à phénocristaux de plagioclase dans une pâte intersertale à hypidiomorphe grenue.
- Diabases intersertales fines à hornblende brune.
- Diabases intersertales à hornblende brun-vert.
- Diabases intersertales à pyroxène.
- Diabases hypidiomorphes grenues à pyroxène (et parfois, hornblende brune associée).
- Diabases intersertales à pyroxène et hornblende brune.
- Gabbros.
- Roches feldspathiques.

Il est très difficile d'avoir une idée précise de la répartition des ophosphérites dans ces subdivisions; toutefois, bien que très approximative, une expression numérique de cette distribution nous semble utile, ne serait-ce qu'à des fins de comparaison avec d'autres régions où de telles enclaves seraient découvertes.

Trois des catégories mentionnées groupent la grande majorité des ophosphérites étudiées: la première avec 40%, la seconde avec 15% et la troisième avec 20%. Viennent ensuite les subdivisions V., avec 10% et VII. avec 5%; enfin les classes VI. et VIII., avec chacune moins de 5% des spécimens observés, et celles IV. et IX., l'une et l'autre avec 1 à 2%, complètent cet inventaire.

Il sera ensuite possible de distinguer, à l'intérieur de ces subdivisions principales, tous les types d'ophisphérites rencontrés, en tenant compte des diverses transformations ultérieures susceptibles d'avoir affecté chacune des variétés pétrographiques citées plus haut.

Il convient alors de définir la nature de ces transformations ultérieures. L'examen de nombreuses lames minces nous a conduit à admettre que les actions métamorphiques dont témoignent ces inclusions particulières pouvaient être attribuées à *deux stades principaux*. L'un voit le développement de transformations variées. L'autre, plus tardif, correspond à la phase de chloritisation, principale responsable de l'apparition des zones concentriques propres aux ophisphérites; la postériorité de cette phase est prouvée par le fait que dans les parties ainsi chloritisées, les minéraux formés durant le premier stade (et dont la présence antérieure est souvent attestée par des reliques de structures) sont totalement remplacés par la chlorite.

Ainsi, les transformations suivantes (premier stade) précèdent la phase de chloritisation :

1) *pouvant affecter le plagioclase*

- Sérichtisation, parfois intense.
- Développements d'épidote (clinozoïsite, zoïsite très rare) souvent importants et alors susceptibles de s'étendre aux minéraux ferro-magnésiens.
- Cristallisations de pumpellyite, plus rares que celles d'épidote et en général beaucoup moins développées, auxquelles s'associent, occasionnellement, de la prehnite.
- Calcitisation, tout à fait accidentelle.

Relevons encore que ces divers minéraux sont accompagnés par de fins développements chloriteux, sans doute formés durant ce premier stade, comme tend à le confirmer l'existence d'une certaine différence de composition par rapport à celle de la chlorite cristallisée lors de la phase de chloritisation proprement dite (voir sous descriptions minéralogiques des inclusions dans les serpentinites et partie consacrée à la pétrochimie des ophisphérites).

2) *pouvant affecter les minéraux ferro-magnésiens*

- Remplacement plus ou moins important du pyroxène et de la hornblende par une amphibole actinote-trémolite associée à de la chlorite.

Le plagioclase, dans la majorité des cas relativement basique à l'origine, ne demeure pas toujours insensible à ces modifications diverses. En particulier lorsque la pumpellyite (parfois en association avec de la prehnite) est bien développée, le feldspath qui subsiste correspond à de l'albite. On remarque aussi, dans plusieurs

ophisphérites montrant la hornblende brune totalement remplacée par l'actinote-trémolite, que le plagioclase, parfois intensément sérichtisé, montre une teneur en anorthite voisine de 10%, qui résulte sans doute d'un abaissement de sa basicité primitive; enfin, dans certains autres spécimens montrant le plagioclase passablement affecté par de fins développements de séricite et pumpellyite, minéraux ausquels

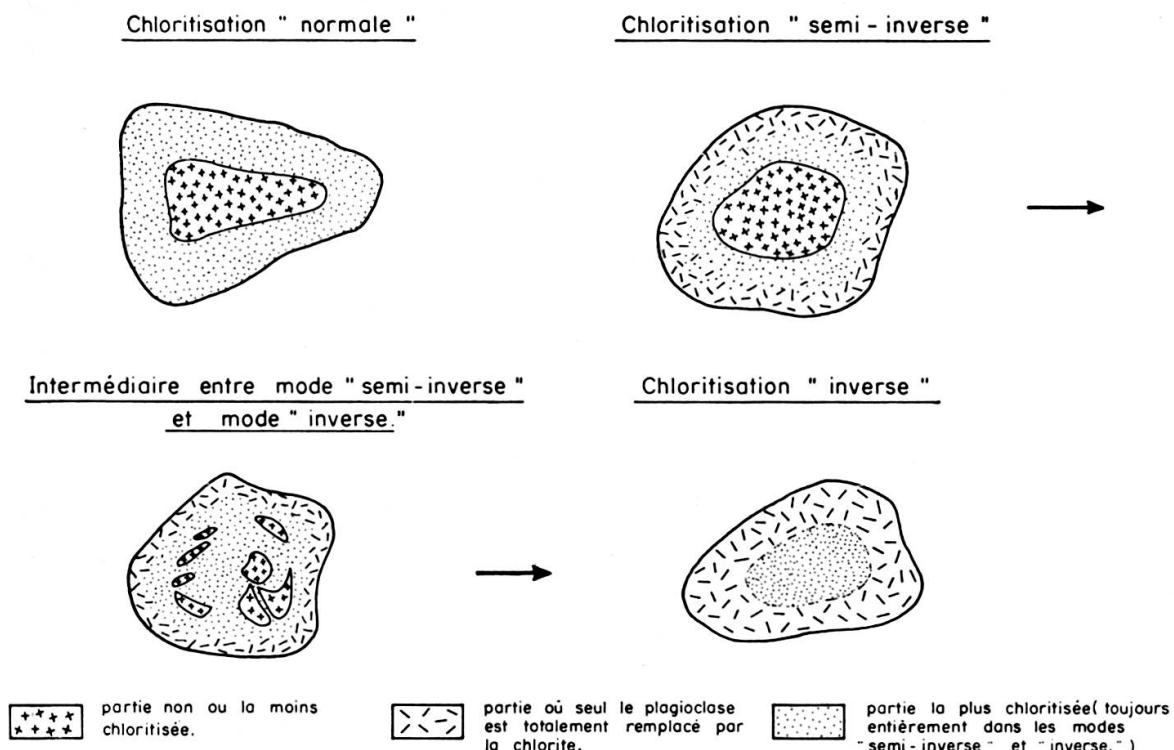


FIG. 32. — REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES TROIS PRINCIPAUX MODES DE CHLORITISATION DES OPHISPHÉRITES.

s'associent très accidentellement de la calcite, ce pourcentage varie entre 5 et 15%. Remarquons encore, qu'en présence de l'épidote, il n'a jamais été possible de déterminer la composition du plagioclase, celui-ci étant toujours entièrement chloritisé.

Ainsi que nous l'avons dit, c'est avant tout au cours de *la phase de chloritisation (deuxième stade)* que se développe la zonation concentrique caractérisant les ophisphérites. Généralement, la chloritisation décroît en passant de la zone la plus externe (souvent totalement chloritisée) à la partie centrale de l'inclusion qui peut ne pas être affectée par la chloritisation. Ce n'est toutefois pas là une règle absolue car bien des spécimens étudiés montrent une disposition partiellement ou même franchement inverse. Ainsi, il peut arriver qu'une zone intermédiaire soit davantage chloritisée que la partie externe, le centre de l'enclave («noyau») demeurant toutefois peu ou pas affecté par la chloritisation. Enfin, par évolution du cas précédent, ce «noyau» encore frais peut être aussi entièrement chloritisé pour donner alors ce que nous avons appelé une véritable ophisphérite «inverse». Relevons cependant que dans

l'enveloppe externe de ces deux derniers types, seuls les minéraux ferro-magnésiens (hornblende brune, surtout) ont été épargnés par la chloritisation, le plagioclase apparaissant, quant à lui, toujours chloritisé, alors qu'il subsiste encore frais dans les « noyaux » définis ci-dessus, lorsqu'ils existent. La figure 32 et les planches photographiques Ia et Ib illustrent ces divers modes de chloritisation.

Si maintenant, pour chaque subdivision établie selon la nature originelle de la roche formant les ophisphérites, on indique quelles ont été les transformations précédant la chloritisation, puis de quelle façon cette dernière s'est manifestée, on aura donné une description complète de toutes les ophisphérites récoltées dans la région des Gets. Toutefois une telle manière de procéder a le désavantage de conduire à une trop longue énumération; de plus, elle oblige de mentionner plusieurs fois certains modes de transformations qui se retrouvent, souvent identiques ou presque, dans plus d'une des variétés pétrographiques constituant les ophisphérites, ce qui nuit à la clarté de l'exposé. C'est pourquoi il est préférable de grouper, sous forme de tableaux, les caractéristiques essentielles de ces inclusions.

Dans un premier tableau (tableau I), qui résume en fait toutes les propriétés des ophisphérites, nous avons indiqué par quelles transformations métamorphiques chacune des variétés pétrographiques rencontrées sous un tel mode de gisement a pu être affectée ; sont encore mentionnées :

- *la fréquence selon laquelle chaque type ainsi défini a été observé ;*
- *et surtout, de quelle manière la chloritisation s'est développée dans l'inclusion ; les caractéristiques de chacun des types relevés étant définies dans un second tableau (tableau II), consacré uniquement à l'énumération des divers modes de chloritisation.*

Relevons que ces tableaux sont valables surtout pour les diverses ophisphérites diabasiques. Etant donné leurs caractères particuliers, les ophisphérites gabbroïques et feldspathiques font encore l'objet d'une description séparée.

Mais auparavant, restent à définir pour les ophisphérites diabasiques :

- 1) les particularités structurales et de composition de chaque variété pétrographique originelle ;
- 2) les caractères macroscopiques des divers types rencontrés.

2.3.3.1. LES OPHISPÉRITES DIABASIQUES

2.3.3.1.1. *Particularités structurales et de composition des diabases formant les ophispérites*

a. DIABASES A HORNBLENDE BRUNE (ET PARFOIS PYROXÈNE ACCESSOIRE) A STRUCTURES HYPIDIOMORPHES GRENUES SOUVENT PLUS OU MOINS ORIENTÉES

Relativement fines à grossières, ces diabases sont définies par les caractères suivants :

A. *Structuraux*

- 1) Une disposition préférentielle, selon certains lits, des cristaux d'amphibole, pouvant parfois conduire à une véritable structure rubanée, est à l'origine de la texture orientée fréquemment observée.
- 2) La taille des cristaux, surtout d'amphibole, permet la distinction de diverses variétés.
 - a) Souvent, des plages plus ou moins développées d'amphibole (dont font partie les concentrations amphiboliques mentionnées dans les descriptions minéralogiques des inclusions dans les serpentinites) sont réparties dans une pâte plus fine, de même composition, donnant parfois à la roche un véritable caractère porphyrique; la pâte est généralement grenue, bien qu'elle puisse montrer une tendance au caractère intersertal ou, par places, trachytique. On peut considérer l'unique fragment de véritable lave trouvé par F. JAFFÉ au point 8 de la Mouille-Ronde (voir, dans la description de cet affleurement, sous brèche ophiolitique) comme le terme extrême de ces variétés à tendance porphyrique.
 - b) Les variétés dans lesquelles les minéraux sont équidimensionnels n'en existent pas moins; les types les plus grossiers marquent alors le passage aux gabbros et représentent l'autre extrême de cette évolution structurale.

B. *De composition*

- 1) La proportion plagioclase-hornblende brune est variable. Mais le plus souvent, l'amphibole est plus abondante; parfois, on peut même rencontrer de véritables ségrégations amphiboliques.
- 2) Peu fréquents dans l'ensemble, les vestiges de pyroxène s'observent rarement en plages isolées, mais surtout en association étroite avec l'amphibole (par exemple, « cœurs » pyroxéniques dans certains agrégats amphiboliques).

b. DIABASE A HORNBLENDE BRUNE, A PHÉNOCRISTAUX DE PLAGIOCLASE DANS UNE PATE INTERSERTALE A HYPIDIOMORPHE GRENUE

Ces diabases, observées surtout au Crêt, ainsi qu'au ruisseau des Bounaz, se distinguent avant tout par leurs caractères structuraux de celles appartenant à la catégorie précédente.

La pâte, plus ou moins fine, est soit franchement intersertale, soit intersertale à tendance trachytique ou hypidiomorphe grenue, soit encore hypidiomorphe grenue, parfois orientée ou à tendance intersertale.

Les phénocristaux de plagioclase, toujours idiomorphes, souvent quelque peu rongés, montrent des habitus variés (grands, petits, allongés, trapus). De même, leur mode de distribution n'est pas constant: tantôt abondants, tantôt fort rares; tous de taille voisine ou, au contraire, petits et grands associés. Ainsi, le caractère porphyrique de telles diabases, parfois très accusé, peut être aussi quasiment indiscernable à l'œil nu.

Une des ophisphérites décrite en détail par F. JAFFÉ (1955, p. 113-116) se place dans cette catégorie.

c. DIABASES INTERSERTALES FINES A HORNBLENDE BRUNE

Non seulement plus fines, et presque toujours franchement intersertales, ces diabases se distinguent surtout de celles appartenant à la catégorie précédente par l'absence de caractère porphyrique. Seuls, quelques spécimens peuvent montrer, soit une structure intersertale un peu plus grossière, avec parfois une légère tendance au caractère hypidiomorphe grenu, soit d'occasionnels et minuscules phénocristaux décelables uniquement sous le microscope.

d. DIABASES INTERSERTALES A HORNBLENDE BRUN-VERT

Les ophisphérites formées par de telles diabases ne se rencontrent que tout à fait accidentellement; nous en avons récolté quelques spécimens, surtout au Crêt. De par la nature de la hornblende, cette diabase s'apparente étroitement à celle qui forme les vestiges de filons dans la serpentinite décrits au Bartoli et à la Charnia. On note cependant quelques différences: dans le « noyau » de telles ophisphérites, 1) *le plagioclase apparaît encore assez frais*, 2) *on n'observe pas de pyroxène*; vu l'intense développement d'actinote-trémolite, il serait toutefois imprudent d'exclure à priori sa présence originelle et d'autre part, dans les vestiges de filons mentionnés plus haut, nous avions relevé la distribution irrégulière de ce minéral.

Finement intersertale, cette diabase peut montrer, localement, une tendance au caractère divergent ou trachytique.

e. DIABASES INTERSERTALES A PYROXÈNE

Ces diabases se rencontrent bien plus rarement que celles à hornblende brune. Leurs structures vont d'intersertales fines à moyennes (parfois divergentes) à grossières, celles-ci montrant parfois un léger caractère porphyrique (phénocristaux

allongés, présentant des contours déchiquetés contrairement à ceux, idiomorphes et plutôt trapus, des variétés porphyriques à hornblende brune); enfin, certaines variétés franchement intersertales peuvent montrer un passage à une structure hypidiomorphe grenue relativement grossière.

Relevons que la hornblende, en quantité presque négligeable, s'observe occasionnellement associée au pyroxène.

f. DIABASES HYPIDIOMORPHES GRENUES A PYROXÈNE (ET PARFOIS, HORNBLENDE BRUNE ASSOCIÉE)

De telles diabases, qui ne constituent que de très rares ophisphérites, ne présentent aucun caractère particulier méritant d'être relevé.

g. DIABASES INTERSERTALES A PYROXÈNE ET HORNBLENDE BRUNE

Le plus souvent très fines, les diabases de ce type peuvent néanmoins présenter une structure intersertale moyenne ou montrer un certain caractère porphyrique (phénocristaux de plagioclase généralement fins et allongés).

L'observation, dans plusieurs des variétés de diabases mentionnées ci-dessus, d'une tendance à la structure trachytique et même, très occasionnellement, d'une véritable structure trachytique (déjà relevée par F. JAFFÉ, 1955, p. 115 et 116) appelle un commentaire. En effet, rappelons qu'une telle particularité structurale caractérise le « chilled-edge » observé dans le petit filon diabasique (diabase à hornblende brune semblable à celles décrites ici) recouvrant un des blocs de gabbro visible à l'affleurement du ruisseau des Bounaz. Il est donc permis d'envisager que les diabases, en inclusions dans les serpentinites, montrant une tendance plus ou moins nette à la structure trachytique représentent des débris provenant de bords de filons disloqués.

2.3.3.1.2. Caractères macroscopiques des divers types d'ophisphérites diabasiques

Rappelons tout d'abord qu'il est toujours nécessaire de casser de telles inclusions pour être certain d'avoir affaire à une ophisphérite et non pas à un simple fragment serpentineux; bien souvent et avec une certaine habitude, il est alors déjà possible de reconnaître les principaux types de roches formant les ophisphérites. Toutefois, les caractères macroscopiques propres à chacune des variétés pétrographiques susceptibles d'être rencontrées sous un tel mode de gisement apparaissent d'une façon bien plus évidente lorsque l'on scie ces enclaves par le milieu. Il nous paraît utile de donner les résultats obtenus par ce procédé car ils permettent d'avoir une idée, souvent assez précise, de la nature pétrographique de l'inclusion sans qu'il soit nécessaire d'effectuer une lame mince.

a. OPHISPÉRITES FORMÉES AUX DÉPENS DES DIABASES A HORNBLENDE BRUNE A STRUCTURES HYPIDIOMORPHES GRENUES, SOUVENT PLUS OU MOINS ORIENTÉES

Dans les zones où la diabase est demeurée fraîche, ces ophispérites se caractérisent par leur teinte grise, souvent très sombre; dans les spécimens formés par une roche suffisamment grossière, on distingue très bien les cristaux d'amphibole qui mettent en évidence, lorsqu'elle existe, la texture orientée. Les parties où plagioclase et amphibole sont chloritisés prennent une teinte vert clair; celles où la chlorite n'a remplacé que le plagioclase restent très sombres, avec cependant une nuance verte.

Les variétés à epidote se distinguent par leur couleur plus claire, gris-vert plus ou moins blanchâtre suivant la quantité de ce minéral. Lorsque ce dernier est chloritisé, la roche apparaît vert foncé.

Certaines inclusions montrent parfois un « noyau » gris-vert clair, souvent dans une nuance beige rosé plus ou moins accentuée. Dans de tels cas, soit plagioclase et hornblende sont entièrement chloritisés, soit le feldspath subsiste encore, bien qu'extrêmement séricité (parfois la séricite prédomine largement) et chloritisé, la hornblende pouvant être remplacée non seulement par la chlorite mais aussi par l'actinote-trémolite; la teinte rosée paraît avant tout liée à la plus ou moins grande abondance de leucoxène et de sphène libérés par la hornblende lors de sa chloritisation. Le bord de telles ophispérites apparaît toujours plus sombre: vert plus ou moins foncé si la roche est totalement chloritisée, gris verdâtre très sombre lorsque la hornblende est encore fraîche.

Cette dernière particularité mérite d'être relevée car elle démontre que, parfois tout au moins, certaines des transformations métamorphiques antérieures à la phase de chloritisation principale (dans le cas présent: hornblende remplacée par la chlorite généralement associée à l'actinote-trémolite et plagioclase le plus souvent intensément chloritisé et séricité) n'ont affecté que la partie centrale de l'inclusion puisque la hornblende est conservée dans l'enveloppe externe de celle-ci; ce qui implique, par ailleurs, que ces modifications se sont produites après que la roche ait été morcelée pour former l'ophispérite. D'autre part, il paraît certain que ces transformations ont précédé la phase de chloritisation principale. En effet, dans quelques spécimens de ce type, on constate que la hornblende préservée dans l'enveloppe externe de l'inclusion peut avoir été totalement chloritisée lors d'un stade ultérieur; l'existence passée de l'amphibole étant démontrée par le fait que cette dernière subsiste plus ou moins chloritisée, ou même fraîche, dans un liseré (le plus souvent très mince et faisant même défaut par places) jalonnant le contact bord chloritisé-centre altéré de l'ophispérite.

b. OPHISPÉRITES FORMÉES AUX DÉPENS DES DIABASES A HORNBLENDE BRUNE, A PHÉNOCRISTEAUX DE PLAGIOCLASE

Lorsque la diabase est fraîche et présente un caractère porphyrique suffisamment développé, de telles ophispérites se reconnaissent facilement grâce à la présence des phénocristaux blanchâtres se détachant sur un fond gris plus ou moins foncé, parfois brunâtre. Lorsque seul le plagioclase est remplacé par la chlorite (cas fréquemment réalisé dans l'enveloppe externe de l'inclusion), la pâte apparaît gris verdâtre très sombre; les phénocristaux, toujours bien reconnaissables, sont alors vert foncé. Les zones dans lesquelles feldspath et hornblende sont chloritisés se reconnaissent à leur teinte franchement verte, parfois assez claire, dans laquelle les phénocristaux ressortent comme des taches sombres. Enfin, une couleur gris brunâtre clair caractérise les très rares ophispérites dans lesquelles le plagioclase est fortement affecté par des développements de calcite, séricite, chlorite et, dans une moindre mesure, d'épidote et de pumpellyite; totalement chloritisée dans le bord de l'inclusion, une telle diabase est alors vert foncé.

c. OPHISPÉRITES FORMÉES AUX DÉPENS DES DIABASES INTERSERTALES FINES A HORN-BLENDE BRUNE

Assez fréquemment, ces ophispérites présentent un « noyau » gris très foncé: plagioclase et hornblende sont alors relativement frais. Souvent, dans le bord de telles inclusions le feldspath est seul chloritisé; dans ce cas, la roche passe à une teinte gris-vert, toujours assez foncée. Il n'est pas rare non plus que les ophispérites de ce type montrent une partie centrale, ou une zone intermédiaire, vert clair avec parfois une nuance beige rosé (nuance déjà relevée dans certaines ophispérites formées à partir des diabases hypidiomorphes grenues à hornblende brune): plagioclase et hornblende sont chloritisés (ophispérites « *inverses* » ou « *semi-inverses* »). Enfin, lorsque dans le « noyau » de certaines inclusions la diabase montre une teinte vert clair un peu jaunâtre, on peut pressentir que la roche a été affectée par les développements épidotiques.

d. OPHISPÉRITES FORMÉES AUX DÉPENS DES DIABASES INTERSERTALES A HORNBLENDE BRUN-VERT

Au centre de telles inclusions, la diabase est de teinte gris-vert foncé; l'enveloppe externe chloritisée, verte, apparaît nettement plus claire. Les ophispérites dans lesquelles l'amphibole a plus ou moins échappé à la chloritisation à l'extrême bord de l'inclusion se reconnaissent à la présence d'une nouvelle zone, vert foncé, faisant suite à la précédente.

e. OPHISPHÉRITES FORMÉES AUX DÉPENS DES DIABASES INTERSERTALES A PYROXÈNE

Les « noyaux » des ophosphérites de ce type (lorsque ni le plagioclase ni le pyroxène n'ont été atteints par la chloritisation) se distinguent de ceux des variétés à hornblende brune par leur teinte plus claire, franchement verte ou gris-vert. Souvent, au bord de l'inclusion, seul le plagioclase est chloritisé; la diabase apparaît alors vert foncé et montre parfois, si la structure est assez grossière, une fine moucheture brunâtre indiquant la présence du pyroxène. Quand ce dernier est lui aussi remplacé par la chlorite, cette moucheture devient vert très clair; dans ce cas, la nuance plus sombre de l'enveloppe externe de l'ophosphérite est très peu marquée. Enfin, la présence d'épidote au centre de certaines inclusions se marque très mal, la diabase apparaissant à peine plus claire que lorsque la roche est fraîche.

f. OPHISPHÉRITES FORMÉES AUX DÉPENS DES DIABASES HYPIDIOMORPHES GRENUES A PYROXÈNE

Dans la partie centrale fraîche de telles ophosphérites et surtout dans celle des variétés formées par les diabases les plus largement cristallisées, il arrive que l'alternance de fins niveaux feldspathiques (blancs à verdâtres, discontinus) avec d'autres riches en minéraux ferro-magnésiens, bruns à vert foncé (suivant la chloritisation plus ou moins importante de ces derniers), mette en évidence une structure orientée, assez fréquente pour ce type de diabase. Dans l'enveloppe chloritisée externe, d'un vert foncé presque uniforme, ce rubanage disparaît toujours.

g. OPHISPHÉRITES FORMÉES AUX DÉPENS DES DIABASES INTERSERTALES A PYROXÈNE ET HORNBLENDE BRUNE

Dans les zones où tous les minéraux sont encore frais, les ophosphérites formées par ces diabases présentent une teinte gris-vert assez foncée; d'une manière générale, la prédominance du pyroxène se traduit par un éclaircissement et l'accentuation de la nuance grise, celle de la hornblende par un assombrissement et l'apparition d'une nuance brune. Lorsqu'au bord de telles inclusions, seul le plagioclase est chloritisé, la diabase passe au vert foncé. Par contre, comme toujours, les parties où feldspath et minéraux ferro-magnésiens ont été remplacés par la chlorite, sont nettement plus claires (ici grisâtres). A l'extrême bord de certaines ophosphérites de ce type, la hornblende peut avoir échappé (tout au moins partiellement) à la chloritisation; de couleur gris-brun sombre, de telles zones se remarquent très bien. Enfin, lorsque ces diabases ont été affectées par les développements d'épidote, les ophosphérites apparaissent, suivant la proportion de ce minéral, gris foncé à gris clair au centre, toujours vert foncé au bord.

Tableau 1: RÉSUMÉ DES PROPRIÉTÉS ESSENTIELLES DES OPHISPÉRITES

NATURE PÉTROGRAPHIQUE ORIGINELLE DES ROCHES FORMANT LES OPHISPÉRITES

Types de roches		Composition minéralogique	Structures	LES TRANSFORMATIONS MÉTAMORPHIQUES DU PREMIER STADE (s'observent dans la partie centrale ou « noyau » de l'ophisphérite)			
DIABASES	I.	Parfois avec pyroxène accessoire.	Hypidiomorphes grenues; souvent plus ou moins orientées.	CHLORITISATION <i>normale</i> : types 1 et 9. <i>semi-inverse</i> : types 1 et 3. <i>inverse</i> : type 3.	CHLORITISATION <i>normale</i> : type 2.		
	II.		Intersertales à hypidiomorphes grenues; phénocristaux de plagioclase.	CHLORITISATION <i>normale</i> : types 1 et 8. <i>semi-inverse</i> : type 4. <i>inverse</i> : type 2.		CHLORITISATION <i>normale</i> : type 10.	
	III.		Finement intersertales.	CHLORITISATION <i>semi-inverse</i> : type 1. <i>inverse</i> : type 3.			CHLORITISATION <i>semi-inverse</i> : type 1.
	IV.	A hornblende brun-vert.	Intersertales.				
	V.	A pyroxène.	Intersertales.	CHLORITISATION <i>normale</i> : types 1, 2, 3 et 9. <i>semi-inverse</i> : type 4.		CHLORITISATION <i>normale</i> : types 1, 3 et 4.	CHLORITISATION <i>semi-inverse</i> : type 1.
	VI.	A pyroxène (parfois avec hornblende brune associée).	Hypidiomorphes grenues.	CHLORITISATION <i>normale</i> : type 5.			
	VII.	A pyroxène et hornblende brune.	Intersertales.	CHLORITISATION <i>normale</i> : type 1. <i>semi-inverse</i> : type 2.			CHLORITISATION <i>normale</i> : type 7.
GRANITOS	VIII.	A pyroxène surtout; plus rarement à hornblende brune.	Hypidiomorphes grenues plus ou moins grossières; parfois pegmatitiques.		CHLORITISATION <i>normale</i> : types 1, 6 et 10.	CHLORITISATION <i>normale</i> : types 1, 6 et 10.	CHLORITISATION <i>normale</i> : types 1, 6 et 10.
SÉGRÉGATIONS FELDSPATIQUES	IX.	a) non albítiques. b) albítiques.	Mal définies; lamelles de feldspath parfois groupées en assemblages à tendance, soit trachytique, soit ophitique.		CHLORITISATION <i>normale</i> : types 4, 6 et 7.		

LES TRANSFORMATIONS MÉTAMORPHIQUES DU PREMIER STADE
(s'observent dans la partie centrale ou « noyau » de l'ophisphérite)

La roche originelle est encore quasi fraîche. Le plagioclase ne montre que de fins développements de chlorite, de sérièite, auxquels s'associent parfois de rares et minuscules cristallisations de pumppellyite. Hornblende ou pyroxène sont frais à partiellement remplacés par de l'actinote-trémolite et la chlorite (un abaissement de la bascrite primitive du plagioclase peut accompagner ces transformations).

Le plagioclase est intensément altéré (avec abaissement de la bascrite primitive); il est remplacé par une association de chlorite et hornblende, contre le pyroxène, peuvent être entièrement remplacés par l'actinote-trémolite et la chlorite (un abaissement de la bascrite primitive du plagioclase peut accompagner ces transformations).

Le plagioclase est largement altéré (avec abaissement de la bascrite primitive); il est remplacé par une association de chlorite et hornblende, contre le pyroxène, peuvent être entièrement remplacés par l'actinote-trémolite et la chlorite (un abaissement de la bascrite primitive du plagioclase peut accompagner ces transformations).

De nombreux développements de pumppellyite, associés à de la chlorite et, parfois, à de fines cristallisations d'épidote, ont remplacé le plagioclase lorsqu'il subsiste encore; il témoigne d'un net abaissement de la bascrite. Hornblende et pyroxène sont frais à plus ou moins remplacés par actinote-trémolite et chlorite.

Seule la présence de prehnite, qui apparaît associée à la pumppellyite, permet de distinguer ce type du précédent.

Des cristallisations épidoïtiques plus ou moins abondantes, fines à largement cristallisées, se sont développées dans le plagioclase (parfois, lorsqu'il est entièrement chloritisé), contre de clinzoïsite le plus souvent, très accidentellement de zoïsite associée à de la clinzoïsite ou d'un amas de zoïsite et prehnite. Dans certains cas, ces développements épidoïtiques peuvent s'endre à la hornblende et au pyroxène, minéraux qui d'ailleurs apparaissent presque toujours largement remplacés par l'actinote-trémolite et la chlorite.

Hornblende ou pyroxène, sont entièrement remplacés par l'actinote-trémolite associée à de la chlorite. Avec une température d'anthracite (vers 15 °C), la conversion actuelle de la chlorite (frais, mises à part de fines cristallisations de chlorite et sérièite) résulte sans doute d'un abaissement de la bascrite originelle.

CHLORITISATION
normale : type 6.
semi-inverse : type 1.

Sous la rubrique CHLORITISATION, les types indiqués en gras — sont très fréquents, non gras — sont fréquents, italiens — sont normaux — sont accidentels.

Il ressort de cet énoncé qu'un examen macroscopique des sections effectuées à travers ces inclusions permet déjà de reconnaître les principales variétés d'ophisphérites diabasiques et de savoir, parmi les minéraux principaux (plagioclase, hornblende et pyroxène), lesquels ont été affectés par la chloritisation dans chacune des zones caractérisant ces enclaves. Par contre, sans étude microscopique, il est impossible d'avoir une idée exacte de la nature des transformations métamorphiques qui ont pu affecter, avant la phase de chloritisation, certaines de ces diabases.

Nous ferons enfin une remarque à propos des diabases hypidiomorphes grenues à hornblende brune présentant une structure orientée. En effet, on pourrait se demander si de telles roches ne correspondent pas à des amphibolites (niveaux métamorphiques plus profonds entraînés lors de la mise en place des ultramafites). Diverses raisons nous ont empêché de prendre en considération une telle hypothèse :

- 1) *La nature de l'amphibole (kaersutite), parfaitement identique dans les diabases typiques et dans ces variétés à structure orientée.*
- 2) *L'existence de termes de passage entre les types à structure diabasique et les variétés présentant cette structure particulière.*

On peut encore remarquer que cette orientation structurale peut être plus ou moins accentuée et même inexistante et qu'elle apparaît aussi dans certaines diabases hypidiomorphes grenues à pyroxène. Une telle structure semble donc liée à des conditions de cristallisation spéciales (bords d'intrusions?).

2.3.3.2. LES OPHISPHÉRITES NON DIABASIQUES

2.3.3.2.1. DÉRIVANT DE GABBROS

Déjà décrits « en place » à la Mouille-Ronde et en lentilles de natures diverses associées aux serpentinites, les gabbros peuvent aussi constituer des ophisphérites ; en effet, indépendamment de la forme caractéristique présentée par de telles inclusions, les transformations dont ils témoignent alors, de même que leur structure zonée concentrique, sont en tous points comparables à celles caractérisant les ophisphérites diabasiques. L'observation d'un tel mode de gisement est nouvelle pour la région étudiée ici. Par contre, des ophisphérites gabbroïques ont déjà été signalées et décrites au Mont-Genèvre, par M. VUAGNAT et L. PUSZTASZERI (1964) et L. PUSZTASZERI (thèse, à l'impression), et dans l'Apennin ligure par M. GALLI (1964). Ce dernier, au cours d'une excursion dans la région de Sestri-Levante en compagnie du professeur M. VUAGNAT, nous a d'ailleurs montré ces ophisphérites, dont certaines encore bien « en place », dans une carrière entaillée dans le faciès levanto (Cava di Pavareto, au N. du col du Bracco). La visite de cet affleurement nous a permis d'acquérir la certitude que tout au moins certaines ophisphérites résultaient de la

TABLEAU II. — LES TROIS MODES DE CHLORITISATION DES OPHISPÉHRITES

CHLORITISATION NORMALE

(la zone la plus externe, ou « enveloppe », est la plus affectée par la chloritisation)

Principales zones observées			
Type	Bord (« enveloppe »)	Zone intermédiaire	Partie centrale (« noyau »)
1.	Le plagioclase (et les éventuels et divers minéraux formés à ses dépens) sont totalement chloritisés: par contre, la hornblende, comme le pyroxène, restent tels que dans la partie centrale ou sont légèrement plus chloritisés.		La roche n'est pas affectée par la chloritisation.
2.	Idem type 1.	La chloritisation du plagioclase n'est pas constante: ne s'observe que selon certains « lits », ce qui détermine une fine sous-zonation. Pour les autres minéraux: idem partie centrale.	Idem type 1.
3.	Pour le plagioclase: idem type 1. La chloritisation de la hornblende, comme celle du pyroxène, peut être complète, mais par endroits seulement.		Idem type 1.
4.	Pour le plagioclase: idem type 1; mais la hornblende, comme le pyroxène, sont totalement chloritisés.	Pour le plagioclase (et les éventuels et divers minéraux formés à ses dépens): idem bord. La hornblende et le pyroxène ne sont pas chloritisés (dans certaines ophispéhrites feldspathiques, la biotite, seul élément mélano-cratre, ne subsiste toutefois que par places).	Idem type 1.
5.	Pour le plagioclase: idem type 1. Pyroxène: chloritisation quasi totale. Hornblende: bien que davantage		Idem type 1.

CHLORITISATION NORMALE (*suite*)

Principales zones observées			
Type	Bord (« enveloppe »)	Zone intermédiaire	Partie centrale (« noyau »)
	chloritisée que dans la partie centrale, subsiste encore. L'actinote-trémolite résultant de la transformation de ces deux minéraux n'est pas chloritisée.		
6.	La chloritisation est totale pour plagioclase, pyroxène et amphiboles; en effet, seules quelques reliques d'actinote-trémolite subsistent (toutefois, dans certaines ophisphérites feldspathiques dans lesquelles le seul composant mélanocrate est la biotite, quelques vestiges de ce minéral peuvent s'observer).		Idem type 1.
7.	La chloritisation de la roche est complète (plagioclase, hornblende, pyroxène, actinote-trémolite).		Le plagioclase (et les éventuels et divers minéraux formés à ses dépens) ne sont pas chloritisés; par contre, mis à part quelques possibles vestiges, la chloritisation de la hornblende comme du pyroxène est totale.
8.	En négligeant quelques témoins d'actinote-trémolite, la chloritisation de la roche est complète (dans le cas étudié, plagioclase et hornblende).		Seuls quelques vestiges de plagioclase ont échappé à la chloritisation (« cœur » de phénocristaux par exemple). La hornblende est largement chloritisée mais l'actinote-trémolite subsiste.
9.	Totale pour le plagioclase, la chloritisation l'est presque aussi pour la hornblende, le pyroxène et l'actinote-trémolite.		Le plagioclase est entièrement chloritisé: par contre, le pyroxène comme la hornblende (et l'actinote-trémolite qui a souvent partiellement remplacé cette dernière) ne sont pas chloritisés.

CHLORITISATION NORMALE (*suite*)

Principales zones observées			
Type	Bord (« enveloppe »)	Zone intermédiaire	Partie centrale (« noyau »)
10.	La chloritisation est complète pour le plagioclase (et pour les divers minéraux s'y étant développés lors du premier stade); par contre, bien qu'en voie de chloritisation, la hornblende, de même que le pyroxène, apparaissent en général plus frais que dans la partie centrale.		Le plagioclase, plus ou moins envahi par les divers minéraux que l'on sait, n'est pas chloritisé, mais la hornblende, de même que le pyroxène, le sont totalement ou presque.
Si nous avons placé ce cas particulier parmi les types présentant une chloritisation <i>normale</i> , c'est parce que la persistance des minéraux ferro-magnésiens dans le bord de telles inclusions est ici attribuable au premier stade de transformation.			

CHLORITISATION SEMI-VERSE

(la zone la plus affectée par la chloritisation apparaît entre l'« enveloppe » et « le noyau »)

Principales zones observées			
Type	Bord (« enveloppe »)	Zone intermédiaire	Partie centrale (« noyau »)
1.	La chloritisation du plagioclase est complète; par contre, la hornblende, le pyroxène et l'actinote-trémolite peuvent apparaître nettement moins chloritisés que dans la partie centrale.	Le plagioclase (et, comme toujours, les divers minéraux qui ont pu se former à ses dépens), la hornblende et le pyroxène sont totalement chloritisés; par contre, il arrive que l'actinote-trémolite s'observe encore.	La roche est restée telle qu'après les transformations du premier stade.
2.	Plagioclase et pyroxène sont totalement chloritisés; bien que largement remplacée par l'actinote-trémolite, la hornblende forme encore de nombreuses reliques.	La chloritisation est complète pour le plagioclase, la hornblende, le pyroxène et l'actinote-trémolite.	Idem type 1.
3.	Le plagioclase est entièrement chloritisé; par contre la hornblende, largement	Plagioclase et hornblende sont totalement chloritisés (toutefois, cette dernière	La chloritisation du plagioclase est complète; quant à la hornblende,

CHLORITISATION SEMI-VERSE (suite)

Principales zones observées			
Type	Bord (« enveloppe »)	Zone intermédiaire	Partie centrale (« noyau »)
	remplacée par l'actinote-trémolite, a échappé, tout au moins partiellement, à la chloritisation.	s'observe à nouveau progressivement à l'approche de la zone externe).	seuls les phénocristaux ont échappés à cette métasomatose.
4.	Le plagioclase est totalement chloritisé. Hornblende et pyroxène ne le sont que peu ou pas (il arrive même que la première soit plus fraîche que dans la partie centrale où elle apparaît davantage remplacée par l'actinote-trémolite).	Idem type 2.	Si la chloritisation est complète pour le plagioclase, elle n'a nullement affecté ni la hornblende ni le pyroxène qui apparaissent tels qu'après les transformations attribuables au premier stade.

CHLORITISATION INVERSE

(ce mode dérive du précédent: il résulte de l'extension de la zone intermédiaire, la plus chloritisée, jusqu'au centre de l'inclusion)

Principales zones observées		
Type	Bord (« enveloppe »)	Partie centrale (« noyau »)
1.	Le plagioclase est totalement chloritisé; l'actinote-trémolite n'a pas été affectée par la chloritisation et même la hornblende a été partiellement épargnée par cette dernière.	Plagioclase et hornblende sont totalement chloritisés; seule l'actinote-trémolite peut encore s'observer.
2.	Le plagioclase est totalement chloritisé alors que la hornblende, par ailleurs largement remplacée par l'actinote-trémolite, a été partiellement épargnée.	Plagioclase, hornblende et actinote-trémolite sont totalement chloritisés.
3.	Le plagioclase est totalement chloritisé contrairement à la hornblende qui apparaît, soit fraîche, soit en voie de remplacement par l'actinote-trémolite et la chlorite.	Idem type 2.

fragmentation de masses plus importantes (ici, très probablement filons boudinés) incluses dans la serpentinite; en un point, il est en effet possible de voir que la chloritisation s'est développée à partir de fissures sillonnant un fragment assez volumineux pour n'épargner que certains « noyaux » et donner ainsi naissance à des ophisphérites encore contiguës, mais qu'aussi bien des mouvements tectoniques ultérieurs, qu'une altération de la roche encaissante, auraient aussitôt séparés.

Nous avons déjà relevé que, dans la région des Gets, les ophisphérites gabroïques sont beaucoup plus rares que celles formées à partir de diabases. Il n'en a pas moins été possible, en chaque affleurement où apparaissent les serpentinites, sauf au Crêt, d'en observer trois ou quatre spécimens; à la Charnia (zone principale) de telles ophisphérites sont même nettement plus fréquentes et volumineuses que dans les autres pointements, le diamètre de certains échantillons pouvant dépasser 20 cm, alors que cette dimension est généralement voisine de 10 cm.

Contrairement aux gabbros décrits jusqu'ici (« en place », en lentilles dans les serpentinites), avant tout à hornblende brune, les variétés constituant les ophisphérites sont le plus souvent à augite-diallage.

Pour décrire les spécimens étudiés, il faut à nouveau tenir compte :

- *De la composition originelle de la roche.*
- *Des transformations subies ultérieurement :*
 - a) avant la phase de chloritisation;
 - b) au cours de celle-ci.

2.3.3.2.1.1. *Composition originelle des gabbros*

Si les spécimens à augite-diallage sont les plus fréquents, ceux à hornblende brune n'en existent pas moins. En réalité, la différence entre les deux variétés n'est généralement pas aussi nette, puisque pyroxène et amphibole apparaissent souvent associés; mais la hornblende ne prédomine que rarement.

2.3.3.2.1.2. *Transformations subies par ces gabbros*

De même que pour les ophisphérites diabasiques nous avons été conduits à admettre que les transformations dont témoignent ces gabbros doivent se rapporter à *deux stades différents* :

a) ANTÉRIEUREMENT A LA PHASE DE CHLORITISATION

Les transformations ayant affecté ces gabbros étant identiques qu'ils soient à pyroxène ou à amphibole, les descriptions qui suivent sont valables pour l'une comme pour l'autre de ces deux variétés.

Auparavant, relevons que les ophisphérites gabroïques, grâce à leur grain plus grossier, ont souvent permis de mieux observer certains développements

métamorphiques, parfois très peu évidents dans les ophisphérites formées aux dépens de diabases fines.

1) *Le gabbro est demeuré relativement frais*

Cette possibilité semble très exceptionnellement réalisée. Rappelons que ce n'est pas le cas pour les ophisphérites diabasiques, qui présentent souvent un « noyau » dans lequel la roche n'a subi pour ainsi dire aucune transformation.

Dans un seul des échantillons étudiés, le plagioclase originel (environ 35% d'anorthite, d'après l'analyse diffractométrique) s'observe encore, bien que séricisé et montrant de rares et très fines cristallisations de pumpellyite; le constituant mélanocrate, une augite-diallage, a déjà été partiellement remplacé par de l'actinote-trémolite associée à de la chlorite (l'actinote, vert bleuté, forme souvent une frange délimitant les cristallisations de trémolite).

2) *Le gabbro a été largement transformé*

Comme dans le cas précédent, pyroxène et amphibole ont plus ou moins disparu au profit de l'actinote-trémolite. Les modifications les plus importantes et qui présentent le plus d'intérêt ont affecté le plagioclase. En effet, divers minéraux se sont développés au détriment de ce dernier:

- a. Formation de *pumpellyite* et de *prehnite* (moins abondante) associées à de la chlorite; de rares cristallisations d'épidote s'observent aussi (clinozoïsite surtout, epidote-pistacite et zoïsite accidentelle).

Cette association pumpellyite-prehnite semble toutefois rare.

- b. Développement, de peu à relativement intense, de *pumpellyite* associée à de la chlorite, souvent à un peu de séricite et à quelques cristallisations accessoires d'épidote.

En a. comme en b., dans la majorité des cas, le plagioclase a été entièrement remplacé, bien que souvent ses mâcles polysynthétiques se devinent encore. Toutefois, dans certains échantillons, et surtout dans les spécimens les plus volumineux provenant de la Charnia, le feldspath subsiste, associé aux cristallisations de pumpellyite, de chlorite et de séricite; il témoigne alors d'un très net abaissement de basicité puisqu'il s'agit d'une albite, souvent pure, ou dont le pourcentage en anorthite est compris entre 0 et 10%.

- c. Cristallisation, généralement intense, d'épidote (*clinozoïsite*) pouvant, dans certains cas, avoir envahi la presque totalité de la roche.

Ces diverses transformations sont donc identiques à celles déjà observées dans les diabases; nous verrons, dans les conclusions au chapitre « Inclusions dans les serpentinites », quelles significations on peut leur attribuer.

b) LA PHASE DE CHLORITISATION ET SES EFFETS SUR LES DIVERS MINÉRAUX: PROPRIÉTÉS ET MODES DE DISTRIBUTION DES ZONES CONCENTRIQUES

Comme pour les ophosphérites diabasiques, le résultat principal de cette phase, dont les effets oblitèrent plus ou moins les transformations mentionnées ci-dessus, est l'apparition de la zonation concentrique caractérisant les ophosphérites. A ce propos, relevons que la limite entre partie chloritisée ou non est représentée ici par une ligne irrégulière, et parfois assez indistincte, ce qui est rarement le cas pour les ophosphérites diabasiques où un tel passage se marque par une ligne franche et régulière; le grain plus grossier des gabbros, joint au fait que pyroxène et amphibole d'une part, plagioclase d'autre part, réagissent différemment à la chloritisation, explique cette différence.

Suivant les effets et l'intensité de cette chloritisation, il est possible de répartir les ophosphérites gabbroïques en deux catégories principales:

- A. *Les spécimens zonés.*
- B. *Les spécimens non zonés* (entièrement chloritisés).

A. *Les spécimens zonés*

De telles ophosphérites sont définies par l'existence d'un « noyau » dans lequel subsiste, si ce n'est le plagioclase primitif, tout au moins les minéraux ayant remplacé celui-ci lors du premier stade de transformation (ophosphérites à pumpellyite-prehnite, à pumpellyite, à epidote). Dans l'enveloppe externe de l'inclusion ces divers minéraux sont chloritisés. La taille des « noyaux » peut varier considérablement: de moins de 1 cm à plus de 10 cm de diamètre parfois.

Les divers modes de chloritisation du pyroxène et de l'amphibole permettent de distinguer plusieurs variétés.

Etant bien entendu que dans chacun de ces cas le plagioclase (ou ses produits de remplacement) n'est chloritisé qu'au bord de l'ophosphérite, nous n'indiquerons que les transformations affectant les minéraux ferro-magnésiens suivant qu'ils se trouvent dans la partie centrale ou externe de l'inclusion.

- 1) *Partie centrale et au bord*: le pyroxène (seul élément mélanocrate) est partiellement remplacé par de l'actinote-trémolite associée à de la chlorite.
- 2) *Partie centrale et au bord*: la hornblende est largement remplacée par de l'actinote-trémolite associée à de la chlorite; le pyroxène apparaît déjà fortement chloritisé.
- 3) *Partie centrale et au bord*: pyroxène et hornblende sont intensément chloritisés; seuls quelques développements antérieurs d'actinote-trémolite ont résisté à la chloritisation.

A ce propos, et illustrant bien la plus grande inertie de l'amphibole secondaire vis-à-vis de la chloritisation, on peut mentionner certains cristaux de pyroxène encore frais mais entourés d'une auréole d'actinote-trémolite dans la partie centrale de l'ophisphérite alors que dans l'enveloppe chloritisée de cette dernière seule la marge d'amphibole secondaire a échappé à la chloritisation.

4) *Partie centrale* : le pyroxène et la hornblende qui peut lui être associée sont totalement chloritisés. *Bord* : de nombreuses et parfois grandes reliques de pyroxène et d'amphibole ont échappé à la chloritisation.

Ce cas, assez fréquemment réalisé, fait donc apparaître un certain caractère « *inverse* » tel que nous l'avons déjà relevé dans plusieurs ophisphérites diabasiques montrant la hornblende plus fraîche à la périphérie de l'inclusion que dans une zone intermédiaire, voire même qu'au centre.

B. *Les spécimens non zonés*

Parmi les échantillons récoltés, plusieurs d'entre eux témoignent d'une chloritisation complète et seuls quelques indices permettent de reconnaître leur nature gabroïque primitive (par exemple vagues reliques de pyroxène et d'amphibole reconnaissables à leurs clivages soulignés par la disposition des granules de minéraux libérés au moment de la chloritisation, tels qu'ilménite leucoxène ou sphène).

Il est alors impossible de préciser la nature des éventuelles transformations ayant pu affecter le gabbro avant qu'il ne soit chloritisé.

2.3.3.2.1.3. *Structures et caractères macroscopiques des gabbros formant des ophisphérites*

Dans la mesure où leur état de conservation permet d'en juger, ces gabbros présentent des structures comparables à celles des variétés décrites jusqu'ici et particulièrement à celles des gabbros « *en place* ». Hypidiomorphes grenues surtout, elles vont des types fins à ceux plus largement cristallisés, quelques échantillons allant même jusqu'à montrer un caractère pegmatitique évident (grands cristaux idiomorphes de pyroxène).

Lorsque, dans la partie centrale de l'inclusion, le plagioclase ou les minéraux qui l'ont remplacé ne sont pas chloritisés, la roche apparaît franchement blanchâtre, plus ou moins tachetée de brun ou de vert suivant la concentration et l'état de conservation des minéraux ferro-magnésiens. Une zone de transition, vert-clair, montrant le plagioclase (ou ses produits de remplacement) déjà chloritisé, existe souvent entre le centre et le bord, vert-foncé, de l'ophisphérite. Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, il est fréquent que pyroxène ou hornblende soient davantage chloritisés au centre qu'au bord ; ces minéraux apparaissent alors respectivement : ternes et plus ou moins verts ou beige-rosé (dans ce cas, une abondante libération de granules titanifères a accompagné la chloritisation) ; plus franchement brun foncé avec leurs faces de clivages encore brillantes.

Si, indépendamment de leur nature pyroxénique dominante, on devait mentionner une autre différence entre les gabbros constituant des ophisphérites et ceux apparaissant « en place », ou formant d'autres inclusions dans les serpentinites, on pourrait relever une certaine tendance des premiers à être plus leucocrates.

2.3.3.2.2. DÉRIVANT DE ROCHES FELDSPATHIQUES

Certaines ophisphérites, extrêmement rares, dérivent de roches leucocrates, très riches en plagioclase. Vu leur mode de gisement actuel, il est très difficile d'avoir une idée précise de leur origine. Toutefois, certaines observations effectuées sur le terrain, puis confirmées par les études en laboratoire, nous ont conduit à penser que ces inclusions proviennent de ségrégations leucocrates telles qu'il en existe, à la Mouille-Ronde, dans les gabbros ou, parfois aussi, dans les diabases.

Par ailleurs, en tenant compte de certains caractères de ces enclaves (en particulier, nature et modes d'altération du plagioclase), il est possible d'envisager l'existence de deux types de ségrégations :

- *Les ségrégations contemporaines (à subcontemporaines), de la formation de la roche encaissante.*
- *Les ségrégations nettement plus tardives.*

Dans ces deux catégories, on peut, comme pour les autres ophisphérites, considérer, d'une part les transformations antérieures à la phase de chloritisation, et d'autre part celles attribuables à cette dernière.

2.3.3.2.2.1. *Ophisphérites formées aux dépens de ségrégations plus ou moins contemporaines de la formation de la roche encaissante*

A. *Les transformations subies par ces roches*

a) ANTÉRIEUREMENT A LA PHASE DE CHLORITISATION

Le plagioclase est très altéré; le plus souvent, par d'intenses développements de séricite qui vont même, parfois, jusqu'à l'envahir totalement; occasionnellement, à côté de la séricite, on observe des cristallisations de clinzoïsite, certaines assez importantes; quelques développements de pumpellyite, très finement divisée, peuvent s'y associer. Etant donné cette extrême altération, il est très difficile de déterminer la composition du plagioclase, même à l'aide d'analyses diffractométriques; toutefois ces dernières, malgré la mauvaise qualité des diagrammes obtenus, permettent de dire qu'il ne s'agit pas d'une albite.

Des minéraux mélano-crates qui peuvent apparaître associés au feldspath, la biotite est la plus fréquente; il arrive même, par places, qu'elle soit très abondante.

La hornblende est beaucoup plus rare. Si le remplacement (quasi total) de cette dernière par la chlorite, paraît devoir être attribué à la phase de chloritisation, il semble, par contre, que la biotite a déjà été plus ou moins chloritisée auparavant.

b) LA PHASE DE CHLORITISATION ET SES EFFETS SUR LES DIVERS MINÉRAUX: PROPRIÉTÉS ET MODES DE DISTRIBUTION DES ZONES CONCENTRIQUES

Bien que les différences entre les diverses ophisphérites de ce type ne soient souvent que peu marquées, on peut mentionner les variétés suivantes dans lesquelles le passage d'une zone à l'autre peut se faire de manière progressive:

1) *Partie centrale*: le plagioclase et ses produits de remplacement ne sont pas chloritisés alors que le minéral associé (sans doute une hornblende) l'est totalement.

Bord: la roche est entièrement chloritisée.

2) *Partie centrale*: le plagioclase, de même que les minéraux qui le remplacent, ne sont pas affectés par la chloritisation; la biotite apparaît fraîche ou plus ou moins chloritisée.

Bord: seules quelques reliques de biotite ont échappé à la chloritisation complète de la roche.

3) *Partie centrale*: la chloritisation n'a pas atteint cette partie de l'ophisphérite; la très légère altération montrée par la biotite est sans doute antérieure.

Zone intermédiaire (n'existant que par endroits): alors que le plagioclase et ses produits de remplacement sont chloritisés, la biotite reste telle qu'au centre.

Bord: la chloritisation a également fait disparaître la biotite.

B. Structures et caractères macroscopiques de telles ophisphérites

Etant donné l'altération intense, du plagioclase surtout, il est difficile de reconnaître l'arrangement primitif des minéraux; toutefois, bien souvent, on devine encore que ces derniers étaient disposés en un enchevêtrement de lamelles groupées de manière quelconque ou qui tendaient parfois à être orientées plus ou moins parallèlement; nous n'avons jamais reconnu de structures diabasiques. Cette absence de structures bien définies, comme les concentrations locales de certains minéraux (plagioclase, biotite) paraissent confirmer que l'on est bien en présence de vestiges de ségrégations.

Macroscopiquement, de telles ophisphérites présentent toujours un contraste marqué entre la zone centrale et le bord. La première apparaît blanchâtre à gris clair, plus ou moins tachée de vert (chlorite) ou de brun rougeâtre (biotite); la partie externe est toujours d'un vert assez foncé.

2.3.3.2.2.2. *Ophisphérites formées aux dépens de ségrégations nettement plus tardives*

De telles ophisphérites se distinguent des précédentes par leur caractère originel apparemment encore plus leucocrate et surtout par la nature de leur plagioclase.

Une des trois variétés d'ophisphérites décrites en détail par F. JAFFÉ (1955, p. 119-121) appartient à cette catégorie. De même, lors d'une récente illustration du phénomène de la chloritisation au moyen de la microsonde électronique (J. BERTRAND, 1968), nous avons, entre autre, analysé un cristal de plagioclase qui provenait d'une ophisphérite rattachée à ce groupe.

A. *Les transformations subies par ces roches*

a) ANTÉRIEUREMENT A LA PHASE DE CHLORITISATION

La roche est demeurée presque intacte. Le plagioclase surtout est très frais, bien que les cristaux soient fragmentés et parcourus par un réseau de fines veinules chloriteuses, ou chlorito-sérichtiques parfois; l'analyse à la microsonde, en révélant la composition quelque peu différente de cette chlorite par rapport à celle ayant envahi l'enveloppe externe de l'inclusion au cours de la phase de chloritisation, semble confirmer l'antériorité du remplissage des fractures sillonnant le feldspath. En plus de son état de fraîcheur (absence de développements sérichtiques), le plagioclase observé ici se distingue de celui décrit dans les inclusions appartenant à l'autre catégorie d'ophisphérites feldspathiques par son caractère franchement acide. En effet, mesures optiques et analyses diffractométriques révèlent une teneur en anorthite allant de 0 à 10% environ; les résultats obtenus avec la microsonde confirment ces valeurs.

Les composants mélanocrates sont très nettement subordonnés; il s'agit de la biotite et d'une hornblende brun-vert. Alors qu'il est difficile de préciser si l'amphibole, en général fortement chloritisée, l'a été uniquement au cours de la phase de chloritisation principale, il apparaît que le remplacement, occasionnel et partiel, de la biotite par la chlorite a déjà eu lieu avant cette phase principale (le mica demeure inchangé dans l'enveloppe chloritisée externe de l'inclusion).

b) LA PHASE DE CHLORITISATION ET SES EFFETS SUR LES DIVERS MINÉRAUX: PROPRIÉTÉS ET MODES DE DISTRIBUTION DES ZONES CONCENTRIQUES

Un seul type a été observé:

Partie centrale: le plagioclase et les minéraux mélanocrates qui peuvent lui être associés apparaissent tels que décrits en a).

Bord : la chloritisation est complète pour le plagioclase (et la séricite lorsqu'elle existait); l'amphibole est entièrement chloritisée mais la biotite subsiste telle qu'au centre.

Notons encore que le passage d'une zone à l'autre se fait d'une manière extrêmement tranchée.

B. *Structures et caractères macroscopiques de telles ophisphérites*

Ces inclusions présentent des structures particulières définies :

- 1) Par la disposition des lamelles feldspathiques, souvent largement développées, groupées en assemblages d'allure soit ophitique, soit trachytique par places.
- 2) Par le fait que, non seulement brisés, les cristaux ont été partiellement réduits en une « purée » d'écrasement, « purée » qui joue alors le rôle de ciment entre les fragments encore intacts. Il ne fait pas de doute que des actions mécaniques sont responsables d'un tel phénomène.

Macroscopiquement, ces ophisphérites se reconnaissent à la grande différence de teinte existant entre la partie centrale et le bord de l'inclusion. Suivant la proportion et le degré d'altération des minéraux mélancrates, la première apparaît gris blanchâtre plus ou moins tachée de vert ou de gris-brun, l'enveloppe externe étant vert très foncé. Par ailleurs, lorsque la structure est assez grossière, le centre de l'ophisphérite présente un caractère plus ou moins grenu, caractère qui disparaît toujours dans l'enveloppe externe, parfaitement homogène.

2.3.4. *A propos des transformations métamorphiques qui ont pu se développer avant la phase de chloritisation proprement dite (premier stade)*

Rappelons tout d'abord que l'antériorité de ces développements (que l'on observe actuellement dans les « noyaux » non chloritisés) par rapport à la phase de chloritisation est démontrée par le fait que, dans certaines enveloppes externes chloritisées, il est encore possible de reconnaître l'habitus des minéraux formés lors de cette première phase (observation évidente dans le cas des cristallisations d'épidote). D'autre part, comme on le sait, de rares échantillons ont montré qu'une zonation concentrique pouvait déjà apparaître lors de ce stade de transformation (par préservation de la hornblende brune dans le bord de l'inclusion); dans de tels spécimens, il est parfois possible de voir que les effets de la chloritisation proprement dite (chloritisation totale du bord de l'inclusion) se sont superposés à cette première zonation (qui peut ainsi disparaître complètement) : c'est un autre argument permettant de confirmer l'existence des deux phases bien distinctes que nous avons envisagées.

Comme le montre le tableau I, les ophisphérites affectées par ces diverses transformations métamorphiques sont moins fréquentes que celles demeurées fraîches, ou presque, jusqu'à la phase de chloritisation principale. Toutefois, les ophisphérites gabbroïques font exception à cette règle : ces gabbros apparaissent presque toujours

plus ou moins transformés. Etant donné le peu d'exemplaires de ce type par rapport au nombre d'ophisphérites diabasiques, il est difficile d'interpréter cette observation; existe-t-il une différence réelle entre ophisphérites diabasiques et ophisphérites gabbroïques, différence qui indiquerait que ces dernières ont été soumises à des conditions différentes, ou qu'elles ont réagi différemment à certaines conditions? Ou cette observation doit-elle être attribuée uniquement au fait que les ophisphérites gabbroïques sont peu fréquentes? La dernière hypothèse nous semble la moins probable.

Si l'on ne considère que les ophisphérites diabasiques, il est également très difficile de mettre en évidence une éventuelle relation entre les diverses variétés de diabases et le type de transformation observé; une fois encore, le nombre extrêmement limité de certains spécimens ne permet pas de tirer de conclusions valables. Cependant, si l'on prend en considération les trois grandes subdivisions pétrographiques des diabases (diabase à hornblende brune, à pyroxène, à pyroxène et hornblende brune), on constate que les principaux types de transformations se retrouvent dans chacune de ces subdivisions. Cela donne à penser qu'il n'y a pas de liaison entre la nature originelle de la roche formant l'inclusion et l'apparition de tels ou tels développements métamorphiques; on relèvera tout de même que les ophisphérites constituées par la diabase à hornblende brune à phénocristaux de plagioclase, pourtant assez fréquentes, ne sont jamais affectées par d'importants développements ni d'épidote, ni de pumpellyite.

Qu'en est-il du mode de distribution des minéraux formés lors de cette première phase?

Le plus souvent, l'épidote semble avoir été distribuée de façon homogène dans l'inclusion avant que cette dernière ne soit affectée par la chloritisation. Mais il arrive aussi que cette répartition soit irrégulière et totalement indépendante de la forme de l'inclusion; ainsi, occasionnellement, l'épidote peut apparaître très largement développée dans une moitié de l'inclusion puis devenir de moins en moins abondante dans l'autre (particularité faisant aussi ressortir la totale indépendance de la chloritisation ultérieure, l'enveloppe chloritisée suivant visiblement le pourtour de l'ophisphérite). Dans un cas comme dans l'autre, aucun argument ne permet d'affirmer que ces développements se sont produits avant ou après que l'inclusion ait acquis sa forme actuelle. Par contre, dans de rares échantillons, l'épidote a davantage envahi la partie centrale de l'ophisphérite; il est alors logique de penser que ce minéral a cristallisé après que la roche ait été fragmentée pour donner l'enclave observée.

En général, les cristallisations de pumpellyite sont distribuées uniformément. Parfois cependant, dans quelques ophisphérites diabasiques, de tels développements épargnent une petite zone au centre de l'inclusion, zone dans laquelle le plagioclase demeure assez frais; dans ce cas, l'inclusion présentait donc sa forme actuelle lors de la cristallisation de la pumpellyite.

La séricite et le carbonate (ce dernier très occasionnellement observé) apparaissent uniformément distribués.

Ainsi, en tenant compte du mode de distribution des divers minéraux mentionnés ci-dessus, il apparaît que ces transformations métamorphiques se sont parfois développées alors que l'inclusion avait déjà acquis sa forme actuelle; toutefois, dans la majorité des cas, ce mode de distribution ne permet pas de conclure si oui ou non l'enclave présentait déjà, lors de la formation de ces minéraux, la forme observée aujourd'hui.

Par contre, d'autres transformations, également attribuables à ce premier stade, se sont visiblement développées, dans certaines inclusions, alors que ces dernières présentaient déjà la forme de l'ophisphérite observée aujourd'hui.

Ce sont les transformations affectant avant tout la *hornblende brune* dont l'état de conservation peut varier notablement de la partie périphérique à la partie centrale de l'enclave; la limite entre les zones ainsi déterminées est toujours représentée par une ligne plus ou moins parallèle au pourtour de l'inclusion. Il s'agit donc d'une zonation précoce, sans liaison avec la phase de chloritisation principale et liée uniquement à un comportement particulier de la hornblende brune, parfois du pyroxène (on retrouve d'ailleurs ce comportement particulier dans la phase de chloritisation).

Ainsi, dans certaines ophisphérites, montrant toujours le plagioclase intensément et diversément affecté par des altérations propres au premier stade de transformation (séricitisation et chloritisation; développement d'épidote, de pumpellyite; très occasionnellement de carbonate), la hornblende, ou le pyroxène, apparaissent plus frais à la périphérie que dans la partie centrale de l'inclusion (voir aussi, sous caractères macroscopiques des divers types d'ophisphérites diabasiques, 2.3.3.1.2.a.).

De telles ophisphérites peuvent avoir été affectées de diverses manières par la chloritisation ultérieure:

- 1) L'inclusion reste inchangée.
- 2) Seul le plagioclase, et les minéraux l'ayant remplacé, sont chloritisés dans l'enveloppe externe.
- 3) Dans la zone périphérique, la chloritisation totale s'étend aussi à la hornblende (ou au pyroxène) primitivement préservée.

Dans ce dernier cas, le fait que la horblende puisse encore subsister dans un liseré parfois très mince, jalonnant le contact zone chloritisée-partie centrale de l'inclusion prouve bien, qu'avant la chloritisation, cette amphibole existait dans l'ensemble de la zone périphérique.

Ainsi, la superposition des effets de la chloritisation proprement dite permet non seulement de confirmer l'existence de deux stades de transformations bien distincts, mais aussi de démontrer qu'une zonation précoce peut avoir caractérisé certaines ophisphérites.

Quelques remarques enfin au sujet du mode de distribution de l'*actinote-trémolite* que l'on sait pouvoir plus ou moins remplacer la hornblende ou le pyroxène lors du premier stade de transformation. Si dans la majorité des cas un tel remplacement paraît s'être fait avec la même intensité dans toute l'inclusion, il arrive cependant que cette amphibole secondaire soit plus abondante à la périphérie de quelques ophosphérites; toutefois, cette dernière observation ne permet pas de conclure que la transformation s'est développée après que l'inclusion ait acquis sa forme actuelle. En effet, il faut tenir compte du fait que:

- Comme le montre déjà la figure 32, la chloritisation ultérieure peut affecter davantage une zone intermédiaire ou même toute la partie centrale de certaines ophosphérites.
- La hornblende (ou le pyroxène) présente une plus grande susceptibilité à la chloritisation que l'actinote-trémolite.

Ces deux facteurs justifient l'impossibilité de déterminer:

- Si la plus grande concentration d'amphibole secondaire au bord de l'inclusion signifie que ce minéral s'est véritablement développé, lors du premier stade, surtout à la périphérie de l'enclave (la hornblende ou le pyroxène, alors préservés dans la partie centrale de l'ophosphérite, ayant été par la suite plus facilement chloritisés).
- Ou si la plus grande abondance d'actinote-trémolite dans la zone externe de l'ophosphérite doit être attribuée au fait que la chloritisation, plus intense dans la partie centrale de l'inclusion, n'a épargné l'amphibole secondaire, à l'origine uniformément distribuée, qu'en bordure de l'enclave.

Enfin, il faut remarquer que certaines des transformations associées à ce premier stade, telle que la sérichtisation surtout, ou l'ouralitisation, relèvent de phénomènes encore mal connus; il convient donc de ne pas leur attribuer nécessairement les mêmes causes qu'aux autres transformations propres aux inclusions dans les serpentinites.

Cette restriction s'applique avant tout aux développements de sérichte, la formation d'actinote-trémolite paraissant bien être, tout au moins dans une large mesure, un des traits caractérisant les roches incluses dans l'ultrabasite.

2.3.5. *A propos de la phase de chloritisation proprement dite (deuxième stade)*

Bien que nous ayons vu qu'une zonation concentrique pouvait parfois apparaître déjà lors du premier stade de transformation, la phase de chloritisation demeure, et de loin, le principal facteur responsable du développement des zonations concentriques caractérisant les ophosphérites.

En effet, affectées ou non par les transformations du premier stade, ces inclusions ont été chloritisées d'une façon particulière: l'intensité de la chloritisation (qui se traduit par un nombre plus ou moins grand de minéraux chloritisés) n'évolue pas de manière progressive mais au contraire brusquement, à certains niveaux, déterminant ainsi la zonation observée.

Comme le montre déjà le tableau II, l'intensité de la chloritisation décroît, le plus souvent, de la zone externe (enveloppe) à la partie centrale (« noyau ») de l'enclave: c'est le mode « *normal* ».

Toutefois, dans un bon nombre d'ophisphérites, cette condition n'est pas réalisée; une zone intermédiaire (mode « *semi-inverse* ») ou même la partie centrale de l'inclusion (mode « *inverse* ») étant la plus chloritisée. Ces deux modes particuliers, dus au fait que la hornblende (parfois le pyroxène) a mieux résisté à la chloritisation à la périphérie de l'ophisphérite (comme dans le cas de la zonation précoce déjà mentionnée), se rencontrent principalement dans des ophisphérites formées aux dépens de diabases à hornblende brune, intersertales surtout, mais aussi hypidiomorphes grenues; diabases qui, par ailleurs, sont demeurées quasi fraîches jusqu'à la phase de chloritisation (démontrant alors que ce comportement particulier de la hornblende, parfois du pyroxène, ne s'est manifesté ici qu'au moment de cette dernière). De ces deux modes, le type « *inverse* » est beaucoup plus rare; nous pensons qu'il représente une évolution du type « *semi-inverse* » dans lequel le « noyau » habituellement moins chloritisé aurait été complètement « digéré » par une chloritisation plus intense.

Indépendamment de ces divers modes de chloritisation et sur la base des observations que l'on peut effectuer, soit dans une même zone, soit d'une zone à l'autre, il est possible de classer les minéraux constitutifs des ophisphérites par ordre de susceptibilité décroissante à la chloritisation. Cette classification est la suivante:

- 1) *Plagioclase* et divers minéraux résultant de son altération (*séricite*, *pumpellyite*, *prehnite*, *épidote*, *carbonate*).

Relevons cependant que la séricite peut parfois disparaître avec un très léger retard sur le plagioclase.

- 2) *Pyroxène* et *hornblende*.

Nous avons placé ensemble ces deux minéraux bien que dans certains échantillons où ils apparaissent associés, on remarque que la chloritisation n'a pas eu le même effet sur chacun d'eux. Ainsi, dans plusieurs ophisphérites montrant la hornblende subordonnée au pyroxène, la chloritisation totale de ce dernier n'est pas accompagnée de celle du premier minéral qui n'est que partiellement chloritisé; par contre, dans quelques spécimens où le pyroxène n'apparaît qu'en tant que minéral accessoire, c'est au contraire lui qui subsiste sous forme de reliques alors que la hornblende est entièrement chloritisée. On est donc

tenté d'admettre que lorsque ces deux minéraux sont associés, leurs proportions relatives peuvent influencer leur comportement face à la chloritisation. Relevons enfin, de nouveau à l'appui d'une plus grande inertie de la hornblende face à la chloritisation, que dans certaines ophisphérites où pyroxène et amphibole sont associés, cette dernière est chloritisée de manière progressive et avec un net retard, non seulement sur le plagioclase, mais aussi sur le pyroxène.

3) *Actinote-trémolite.*

Bien souvent, dans les zones où tous les minéraux mentionnés jusqu'à présent sont chloritisés, seule l'amphibole secondaire s'observe encore. Le fait que dans certaines zones totalement chloritisées, ne subsistent que les auréoles d'actinote-trémolite développées autour de plages de hornblende, ou de pyroxène, lors du premier stade de transformation, montre clairement cette plus grande résistance de l'amphibole secondaire face à la chloritisation.

4) *Biotite.*

Il n'est pas rare, alors que tous les autres minéraux sont chloritisés, que ce mica s'observe encore, partiellement chloritisé ou même frais.

5) *Apatite et zircon.*

Ces deux minéraux, tout à fait accessoires (et même accidentel dans le cas du zircon qui n'apparaît que dans les ophisphérites feldspathiques), ne sont pas affectés par la chloritisation.

Le mode de passage entre zones différemment chloritisées appelle quelques remarques.

Ce passage est extrêmement brutal pour le plagioclase et les minéraux formés à ses dépens: il se fait sans tenir compte des contours des cristaux qui sont ainsi traversés par la limite entre deux zones différemment chloritisées; seule la séricite disparaît parfois un peu plus progressivement (voir aussi J. BERTRAND, 1968). Dans le cas de la hornblende ou du pyroxène, ce passage, tout en restant bien tranché, peut être un peu moins brutal et surtout il arrive que la chloritisation de ces deux minéraux marque un certain retard sur celle du plagioclase ou des minéraux résultant de la transformation de celui-ci.

Relevons encore que dans les ophisphérites « *semi-inverses* » ou « *inverses* » (tout comme dans certains spécimens montrant une zonation précoce), la disparition du minéral ferro-magnésien (le plus souvent hornblende) est parfois progressive en allant du bord à la zone intermédiaire ou centrale de l'inclusion; par contre, entre zone intermédiaire et « *noyau* », on observe toujours un contact extrêmement tranché.

Nous ferons enfin quelques remarques d'ordre général.

La chloritisation étant visiblement un phénomène qui a sa source à l'extérieur de l'inclusion, il est déjà difficile de saisir pourquoi l'enveloppe externe de certaines

ophisphérites est moins chloritisée qu'une zone plus interne. Mais en fait, cette particularité n'est pas la seule à faire ressortir la complexité des lois qui doivent avoir régi le processus de chloritisation. En effet:

- Le plus souvent, en passant d'une zone à une autre, le changement d'intensité de la chloritisation se traduit par un nombre progressivement moins grand ou plus grand de minéraux chloritisés (Exemples: a) *Zone périphérique*: plagioclase et hornblende totalement chloritisés; *zone intermédiaire*: seul le plagioclase est chloritisé; *zone centrale*: la roche n'est pas du tout chloritisée. b) *Zone périphérique*: plagioclase et hornblende sont chloritisés; *zone centrale*: seul le plagioclase est chloritisé).

Cette règle n'est toutefois pas absolue, puisqu'il arrive aussi que l'on observe en contact une zone totalement chloritisée avec une autre dans laquelle la roche n'est pas du tout affectée par la chloritisation.

- L'importance relative extrêmement variable des zones définissant les ophisphérites est une autre particularité qui démontre que les conditions ayant présidé à la chloritisation n'ont pas été, et de loin, toujours les mêmes. En effet, on pourrait penser que les effets de la chloritisation sur des enclaves de taille semblable (et éventuellement de composition et structure équivalentes) soient les mêmes. Or ce n'est pas du tout le cas. En fait, et quelle que soit la taille de l'inclusion, il est possible d'observer tous les intermédiaires entre l'enclave non affectée par la chloritisation (nous les avons décrites séparément) et celle totalement chloritisée.

Par ailleurs, ce n'est pas nécessairement dans les ophisphérites de plus grande taille que l'on observe plus de deux zones différemment affectées par la chloritisation. Dans un exemplaire de 4 cm de diamètre seulement, nous avons même pu observer, en plus de trois zones principales, une « sous-zonation » formée par six zones secondaires, déterminées avant tout par une proportion plus ou moins grande et une distribution différente des granules de minéraux titanifères (voir à ce propos, dans les descriptions minéralogique des inclusions dans les serpentinites, la description se rapportant à ces minéraux).

3. CONCLUSIONS

Parvenu au terme de la description des principaux caractères des inclusions dans les serpentinites, quelques points essentiels doivent être retenus.

- 1) *Ces inclusions, et en particulier les ophisphérites, ne résultent pas de la chloritisation d'une brèche diabasique préexistante, brèche qui aboutirait, dans un stade de transformation ultime (de même que certaines diabases) à une serpentinite typique.* L'observation, même dans les enclaves les plus chloritisées, de structures reliques

(diabasiques, gabbroïques) et l'absence d'une quelconque amorce de développement de la structure réticulée propre aux serpentinites massives de la région des Gets nous empêchent de souscrire à une telle hypothèse; cette dernière est encore moins vraisemblable si l'on tient compte de la différence de composition chimique existant entre les parties totalement chloritisées de ces inclusions et la serpentinite typique (teneur appréciable en Al dans les premières ce qui n'est pas le cas pour la seconde). A ce propos, nous interprétons les fragments de serpentinite massive, souvent associés aux ophisphérites et de forme comparable à celles-ci, non pas comme des enclaves de ce type parvenues à un stade de transformation complet, mais comme les vestiges d'ultrabasite ayant échappé aux écrasements et transformations ultérieures. Nous ne pouvons donc pas souscrire à l'hypothèse de F. JAFFÉ, hypothèse selon laquelle les serpentinites de la région étudiée résulteraient de diabases et brèches diabasiques transformées au cours d'une phase ultrabasique postérieure à la mise en place des gabbros et diabases.

Les ophisphérites et autres enclaves correspondent à des vestiges fragmentés : a) soit d'intrusions (filons) ou éventuellement, dans certains cas, de niveaux interstratifiés dans l'ultramafite, b) soit d'écaillles tectoniques associées à cette dernière. La nature pétrographique variable des uns et des autres, le caractère non constant des transformations ultérieures que ces inclusions ont pu subir, joint au fait que l'on se trouve dans des zones où la tectonique a toujours dû être très active doivent permettre d'expliquer la diversité des enclaves observées aujourd'hui dans un voisinage immédiat.

- 2) *Il n'est pas rare que ces inclusions aient conservé leur caractère non spilitique originel (plagioclase non albitique).* La nature albitique du feldspath, également observée, est secondaire et liée aux transformations métamorphiques ayant pu affecter certaines de ces enclaves (surtout les ophisphérites); ceci à l'exception de la diabase formant le *point 1* de l'affleurement du Bartoli, diabase rattachée à des épanchements sous-marins et pour laquelle il est très difficile de déterminer l'origine de la composition albito-chloritique (primaire ou secondaire).
- 3) *La nature pétrographique de ces inclusions appelle aussi quelques remarques.* En effet, comme nous l'avons déjà mentionné, il existe une nette parenté entre les roches formant ces enclaves et certaines de celles observées, à la Mouille-Ronde, soit « en place », soit sous forme d'éléments dans la brèche ophiolitique. Toutefois, dans ces derniers cas, la diversité et de composition et de structures propre aux roches incluses dans les serpentinites fait défaut (diversité précisément attribuable au fait que l'on retrouve dans ces enclaves les vestiges: a) de plusieurs épisodes intrusifs dans l'ultramafite; b) d'écaillles tectoniques pouvant provenir de divers niveaux traversés ou chevauchés par la roche ultrabasique); par ailleurs, le plus souvent, dans ces diabases « en place », la chlorite est actuelle-

ment pour ainsi dire le seul élément mélanocrate alors que dans les diabases en inclusions dans les serpentinites la hornblende brune surtout et le pyroxène sont les composants mélanocrates principaux. On soulignera aussi que, contrairement aux gabbros observés « en place » (à amphibole le plus fréquemment), ceux constituant des ophosphérites sont surtout à pyroxène.

D'autre part, nous avons vu que sur l'ensemble des formations diabasiques visibles dans la région des Gets, celles rattachées à des épanchements subaquatiques constituent une part importante; il est alors intéressant de noter que, mis à part l'écaille formant le *point I* du Bartoli et un unique débris de pillow observé au ruisseau des Bounaz, de telles diabases n'apparaissent jamais incluses dans les serpentinites. Cette particularité mérite d'être soulignée lorsque l'on sait qu'au Mont-Genève la majorité des ophosphérites sont constituées par des fragments de laves en coussins. Pour cette dernière région tout au moins, il est donc raisonnable d'admettre que l'association fragments diabasiques-ultrabasite a été avant tout tectonique. Par contre, dans le secteur étudié ici, il apparaît que les conditions ayant présidé à la mise en place des enclaves ont visiblement été différentes puisque, d'après leurs structures, ce sont des roches hypabyssales qui forment la presque totalité des inclusions dans les serpentinites; dans ce cas, il est impossible de définir avec exactitude quel a été, à l'origine, le mode d'association inclusions-roches encaissante (intrusions ou écaillles tectoniques?).

- 4) *Une bonne part de l'intérêt présenté par ces inclusions, et tout particulièrement par les ophosphérites, est lié à l'existence des transformations diverses susceptibles de les avoir affectées.*

Rappelons que nous avons été conduit à admettre que ces transformations se sont développées en deux stades bien distincts. Pour chacun de ceux-ci, il nous reste donc à tenter de définir qu'elles ont pu être:

- a) *les causes de telles transformations ;*
- b) *le moment auquel elles se sont produites ;*
- c) *pourquoi, parmi ces enclaves, certaines d'entre elles (qui pourtant peuvent être de même nature originelle) ont été affectées par ces transformations alors que d'autres ont été épargnées.*

3.1. LES TRANSFORMATIONS DU PREMIER STADE

- a) *Diverses causes peuvent être envisagées pour expliquer l'existence de telles transformations.*

Il est généralement admis que le développement des silicates calciques est lié, soit à un apport de Ca venant de la roche encaissante (Ca libéré par la serpentinitisation des pyroxènes), soit à une simple migration et redistribution de cet élément dans l'inclusion, le Ca chassé de l'enveloppe externe des ophosphérites lors de la chloritisa-

tion venant se concentrer dans la partie centrale de ces dernières (cette hypothèse implique donc que la chloritisation est la cause du développement des minéraux calciques); dans la région des Gets tout au moins, nous écarterons cette seconde possibilité puisque nous avons vu que ces minéraux calciques avaient aussi existé dans les zones actuellement chloritisées. D'autre part, dans certains cas, il nous semble qu'il ne faut pas négliger l'hypothèse qu'il n'y a pas eu enrichissement en Ca, mais que cet élément a été libéré par les plagioclases des roches formant ces inclusions.

Ainsi, les développements de prehnite, de pumpellyite, d'actinote-trémolite de même que ceux, peu intensifs, d'épidote pourraient s'expliquer par une simple redistribution du Ca au sein de l'inclusion; par contre, une origine métasomatique de cet élément paraît nécessaire pour justifier les intenses développements épidotiques affectant certaines ophosphérites (zoïsites de F. JAFFÉ), l'accroissement de la teneur en Ca étant par trop important (voir plus loin, dans la partie consacrée à la pétrochimie, l'analyse IV* *centre*).

En fait, pour pouvoir choisir entre une origine métasomatique ou non du Ca, il faudrait établir un bilan chimique suffisamment précis entre ophosphérites et la serpentinite encore en contact étroit avec ces enclaves, ce qui n'est jamais réalisable dans la région étudiée.

Mais quelle que soit l'hypothèse choisie, il est important de relever que les conditions ayant présidé à ces transformations n'ont pas toujours été les mêmes comme l'indique la diversité des minéraux formés.

Nous ne pensons pas que les conditions variables de pression et de température auxquelles ont dû être soumises les inclusions soient nécessairement liées à une profondeur de formation plus ou moins grande mais qu'elles ont plutôt été réalisées localement dans des zones tectoniquement actives.

Enfin, on pourrait aussi envisager qu'un métamorphisme précoce soit responsable des transformations observées, métamorphisme ayant affecté, suivant l'idée que l'on a de l'origine de ces enclaves, soit les intrusions situées plus ou moins profondément dans l'ultramatite, soit les roches encaissantes auxquelles ont été arrachées les écailles tectoniques lors de la mise en place de la péridotite. Non seulement peu vraisemblable, une telle hypothèse n'est pas en accord avec certaines de nos observations (par exemple, la distribution des minéraux formés lors de ce stade peut indiquer, parfois de manière certaine, que lors du développement de ces transformations, l'inclusion avait déjà été fragmentée pour donner l'ophosphérite observée aujourd'hui); d'autre part, le fait que des roches en tous points identiques à l'origine aient été diversément transformées, dans un espace sans doute limité, nous semble difficilement en accord avec cette hypothèse.

b) *Ayant admis que les serpentinites de la région des Gets dérivent d'une péridotite, il y a tout lieu de penser que les transformations observées (qu'elles soient d'origine métasomatiques ou pas) se sont développées au cours de la phase de serpentinitisation.*

D'après certains auteurs, cette phase suivrait de peu la mise en place magmatique de l'ultramafite; pour M. VUAGNAT (1963), elle serait plus tardive et contemporaine des mouvements orogéniques alpins conduisant au morcellement puis au déplacement des masses ultrabasiques ainsi formées. Ce dernier point de vue semble davantage en accord avec le fait que la fragmentation des inclusions était visiblement déjà en cours au moment où les transformations métamorphiques les ont affectées.

- c) *Indépendamment de la diversité des transformations observées, l'importance plus ou moins grande des développements métamorphiques et même, très souvent, leur absence totale, ne font que rendre plus complexes les problèmes posés par ces inclusions.*

Il nous semble que deux hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer de telles différence:

- 1) Si l'on considère que les développements métamorphiques sont d'origine métasomatique, le fait que l'inclusion se soit produite alors que la péridotite était encore fraîche ou au contraire dans un état de serpentinitisation plus ou moins avancé a certainement joué un rôle; par ailleurs, même en négligeant toute action métasomatique, le comportement d'une inclusion doit sans doute avoir été différent suivant qu'elle était associée à une roche fraîche ou plus ou moins serpentinitisée.
- 2) Les conditions extrêmement variables de pression et de température, ainsi que la durée pendant laquelle les enclaves sont demeurées soumises à de telles conditions, peuvent aussi justifier ces différences.

3.2. LES TRANSFORMATIONS DU DEUXIÈME STADE

Rappelons que ce stade est essentiellement caractérisé par la *chloritisation* qui affecte très souvent les inclusions dans les serpentinites, et tout particulièrement les ophissphérites (principal facteur responsable des zonations concentriques de celles-ci).

— *Quelles peuvent être les causes d'un tel phénomène?*

Indubitablement plus tardive que les transformations du premier stade, la chloritisation est un phénomène purement métasomatique qui a sans doute pour origine la circulation de solutions aqueuses dans le milieu encaissant les inclusions. En effet, nous n'entrevoyns pas d'autre hypothèse que celle-ci, déjà avancée par M. VUAGNAT, mais il n'en reste pas moins que les conditions ayant présidé à la formation de telles solutions (c'est-à-dire le véritable « moteur » de cette métasomatose) sont encore inconnues.

— Plus tardive, la chloritisation s'est vraisemblablement développée alors que la péridotite encaissante était, si ce n'est déjà totalement serpentinitisée, tout au moins

dans un état de serpentinitisation très avancé. Etant donné ses nouvelles propriétés physiques, cette roche a alors été plus volontiers soumise aux intenses contraintes tectoniques des premiers stades de l'orogénèse alpine, ce qui a entraîné son morcellement et sa fracturation (et par conséquent celui des inclusions) rendant possible, et surtout plus facile, la circulation de solutions dans un tel milieu. D'ailleurs, la petitesse de la majorité des inclusions parle bien en faveur de dislocations intenses comme la disposition concentrique des zones plus ou moins chloritisées des ophosphérites indique que la métasomatose chloriteuse s'est développée pendant ou surtout après le fractionnement des enclaves.

— A n'en pas douter, la chloritisation, avec ses effets si variables sur les inclusions, soulève autant, et si ce n'est plus, de problèmes que ceux posés par la diversité des transformations du premier stade.

En effet, nous savons que les enclaves peuvent être non seulement plus ou moins affectées par cette métasomatose mais aussi, comme le démontre l'étude des ophosphérites, que cette chloritisation peut se manifester de diverses manières: par le nombre de minéraux constitutifs affectés et aussi par le mode de distribution des zones différemment chloritisées (modes « *normal* », « *semi-inverse* » et « *inverse* »). Rappelons que ces différences ne sont pas liées à la nature pétrographique originelle de l'inclusion puisqu'elles peuvent s'observer dans des roches en tous points semblables à l'origine.

Autre point intéressant ajoutant à la complexité de cette phase de métasomatose: le comportement particulier de la hornblende surtout, mais aussi du pyroxène, qui, dans certains cas, ont plus ou moins échappé à la chloritisation dans la partie externe de l'ophosphérite, mais sont totalement chloritisés dans une zone plus interne (modes « *semi-inverses* » et « *inverses* »). Nous avons d'ailleurs vu qu'il arrivait que ces minéraux aient déjà manifesté un tel comportement lors du premier stade de transformation. Bien qu'encore inexpliquée, cette particularité doit sans doute avoir pour cause l'existence d'une zone « tampon » entre inclusion et roche encaissante, zone n'ayant existé que lorsque certaines conditions étaient réalisées. Une fois encore des analyses chimiques assez rapprochées entre inclusion et roche encaissante (encore en contact l'une avec l'autre) et même effectuées sur les divers minéraux en présence, seraient nécessaires, afin de pouvoir mettre en évidence d'éventuelles différences existant entre les ophosphérites chloritisées selon ces deux modes particuliers ou selon le mode « *normal* ». Peut-être que de telles analyses, irréalisables dans le secteur des Gets étant donné les conditions d'affleurement, seront possibles en d'autres régions où de semblables ophosphérites seraient découvertes et permettront-elles alors de mieux comprendre ces phénomènes.

Pour le moment, et d'après les données dont on dispose, on peut raisonnablement admettre l'intervention des facteurs suivants pour expliquer à la fois l'intensité

plus ou moins grande de la chloritisation et les divers modes de développements de celle-ci:

- 1) *La durée pendant laquelle les inclusions ont été soumises à l'influence des solutions aqueuses* (certaines zones n'ayant peut-être jamais ou pas toujours été parcourues par les solutions; inclusions mises en place plus ou moins tardivement).
- 2) *Les conditions de pression et de température dans lesquelles ces solutions ont agi* (conditions qui doivent avoir eu une influence sur l'activité des solutions).
- 3) *La plus ou moins grande abondance de ces solutions et la facilité avec laquelle elles pouvaient circuler* (liaison avec l'état de la roche encaissante: existence, soit de zones préservées plus longtemps de la serpentinitisation, soit de zones serpentinitisées mais affectées de façons variables par les dislocations tectoniques).

Arrivé au terme de cet important chapitre, on s'aperçoit que de nombreuses incertitudes demeurent, aussi bien quant à l'origine qu'au mode de mise en place ou qu'aux conditions ayant présidé aux diverses transformations pouvant affecter les inclusions dans les serpentinites. Si les conditions d'affleurement particulières et fort mauvaises de la région étudiée ne permettent pas d'apporter davantage de précisions sur ces divers points, nous souhaitons cependant que les observations effectuées puissent s'intégrer dans de futurs travaux qui pourraient être consacrés à l'étude de telles enclaves dans des zones offrant des conditions d'affleurement plus favorables, ce qui permettra sans doute de mieux reconstituer l'histoire géologique des roches incluses dans les serpentinites.

Pour terminer, nous soulignerons une fois encore que les diverses transformations décrites ne sont pas attribuables à un éventuel métamorphisme régional qu'aurait subi la zone préalpine charriée dans laquelle apparaissent actuellement les serpentinites. Ces transformations, propres aux roches incluses dans les serpentinites, se sont vraisemblablement développées avant que ces dernières ne soient placées dans leur contexte géologique actuel.