HAL
open science

Histoire des éclogites et de leur interprétation géodynamique

Gaston Godard

To cite this version:

Gaston Godard. Histoire des éclogites et de leur interprétation géodynamique. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 2001, 3ème série (tome 15), pp.51-76. hal-00919979

HAL Id: hal-00919979

https://hal.science/hal-00919979v1

Submitted on 17 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TRAVAUX
DU
COMITÉ FRANÇAIS D'HISTOIRE DE LA GÉOLOGIE
- Troisième série -
T.XV (2001)

Gaston GODARD

Histoire des éclogites et de leur interprétation géodynamique

COMITÉ FRANÇAIS D'HISTOIRE DE LA GÉOLOGIE (COFRHIGEO) (séance du 14 mars 2001)

Résumé.

En 1822, Haüy créa le nom " *éclogite* ", mais de Saussure avait déjà observé cette roche dans les Alpes quatre décennies auparavant. Cette " *roche de choix* " suscita l'intérêt de nombreux pétrographes européens, en particulier allemands et scandinaves. En France, elle fut particulièrement étudiée par Auguste Rivière, Alfred Lacroix et Yvonne Brière. Son origine demeura cependant longtemps énigmatique, considérée tout à tour comme magmatique ou métamorphique. L'hypothèse d'un métamorphisme de roches gabbroïques s'imposa lorsqu'on observa des transitions entre des gabbros non métamorphisés et certaines éclogites. En 1903, en comparant la densité des paragenèses éclogitiques et gabbroïques, Friedrich Becke montra que les éclogites sont l'équivalent de haute pression des gabbros. Vers 1920, Eskola introduisit l'importante notion de faciès métamorphique, qui comporte, entre autres, un faciès éclogite caractérisé par une formation à haute pression. Toutefois, quelques chercheurs nièrent la nécessité de hautes pressions pour former les éclogites. Dans les années 1960, de nouvelles considérations sur la pression d'eau favorisèrent l'idée selon laquelle les éclogites n'étaient qu'un équivalent anhydre des amphibolites. Finalement, le développement de la pétrologie expérimentale et l'application de la thermodynamique démontrèrent que les éclogites sont des roches métamorphiques de haute pression, formées à grande profondeur.

Parallèlement, ces roches furent impliquées dans diverses hypothèses géodynamiques. Vers 1900, l'étude des kimberlites favorisa la croyance en une abondance d'éclogite à l'intérieur de la Terre. En 1912, Fermor prédit l'existence d'une couche éclogitique dense dans le manteau. Cette hypothèse fut envisagée jusque vers 1970, époque à laquelle l'alternative d'un manteau péridotitique s'imposa, après que les expériences sur la transition gabbro-éclogite aient démontré que celle-ci ne pouvait coïncider avec la discontinuité de Mohorovicic. Par ailleurs, les ceintures métamorphiques de haute pression, à éclogites et glaucophanites, caractéristiques des chaînes alpines, étaient considérées comme des reliques d'ophiolites, épanchées au fond de géosynclinaux, puis métamorphisées par la surcharge liée à l'empilement des nappes. Après l'acceptation de la tectonique des plaques, vers 1970, on admit que ces mêmes ceintures de haute pression étaient de la croûte océanique, transformée en éclogite dans des zones de subduction, puis intégrée aux chaînes de montagne. Curieusement, la formation d'éclogite dans des zones de " subsidence " (c'est-à-dire

de subduction) avait été envisagée dès 1931 par Holmes, qui avait conçu une théorie de courants de convection dans le manteau. Au cours des années 1980, de nombreux auteurs tentèrent d'appliquer le modèle des ceintures alpines de haute pression aux éclogites incluses dans les terrains gneissiques des orogènes anciens, mais l'origine de ces dernières demeure encore confuse de nos jours. Lors des deux dernières décennies, certaines de ces roches furent au cœur du débat sur le métamorphisme d'ultra-haute pression. La découverte, en 1984, de coesite dans ces roches crustales a propulsé les pressions maximales du faciès éclogite à quelque 40 kbar, correspondant à des profondeurs de formation de plus de 100 km.

Mots-clés : histoire - pétrologie - métamorphisme - géodynamique - XIXe siècle - XXe siècle.

Abstract.

Haüy coined the term " eclogite ", meaning " chosen rock ", in 1822, but de Saussure had already observed rocks of this type in the Alps four decades earlier. Throughout the 19th century, the origin of eclogite remained an enigma. It was thought to be either an igneous rock of gabbroic composition or a metamorphosed gabbro. This second hypothesis became preferred when progressive transitions were observed between gabbros and eclogites. In 1903, simply by comparing the molar volumes of gabbroic and eclogite parageneses, Becke inferred that eclogite was the high-pressure equivalent of gabbro. In 1920, eclogite was involved in the conception of the metamorphic facies by Eskola. However, a few researchers denied the existence of an eclogite facies, and claimed that high stress instead of high lithostatic pressure could generate eclogites. In the 1960s, consideration of the water pressure parameter also favoured the belief that eclogite was simply the anhydrous equivalent of amphibolite. Finally, eclogite was definitely considered as a high-pressure metamorphic rock following the development of experimental petrology and the application of thermodynamics.

Eclogites have been involved in several geodynamic theories. Around 1900, kimberlite studies favoured the idea that eclogite might be abundant in the interior of the Earth. In 1912, Fermor predicted the existence of a dense eclogite-bearing zone in the mantle. This " eclogite layer " hypothesis was still envisaged as late as 1970. The alternative " peridotite " hypothesis became preferred when experimental investigations demonstrated that the gabbro-to-eclogite transition could not coincide with a sharp Mohorovi?i? discontinuity. Before plate tectonics, high-pressure belts were interpreted as remnants of ophiolite-bearing geosynclines, metamorphosed by loading during thrust faulting. After the acceptance of plate tectonics, around 1970, the same high-pressure Alpine-type belts came to be considered as former oceanic crust, transformed into eclogite within subduction zones, and subsequently incorporated into mountain belts. Surprisingly, formation of eclogite in " subsidence " zones (i.e. subduction zones) had already been envisaged as early as 1931 by Holmes, the inventor of a convection-current theory. In the 1980s, many authors tried to apply the model of Alpine-type high-pressure belts to eclogites enclosed within the gneisses of ancient orogens, but the question remains obscure nowadays. Some of these eclogite-facies rocks have been a matter of considerable interest during the last two decades, after the discovery, of coesite and diamond in them. Currently, the debate is focused on the geodynamic mechanisms responsible for the exhumation of such ultra-deep crustal rocks.

Key-words : history - petrology - metamorphism - geodynamics - XIXth century -

XXth century.

Introduction

Lorsqu'en 1822, René-Just Haüy créa le nom " *éclogite* ", signifiant *roche de choix*, il était fasciné par la beauté de la roche et l'originalité de son assemblage minéralogique. Il n'imaginait certes pas que cette roche allait se révéler une roche de choix à plus d'un titre. Pendant deux siècles, les éclogites contribuèrent en effet à la naissance d'importants concepts de la pétrologie endogène et furent impliquées dans de nombreuses hypothèses géodynamiques. Nous présentons ici une revue de l'histoire des éclogites, avec l'évolution des connaissances pétrologiques sur ces roches (découverte, origine métamorphique, formation à haute pression), puis un aperçu de leur interprétation géodynamique (hypothèse d'une couche éclogitique, subduction de croûte océanique, exhumation des roches d'ultra-haute pression). Un article plus détaillé ayant déjà été publié en langue anglaise sur ce sujet (Godard, 2001), nous incitons le lecteur à s'y reporter s'il désire consulter une bibliographie plus étendue sur la question.

Histoire d'une roche de choix

Découverte

C'est à René-Just Haüy que l'on doit la création du mot " éclogite " à partir du grec *e??o??* signifiant choix, élection. Dans la seconde édition de son *Traité de minéralogie* (1822), il en donne la définition suivante : " Dans la première [de trois roches primitives], la diallage [ou clinopyroxène] est considérée comme faisant fonction de base, et forme avec le grenat une combinaison binaire à laquelle sont censés s'unir accidentellement le disthène, le quarz, l'épidote et l'amphibole laminaire. J'ai donné à cette roche le nom d'éclogite, qui signifie choix, élection parce que ces composans, n'étant pas de ceux qui existent communément plusieurs ensemble dans les roches primitives, comme le feldspath, le mica, l'amphibole, semblent s'être choisis pour faire bande à part. Cette roche se trouve en Carinthie, dans le Sau-Alpe, et en Styrie ". La collection de roches d'Haüy, qui est conservée à Paris, à la Galerie de minéralogie du Muséum national d'histoire naturelle, comporte encore 7 échantillons étiquetés " éclogite ", qui proviennent du " Pays de Bayreuth " (Bavière).

Généralement, les pétrologues affirment qu'Haüy fut le premier à découvrir les éclogites, mais cette assertion est injuste, car d'autres avaient observé ces roches avant qu'il ne crée le nom. Dès le Néolithique, les hommes ont apprécié cette roche pour sa dureté et sa densité, l'utilisant pour façonner des outils. D'un point de vue scientifique, c'est à Horace-Bénédict de Saussure que nous devons la première description d'éclogites. Dans son *Voyage dans les Alpes* (1779-1796), il fait état d'une nouvelle roche qu'il avait trouvé en galets dans la vallée du Rhône, près de Genève. Cette roche était dense, dure, constituée de grenats dans une matrice verte, faite de " jade " (pyroxène ?) et de " schorl " (amphibole ?). En 1767 et 1774, il observa cette roche à l'affleurement, au Brévent près de Chamonix, et à Montjovet dans le Val d'Aoste. La première occurrence est sans aucun doute liée au célèbre gisement du lac Cornu, distant de 2 km. La roche de Montjovet l'impressionna beaucoup : " Cette roche paroît au soleil de la plus grande beauté ". La collection de Saussure, qui est conservée au Muséum d'histoire naturelle de Genève (Lanterno, 1976), comporte une douzaine d'échantillons d'éclogite, de micaschistes éclogitiques et de glaucophanite provenant de divers endroits des Alpes (cf. Godard, 2001, Appendice 2). Déodat Gratet de Dolomieu (1794) mentionna aussi l'existence de roches à " schorl " et grenat dans les " montagnes primitives ", et il avança les raisons qui, selon lui, firent cristalliser ces deux minéraux ensemble. Enfin, le grand géognoste allemand Abraham Gottlob Werner connaissait aussi quelques éclogites des Alpes autrichiennes et d'Allemagne méridionale, notamment le gisement bien connu de Silberbach. Il les décrivit comme constituées de grenat, " omphazit " et, occasionnellement, " cyanit " (Werner, 1817).

Le nom éclogite s'avéra utile, puisqu'il fut très vite employé par les géologues européens pour désigner des roches d'Allemagne, d'Autriche, des Alpes et de Norvège. En France, on doit la première étude d'éclogite à Auguste Rivière [1805-1877] (cf. Godard, 1984). Alors professeur d'histoire naturelle à Bourbon-Vendée -aujourd'hui La Roche-sur-Yon -, il entreprit de dresser la carte géologique du département de la Vendée sur fond de Cassini. Cette carte, qui ne fut jamais publiée, est aujourd'hui perdue, mais l'on sait qu'à cette occasion Rivière découvrit dans la région de Rocheservière " la belle roche qui porte le nom d'éclogite " (Rivière, 1835). Il en fit une plus ample description en 1844, et l'attribua au groupe des " roches dioritiques " (i.e. amphibolites, pyroxénites...). Selon une conception de l'époque, Rivière considérait chaque groupe de roches ignées (" porphyres ", granites, " roches dioritiques " ou basaltes) comme appartenant à une période géologique particulière. Ainsi, attribuait-il le redressement des couches du Sillon houiller de Vendée " à la catastrophe qui a fait sortir les roches dioritiques des entrailles du globe [...et qui fut] la cause de l'absence de ces terrains compris entre le terrain houiller et le Lias " (Rivière, 1844 ; cf. Godard, 1984). Une étude plus attentive aurait permis à Rivière d'observer que le conglomérat carbonifère comporte par endroits des galets d'éclogite et d'amphibolite. François-René-André Dubuisson (1830) connaissait aussi des

éclogites en Loire-Inférieure (Loire-Atlantique), mais il n'avait pas fait le rapprochement avec l'éclogite d'Haüy. Il les décrivit sous les noms d'eurites grenatifères et d'eurites pyroxéniques. Les éclogites du Massif central furent découvertes plus tardivement (Aveyron : Boisse, 1870 ; Limousin : Barret, 1892 ; Marche : Yang Kieh, 1932). Quant aux éclogites des Alpes franco-italiennes, c'est à Necker (1828, Lac Cornu) puis surtout à Fournet (1841) et Joukowsky (1902) que l'on doit les premières descriptions de ces roches sous leur nom. Un examen attentif des descriptions de Fournet montre toutefois que ce dernier avait réétudié les gisements décrits par de Saussure.

Les premières études d'éclogites, dont on doit se souvenir qu'elles furent entreprises sans microscope polarisant, étaient très confuses. Alors que le grenat était reconnu sans difficulté, la matrice pyroxénique était décrite comme " diallage ", " omphazit ", " körniger Strahlstein ", " schorl ", ou encore " smaragdite ". Le nom smaragdite, créé par de Saussure, servait à désigner des silicates verts de nature imprécise. L'omphacite, un autre minéral vert, avait été nommé par Werner (in Hoffmann & Breithaupt, 1815), à partir du grec *oμfa?* signifiant " raisin vert ", pour désigner la matrice vert clair des éclogites. Haüy (1822) considérait l'omphacite de Werner comme une variété verte de sa " diallage ", c'est-à-dire de notre clinopyroxène. Parce que le clinopyroxène des éclogites possède généralement une belle couleur vert émeraude, le nom omphacite fut finalement adopté, alors que celui de smaragdite devint synonyme d'amphibole verte - autre minéral commun des éclogites -, avant de disparaître tout à fait.

Premières études pétrologiques

L'utilisation du microscope polarisant, à partir du milieu du XIXe siècle (cf. Hamilton, 1992), conduisit à de grands progrès dans la connaissance de ces roches. Dans les années 1880-1920, d'importantes monographies furent consacrées aux éclogites de Bavière, d'Autriche, de France, de Californie et de Norvège. En France, les éclogites furent d'abord étudiées par Alfred Lacroix (1891). Celui-ci en confia ensuite l'étude à l'un de ses étudiants, Marcel Brongniart, qui n'y consacra qu'un résumé (Brongniart, 1908) avant d'abandonner ses études pour devenir prêtre. Lacroix proposa alors à Yvonne Brière de reprendre le travail, lui demandant si elle était bien sûre de ne pas vouloir entrer au couvent (Y. Brière, comm. pers.). Brière soutint une thèse intitulée " Les éclogites françaises ; leur composition minéralogique et chimique ; leur origine ", qui fut longtemps un ouvrage de référence sur le sujet (Brière, 1920).

Qu'il me soit permis ici de relater quelques souvenirs à propos d'Yvonne Brière, l'une des toutes premières femmes géologues en France. Alors que j'avais entrepris de préparer une thèse sur les éclogites armoricaines, j'eus la chance de rencontrer en 1981 cette vieille dame, âgée de plus de 90 ans. Elle vivait chez des petits-neveux, dans un pavillon de la banlieue nord de Paris. Affaiblie physiquement, elle me relata néanmoins avec beaucoup de vivacité ses souvenirs sur le laboratoire de minéralogie du Muséum, dirigé par Alfred Lacroix. Elle pouvait puiser dans les riches collections du Muséum des échantillons d'éclogite qui provenaient de France métropolitaine, mais aussi des colonies (Madagascar, Nouvelle-Calédonie). Son étude était surtout consacrée aux éclogites du Massif armoricain méridional (Loire-Atlantique et Vendée) et du Bas-Limousin (région d'Uzerche). Elle me relata comment elle explorait en voiture à cheval les gisements de la région nantaise, de Bouvron (Loire-Atlantique) à Saint-Denis-la-Chevasse (Vendée), accompagnée de Louis Bureau, conservateur du Muséum de Nantes. Comme pour tester mes connaissances, elle me questionna sur un bel échantillon d'éclogite qu'elle avait conservé sur sa cheminée. Je reconnus la belle roche à disthène et grenats pluri-centimétriques de La Compointrie en Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, décrite par Charles Baret en 1900. Elle évoqua sa soutenance de thèse, qui eut lieu en décembre 1919 à la Sorbonne, sous la présidence de Frédéric Wallerant, car, à l'époque, le Muséum n'était pas habilité à délivrer des diplômes universitaires. Après ses études, elle séjourna à Madagascar pendant une dizaine d'années, puis revint en France vers 1930. Ce fut la fin de sa carrière scientifique, car elle ne fut pas réintégrée au Muséum. En évoquant ce pénible souvenir, elle se mit à pleurer. Gêné et un peu bouleversé, je n'osai pas la questionner davantage.

Au début du XXe siècle, plusieurs monographies furent consacrées aux éclogites (e.g. Hezner, 1903 ; Brière, 1920 ; Eskola, 1921). Ces travaux donnent des descriptions pétrographiques précises de ces roches, avec des détails sur deux importantes structures pétrologiques : 1° les couronnes de kélyphite autour du grenat et 2° les symplectites ayant remplacé l'omphacite.

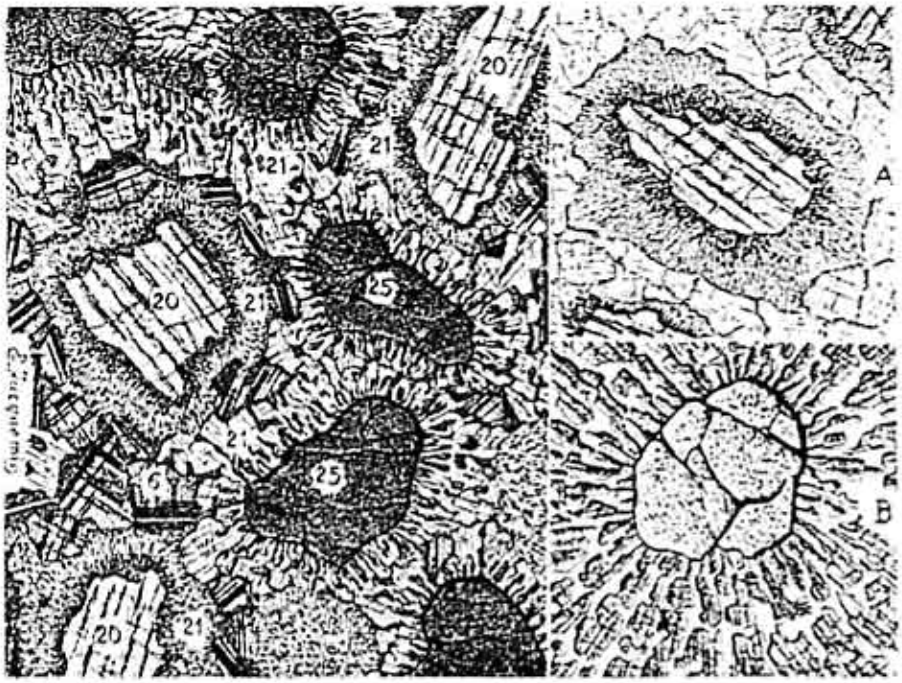

Figure 1. Structures de rétromorphose dans les éclogites, d'après Alfred Lacroix (1891). Les cristaux de grenat (25) sont corrodés par un kélyphite constitué d'amphibole et de plagioclase (voir agrandissement B), et l'omphacite (20) est partiellement remplacée par une fine symplectite (voir agrandissement A).

Le nom " kélyphite " fut forgé par Schrauf en 1882, à partir du grec signifiant coquille, parce qu'il enveloppait le grenat des péridotites à grenat. Le nom fut repris par Hezner (1903) pour désigner les couronnes à amphibole + plagioclase qui résultent de la réaction métamorphique entre le grenat et l'omphacite des éclogites. Fermor (1912) fut le premier à proposer une interprétation élégante à ce phénomène, le considérant comme produit par une réaction entre grenat et omphacite lors de la décompression.

Le remplacement de l'omphacite par une symplectite à augite + albite fut observée par de nombreux auteurs. La raison de cette réaction métamorphique fut d'abord comprise par le pétrologue italien Secondo Franchi [1859-1932] (Franchi, 1902a), puis par le célèbre pétrologue finlandais Pentti Eskola (1921). Ils l'interprétèrent comme le résultat de l'exsolution de la molécule jadéite de l'omphacite, ce qui produit de l'albite :

1 omphacite [Jadéite$_x$ Augite$_{1-x}$] + x quartz -> x albite + (1-x) augite.

La compréhension du phénomène était l'aboutissement d'importants progrès dans la connaissance des clinopyroxènes sodiques et des relations entre la jadéite et les éclogites, qui constituent en eux-mêmes une longue histoire. Le jade est connu depuis le Néolithique, où il fut utilisé pour confectionner des outils et des bijoux (cf. Bishop, 1906). Les Indiens d'Amérique centrale l'appelaient *chalchihuilt*, et les Chinois connaissaient cette roche sous le nom de *Yü*, qu'ils collectaient en divers Yü Shan (" montagnes à jade "). Cette pierre fut ensuite décrite en Europe par l'Espagnol Nicolás Monardes, en 1565, sous le nom de " la piedra dela yjada " (la pierre de la colique [néphrétique]), en raison de ses pouvoirs curatifs supposés. Ce nom fut étrangement traduit par " pierre de jade " par des lapidaires français, comme Etienne de Clave (1635), et devint notre " jade ". Les premiers minéralogistes comme Haussmann (1813), Hoffmann & Breithaupt (1815), Haüy (1822) et, surtout, Alexis Damour (1863, 1865, 1881) distinguaient deux variétés de jade, l'une faite d'amphibole calcique (" néphrite "), et l'autre d'un nouveau silicate sodique et alumineux que Damour nomma " jadéite ". De prime abord, Damour pensait que sa jadéite était une " wernérite " (scapolite), en raison de sa composition chimique, mais plusieurs chercheurs (e.g. Krenner, 1883 ; Arzuni, 1883) montrèrent, d'après les propriétés optiques et physiques du minéral, qu'il s'agissait en réalité d'un clinopyroxène sodique et alumineux. Damour fut le premier à suspecter une relation entre la jadéite et les éclogites, lorsqu'il montra en 1881 que la " substance verte " (l'omphacite) d'une éclogite de Fay-de-Bretagne, en Loire-Atlantique, avait une composition proche de la jadéite. Finalement, plusieurs auteurs établirent que l'omphacite des éclogites était une solution solide entre l'augite et la jadéite, avec un peu d'ægyrine. Secondo Franchi (1900) montra aussi que les roches à jadéite des Alpes sont habituellement associées à des éclogites, et il fut apparemment le premier à décrire la fameuse réaction
jadéite + quartz -> albite (Franchi, 1902a).
Il interpréta, avant Eskola (1921), la déstabilisation de l'omphacite des éclogites comme résultant de l'exsolution du composant jadéite.

Origine métamorphique contre origine magmatique

Alors que la connaissance sur les éclogites progressait, le problème de leur origine demeurait énigmatique. Le débat se concentra sur une question : Les éclogites sont-elles des roches métamorphiques ou magmatiques ?

Autour de 1820, Ami Boué, le co-fondateur de la Société géologique de France, avait développé le concept du métamorphisme comme une conséquence de la théorie magmatique de Hutton (e.g. Boué, 1820, 1824). Bien que Boué ait utilisé le mot métamorphose, c'est à Lyell (1830-1833) que l'on doit le terme de métamorphisme (du grec [changement] et [forme]). Au cours du XIXe siècle, le concept fut appliqué aux seules roches sédimentaires. La température et l'action des fluides étaient considérées comme les seuls paramètres responsables des transformations minérales, la " pression " (en fait, la contrainte) étant supposée ne produire que des modifications de structure comme le développement de la schistosité (e.g. Daubrée, 1859 ; Delesse, 1857-1861 ; Hunt, 1884 ; Williams, 1890 ; Zittel, 1899).

Quelques auteurs commencèrent à considérer les éclogites comme des roches métamorphiques (cf. Perrier, 1924), faisant valoir qu'elles étaient foliées, comme toute autre roche métamorphique, en particulier comme les gneiss dans lesquels on les trouve habituellement, et dont l'origine métamorphique était admise. D'autres auteurs, toutefois, pensaient qu'il s'agissait de roches magmatiques. Cela fut à l'origine d'une longue controverse qui eut tendance à dégénérer en une querelle chauvine entre les Austro-Allemands, qui soutenaient l'origine métamorphique, et les Scandinaves, qui préféraient l'origine magmatique. Parmi les partisans de cette dernière, figure le grand pétrologue finnois Pentti Eskola (1921), qui considérait les éclogites de Norvège comme ayant cristallisé à partir d'un " magma éclogitique ", dans des conditions de haute pression. Il en attribua la foliation à une " contrainte lors de la consolidation ".

Les premières analyses chimiques d'éclogites, dans les années 1870, révélèrent que ces roches avaient la composition chimique de roches gabbroïques, alors que leur constitution minéralogique en était fort éloignée. Cette constatation ne permit pas de lever le doute sur l'origine, car elle était compatible avec les deux hypothèses : les éclogites pouvaient être aussi bien des roches magmatiques de composition gabbroïque que des gabbros métamorphisés. Cette dernière idée était très novatrice, cependant, car le concept de métamorphisme n'avait été appliqué jusqu'alors qu'à des roches sédimentaires.

L'étude des roches à glaucophane, fréquemment associées aux éclogites, aida à élucider la question. Des transitions graduelles furent observées entre des gabbros ou basaltes non métamorphisés, des métabasites à glaucophane, puis des éclogites à glaucophane (e.g. Bonney, 1879 ; Lacroix, 1941), dont certaines avaient même préservé les structures originelles des laves en coussin (e.g. Bearth, 1959). Cela était un argument majeur en faveur de l'origine métamorphique, qui s'imposa peu à peu.

Cependant, l'hypothèse métamorphique ne fut pas aisément admise. Yvonne Brière (1920) montra dans sa thèse que les éclogites françaises résultaient d'un métamorphisme de roches gabbroïques, non seulement parce que leur composition était celle de gabbros, mais aussi parce qu'elles suivaient des variations typiques d'une série gabbroïque. Elle me raconta que les membres de son jury de thèse lui reprochèrent vivement cette hypothèse. Quand je lui appris, 60 ans plus tard, que cette origine était désormais largement admise, elle s'en montra ravie.

Finalement, un consensus émergea. Les éclogites étaient considérées comme le résultat du métamorphisme de roches gabbroïques ou basaltiques, pour trois raisons principales : (a) les progrès en géochimie montrèrent que les éclogites avaient tous les caractères chimiques de gabbros, aussi bien du point de vue des terres rares, des oligo-éléments que des éléments majeurs ; (b) la structure du gabbro pré-éclogitique était dans quelques cas encore reconnaissable ; (c) la transition gabbro-éclogite fut confirmée expérimentalement (e.g. Ringwood & Green, 1966). Cependant, on admet encore que certaines éclogites du manteau (griquaïte, grospydite) pourraient se former à partir d'un magma dans des conditions de très haute pression.

Concept de métamorphisme de haute pression de " faciès éclogite "

Quand la parenté entre éclogite et gabbro fut mise en évidence, vers 1900, on s'interrogea sur les raisons de l'existence d'une si grande différence de minéralogie entre les deux roches, alors que leur composition chimique est similaire. La pression s'avéra être une réponse séduisante à cette question. La thermodynamique prévoyait clairement qu'une augmentation de pression devait conduire à la formation d'assemblages minéraux de plus forte densité. Lepsius (1893) avait été le premier à appliquer aux roches cette idée, généralement connue sous le nom de " loi des volumes ". Le pétrologue austro-hongrois Friedrich Becke (1903), le découvreur du fameux " liséré de Becke " en microscopie, l'appliqua aux éclogites. Il observa que les volumes molaires des paragenèses éclogitiques étaient systématiquement plus faibles que ceux des assemblages gabbroïques de même composition. Il en conclut que les éclogites étaient l'équivalent de haute pression des gabbros. Cette idée, l'une des plus ingénieuses de toute l'histoire de la pétrologie, fut vite reprise par divers chercheurs (Grubenmann, Fermor, Eskola). Sa confirmation expérimentale ne viendra que 63 années plus tard.

À la même époque, apparaissait la notion de faciès minéral. Barrow (1893) introduisit le concept de métamorphisme régional progressif, et définit des minéraux marqueurs de la profondeur du métamorphisme. Van Hise (1898) proposa quatre zones de métamorphisme selon la profondeur, tandis que Grubenmann (1904-1907) en distinguait trois (épizone, mésozone et catazone). L'introduction de la pression comme variable intensive indépendante de la température conduisit à un perfectionnement du concept par Pentti Eskola (1915, 1920, 1929, 1939), avec la participation de Goldschmidt (cf. Touret et Nijland, 2001). Selon Eskola, les roches d'un même faciès minéral se forment dans des conditions de température et pression similaires. Sous ces conditions, l'assemblage minéralogique ne dépend que de la composition chimique globale de la roche, et non du mode de cristallisation, qu'il soit magmatique, métamorphique, ou même hydrothermal. Parmi une dizaine de faciès, Eskola définit un " faciès éclogite ", correspondant à des conditions de formation à très haute pression et haute température.

Gabbro Olivin, Augit, Basischer Plagioklas			Eklogit Omphacit, Granat, Quarz	
Augit		=	Granat	
$Ca\ Mg\ Si_2\ O_6$	68		$R_3\ Al_2\ Si_3\ O_{12}$	121
$Mg\ Al_2\ Si\ O_6$	68			
	136			
Augit + Anorthit		=	Granat + Quarz	
$Ca\ Mg\ Si_2\ O_6$	68		$R_3\ Al_2\ Si_3\ O_{12}$	123
$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$	101.1		$Si\ O_2$	22.8
	169.1			145.8
Olivin + Anorthit		=	Granat	
$Mg_2\ Si\ O_4$	43.9		$R_3\ Al_2\ Si_3\ O_{12}$	121
$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$	101.1			
	145.0			
Albit des Plagioklases		=	Na-Al-Silikat des Omphacit [Jd] + Quarz	
$Na\ Al\ Si_3\ O_8$	100.3		$Na\ Al\ Si_2\ O_6$	64.6
			$Si\ O_2$	22.8
				87.6
Nephelin + Albit		=	Glaukophan	
$Na\ Al\ Si_3\ O_8$	100.3		$Na_2\ Al_2\ Si_4\ O_{12}$	137
$Na\ Al\ Si\ O_4$	59			
	156.3			
		=	Jadeit	
			$2\ (Na\ Al\ Si_2\ O_6)$	122.8

Figure 2. La loi des volumes appliquée aux éclogites par F. Becke (1903). Le tableau montre que les volumes molaires des assemblages éclogitiques sont systématiquement plus faibles que ceux des assemblages gabbroïques de même composition. Becke en déduisit que les éclogites étaient l'équivalent de haute pression des gabbros (N.B. : R=[Mg+Ca] ; les volumes molaires sont exprimés en cm3.mol-1 ; on notera que la formule chimique du glaucophane donnée par Becke est erronée).

Pour que l'existence du faciès éclogite d'Eskola fût plausible, il était nécessaire que ce faciès comportât des roches autres que les éclogites, de composition basique. Les péridotites à grenat ont toujours été considérées comme des

ultrabasites de faciès éclogite. En revanche, les roches de faciès éclogite de composition pélitique ou granitique sont extrêmement rares. Stella (1894) fut le premier à décrire, dans les Alpes, des " micascisti eclogitici " constitués de micas blancs, quartz, grenat, jadéite et rutile, sans feldspath, qui furent ensuite étudiés par Secondo Franchi (1900, 1902b). On admet aujourd'hui que les traces de métamorphisme éclogitique dans les roches de composition acide sont exceptionnellement conservées. La difficulté à reconnaître ce genre de roches encouragea quelques chercheurs à nier l'existence d'un faciès éclogite. Certains admettaient qu'une forte contrainte pouvait expliquer la formation d'assemblages denses, et que les éclogites pouvaient être produites par un important dynamométamorphisme plutôt que par de fortes pressions hydrostatiques. Vers 1960, le nouveau concept de pression d'eau (PH2O) conduisit aussi quelques auteurs à minimiser le rôle de la pression dans la formation des éclogites. Selon eux, les éclogites, roches presque totalement anhydres, étaient produites par un métamorphisme anhydre de gabbros ou basaltes, sous des pressions et températures modérées, tandis qu'un métamorphisme hydraté donnait, dans les mêmes conditions, des amphibolites.

Dans le même temps, les progrès de la cristallographie permettaient de comprendre la particularité fondamentale des éclogites. Le comportement de certains cations, en particulier Al^{3+}, expliquait bien la forte densité des paragenèses éclogitiques. On montra qu'en raison de leur taille relativement importante, les ions Al ne sont pas stables à haute pression dans les sites tétraédriques des silicates, ceux-ci étant compressés avec l'accroissement de la pression (Fairbairn, 1943 ; Thompson, 1947 ; Smith, 1982). En conséquence, une forte pression, et, à un moindre degré, une faible température, favorisent la présence de l'aluminium hors des sites tétraédriques (Al^{VI}), ce qui est le cas des minéraux éclogitiques, alors que de faibles pressions permettent au contraire la présence d'aluminium dans ces mêmes sites (Al^{IV}). Ainsi, la réaction bien connue albite -> jadéite + quartz peut simplement s'écrire Al^{IV} -> Al^{VI}. À des pressions encore plus extrêmes, Si est à son tour expulsé des sites tétraédriques, donnant naissance à des minéraux d'ultra-haute pression comme les grenats majoritiques et la stishovite.

La confirmation expérimentale de la formation à haute pression des éclogites, et donc de leur origine profonde, vint dans les années 1950 et 1960, avec le développement de la pétrologie expérimentale. Les principaux stades en furent les suivants : synthèse du diamant (Bundy et al., 1955) ; étude de la transition coesite-quartz (Coes, 1953) ; détermination de la stabilité des silicates d'alumine (Khitarov et al., 1963 ; Bell, 1963) ; investigation sur la transformation du gabbro en éclogite (Ringwood et Green, 1966 ; Green et Ringwood, 1967, 1972 ; cf. Green, 1998) ; étude de la réaction albite -> jadéite + quartz (cf. Yoder, 1950 ; Newton et Smith, 1967). Par ailleurs, l'application de la thermodynamique des équilibres aux roches, à partir des années 1960, a entraîné l'utilisation de géothermobaromètres qui ont permis de déterminer les évolutions en pression et température de nombreuses éclogites. Ces calculs ont livré des pressions généralement supérieures à 13 kbar, au-delà des valeurs initialement admises. Finalement, dans les deux dernières décennies, la découverte de roches crustales à coesite (e.g. Chopin, 1984 ; Smith, 1984), a propulsé les pressions maximales pour le faciès éclogite à plus de 40 kbar, correspondant à des profondeurs de formation de plus de 100 km.

Interprétations géodynamiques

Alors que les connaissances sur les éclogites progressaient, plusieurs hypothèses, souvent confuses et sujettes à controverses, étaient avancées pour rendre compte de la formation de ces roches. Nous présentons ici quelques-unes de ces hypothèses et controverses, dont la pluralité est liée à la diversité même de ces roches. Plusieurs classifications ont été proposées pour les éclogites, les plus connues étant celles de Smulikowski (1964) et de Coleman et al. (1965), au demeurant très proches. Ces auteurs ont distingué trois groupes d'éclogites, bien différents du point de vue géodynamique et qui ont donné lieu à des hypothèses spécifiques :

(a) - Les éclogites mantelliques (groupe I de Smulikowski et groupe A de Coleman et al.) sont associées à des roches ultrabasiques, au sein des massifs péridotitiques ou comme xénolithes dans les diatrèmes kimberlitiques. Elles furent à l'origine de la controverse sur l'existence d'une " couche éclogitique " dans le manteau supérieur.

(b) - Les éclogites d'ophiolites métamorphisées (groupe II de Smulikowski et groupe C de Coleman et al.) sont associées à des glaucophanites, avec lesquelles elles forment des ceintures de haute pression dans les chaînes de montagnes. Depuis la révolution de la tectonique des plaques, elles sont généralement considérées comme les reliques d'anciennes zones de subduction.

(c) - Enfin, les éclogites associées à des roches gneissiques (groupe III de Smulikowski et groupe B de Coleman et al.) furent à l'origine de la controverse " origine in situ contre origine étrangère ". Certaines d'entre elles sont aussi impliquées dans l'énigme du métamorphisme d'ultra-haute pression.

Les éclogites mantelliques et la " couche éclogitique "

L'histoire des éclogites mantelliques est étroitement liée à celle des kimberlites (cf. Moulle, 1885 ; Boutan, 1886 ;

Julien, 1909 ; Bardet, 1973-1977 ; Meyer, 1979). Après la découverte des diatrèmes kimberlitiques, à la fin du XIXe siècle, il fut admis que les éclogites pouvaient être la roche-mère du diamant. Leur étude favorisa l'idée selon laquelle ces éclogites pouvaient être abondantes à l'intérieur de la Terre. Par ailleurs, L. L. Fermor (1912, 1913, 1914) utilisa la loi des volumes pour prédire l'existence d'une " zone infra-plutonique " éclogitique dense, reposant sous la " zone plutonique " (c'est-à-dire notre " croûte "), et s'étendant " as far as the presumed metallic core of the earth " (cf. Godard, 2001, Appendice 3). Selon lui, le changement de densité entre les deux zones, dû à la transition gabbro-éclogite, pouvait s'accorder avec le principe d'isostasie et être la source des magmas basaltiques. L'hypothèse de Fermor fut à l'origine de la théorie de la " couche éclogitique ", qui, à première vue, était confirmée par l'existence de xénolithes d'éclogite dans les kimberlites et par la célèbre discontinuité découverte en 1910 par le sismologue croate Andrija Mohorovi?i? (1910 ; cf. Grau, 1977). Eskola accepta et développa cette théorie, lors de son séjour à Oslo avec son ami Goldschmidt. En 1922, sur la base de données sismiques, ce dernier postula l'existence dans le manteau d'une couche éclogitique de densité 3,7±0,3 entre 120 et 1200 km de profondeur.

L'existence d'une couche éclogitique dans le manteau était très généralement admise entre les deux guerres mondiales. Elle fut envisagée jusque dans les années 1970, quoique rejetée par de nombreux auteurs qui préféraient alors l'hypothèse d'une couche péridotitique. Les partisans de la couche éclogitique considéraient que la discontinuité de Mohorovi?i? résultait d'une transition de phase (les basaltes ou gabbros donnant des éclogites), tandis que leurs contradicteurs envisageaient une discontinuité chimique (croûte basaltique ou sialique passant à un manteau péridotitique).

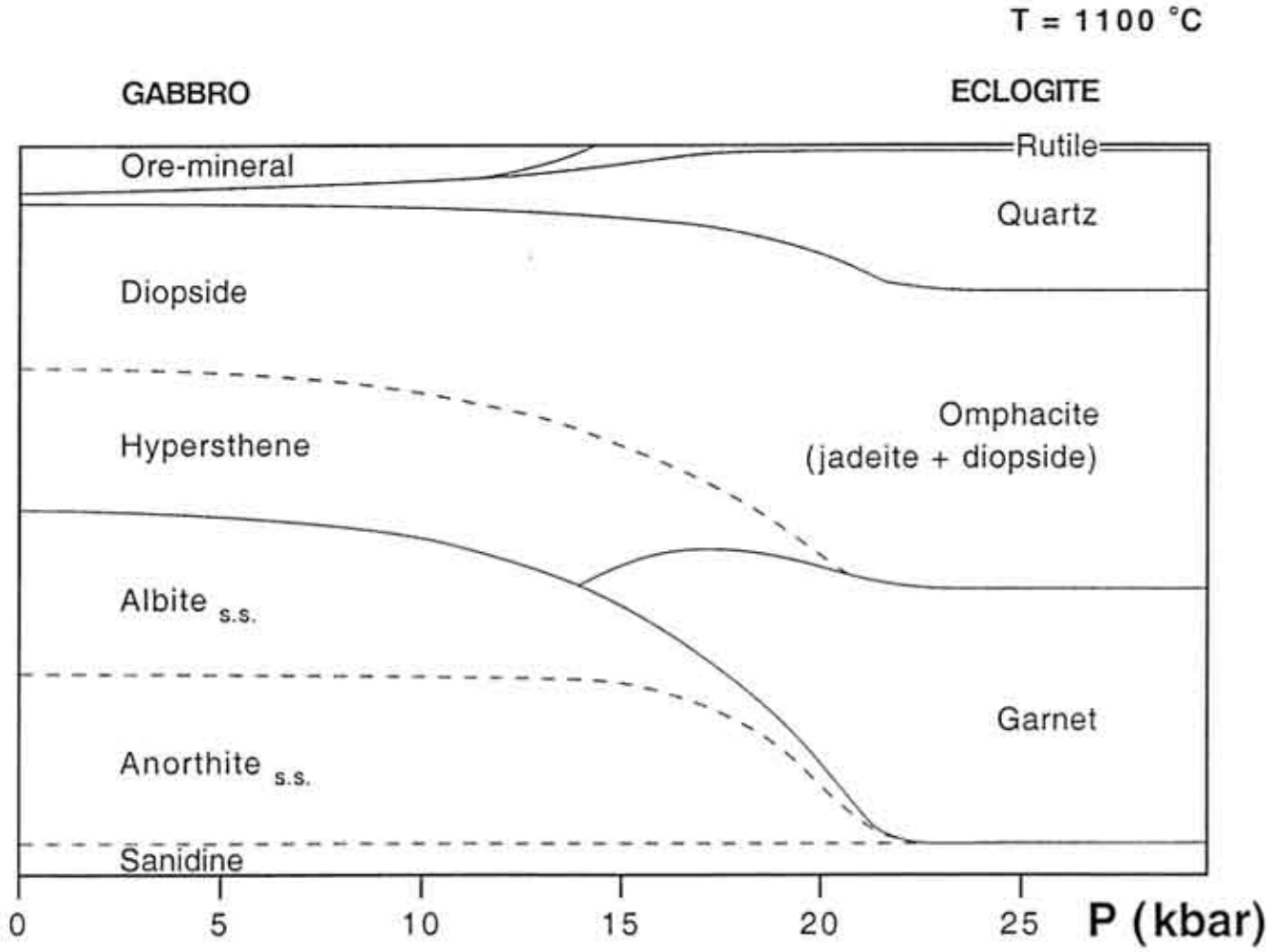

Figure 3. Résultat des premiers travaux expérimentaux sur la transition gabbro-éclogite, par Green et Ringwood (1977).

L'hypothèse éclogitique fut abandonnée après les premières investigations expérimentales sur la transition gabbro-éclogite par Green et Ringwood, qui montrèrent (1) que la transition était progressive, contrairement à la discontinuité de Mohorovicic, et (2) qu'elle devait être trop profonde pour coïncider avec la position du " Moho " sous les océans. L'hypothèse alternative était celle d'un manteau supérieur péridotitique " fertile " capable de produire du basalte par fusion partielle. L'hypothèse péridotitique fut définitivement admise, vers 1971, lorsque les massifs de péridotite

associés aux ophiolites furent identifiés comme étant des fragments de manteau supérieur.

Bien entendu, les xénolithes d'éclogite présents dans les kimberlites attestent de l'existence de cette roche dans le manteau, fût-ce comme composant mineur. L'origine de ces éclogites mantelliques est encore sujette à débat. Pour les uns, il s'agit de recyclage dans le manteau de croûte océanique subductée, tandis que d'autres admettent une cristallisation à partir de magmas basaltiques.

Les éclogites ophiolitiques, témoins de la subduction

Vers 1970, le débat sur les éclogites abandonna la " couche éclogitique " pour investir les " zones de subduction ", où, selon la nouvelle théorie de la tectonique des plaques, la lithosphère océanique était subductée. En quelques années, il y eut un renouvellement complet des hypothèses sur l'origine des ceintures métamorphiques de haute pression à glaucophanite et éclogite.

C'est aussi à de Saussure que nous devons la première description d'une glaucophanite. Le 20 août 1792, il visita le fameux gisement de Saint-Marcel, dans la Vallée d'Aoste, et y observa une roche composée de " schorl bleuâtre " et grenat. Bien plus tard, des schistes bleus furent aussi décrits en Grèce par Hausmann (1845) qui créa le nom glaucophane, du grec (bleuâtre, glauque) et (apparaître). D'autres roches à glaucophane furent découvertes dans les Alpes, en Nouvelle-Calédonie (Jannettaz, 1867 ; Lacroix, 1941), au Japon, en Indonésie, en Californie et au Venezuela. Le célèbre gisement de glaucophane de l'île de Groix, en Bretagne, fut identifié par A. von Lasaulx (1883, 1884) grâce à des échantillons envoyés en Allemagne par le comte de Limur, avant d'être étudié par Charles Barrois (1883). Généralement, les glaucophanites étaient associées à des ultrabasites et des éclogites à glaucophane. De plus, des transitions avec des métagabbros ou des métabasaltes étaient observées (cf. Lacroix, 1941). De ce fait, les schistes bleus apparaissaient clairement comme des " ophiolites " métamorphisées.

Ce concept d'ophiolite résultait lui-même d'une longue et confuse évolution. Le nom avait été créé en 1827 par Alexandre Brongniart pour décrire des serpentinites. Il provient du grec signifiant " serpent ", en référence à la structure ocellaire " en peau de serpent " produite par les pseudomorphes de l'olivine par la serpentine. Cependant, le terme faisait double emploi avec celui de " serpentinite ", dont l'étymologie (du latin serpens) est au demeurant similaire. Steinmann (1927) modifia singulièrement la signification du mot, en lui faisant désigner une association de roches faite de péridotites serpentinisées, gabbros et dolérites (cf. Green, 1971 ; Coleman, 1977a). Cette " trinité de Steinmann ", typique des ceintures vertes des orogènes de type alpin, fut particulièrement étudiée par J. H. Brunn (1960, 1961), qui en attribua l'origine à l'intrusion et l'épanchement de roches magmatiques sur le fond d'un géosynclinal. Ce dernier concept de géosynclinal avait été lui-même créé par James Hall (1859), formalisé par Dana (1873), puis développé par Emile Haug (1900). Le géosynclinal préfigurait l'océan de la théorie de la tectonique des plaques. C'était un bassin marin profond, dans lequel s'était déposée une grande épaisseur de sédiments impliqués dans une orogénie. En tant que zone de faiblesse de la croûte, il était considéré comme un lieu de tectogenèse privilégié où débutait la formation des chaînes de montagnes (cf. Knopf, 1948 ; Aubouin, 1965 ; Schneer, 1997).

Schürmann (1951-1956) montra que les schistes bleus et les éclogites associées étaient localisés dans des ceintures de haute pression, qu'il interpréta comme des témoins d'ophiolites formées dans des géosynclinaux et ultérieurement impliquées dans des orogènes. Le métamorphisme de haute pression était généralement attribué à la surcharge résultant de l'enfouissement lié à une tectonique en nappes. Miyashiro (1961) observa l'existence, dans la région circum-pacifique, de ceintures de basse pression, disposées parallèlement à ces ceintures ophiolitiques de haute pression. Il pensait que de telles paires de ceintures métamorphiques pouvaient correspondre à la bordure et au centre des géosynclinaux.

Quoique la théorie des géosynclinaux préfigurât d'une certaine manière la théorie moderne de la tectonique des plaques, l'irruption de cette dernière modifia radicalement l'interprétation des ophiolites et des schistes bleus. Gass (1968) proposa que les ophiolites étaient des fragments de plancher océanique. Peu de temps après, Moores et Vine (1971) les considérèrent comme représentant une ancienne croûte océanique. De plus, la théorie de l'expansion des fonds océaniques, conçue dans les années 1960, avait comme corollaire indispensable la disparition de la lithosphère océanique par subduction. Le mot " subduction ", de sub (sous) et ducere (tirer), avait été créé dès 1951 par André Amstutz, pour désigner la descente abrupte d'un segment de lithosphère dans le manteau. Après la " Penrose Conference " de décembre 1969, il fut utilisé pour désigner la subduction de lithosphère océanique (White et al., 1970 ; cf. Dickinson, 1970 ; Lanterno, 1982). Ce nouveau concept de la tectonique des plaques était, par ailleurs, en agrément avec les plans de forte sismicité qu'avaient déjà observés Wadati (1935) et Benioff (1954).

On admit, dans les années 1970-1975, que la subduction de croûte océanique devait produire des éclogites. Curieusement, Arthur Holmes, professeur de géologie à l'université de Durham (Angleterre), avait déjà imaginé une hypothèse similaire, dès 1931. Dans un article intitulé Radioactivity and Earth movements, Holmes (1931) invoquait des courants de convection dans le substratum des continents pour expliquer la dérive des continents (cf. Godard, 2001, Appendice 4). En raison d'une radioactivité supérieure, la température devait être, selon lui, plus élevée sous

les continents que sous les océans. En conséquence, des courants de convection devaient monter à l'aplomb des continents, diverger horizontalement en disloquant ceux-ci, avant de replonger sous les océans, dans des zones de " subsidence " où devaient se former des éclogites, sous l'effet d'une " pression orientée ". Les éclogites, étant denses, devaient contribuer par leur poids à entraîner la convection - en réalité, ce dernier point, qui s'apparente au mouvement perpétuel, est d'une conception assez simpliste. Cette hypothèse de formation des éclogites fut alors totalement ignorée. Même les partisans de la théorie d'Alfred Wegener ne comprirent pas les implications des courants de convection d'Holmes sur la théorie de la dérive des continents (cf. Gohau, 1991).

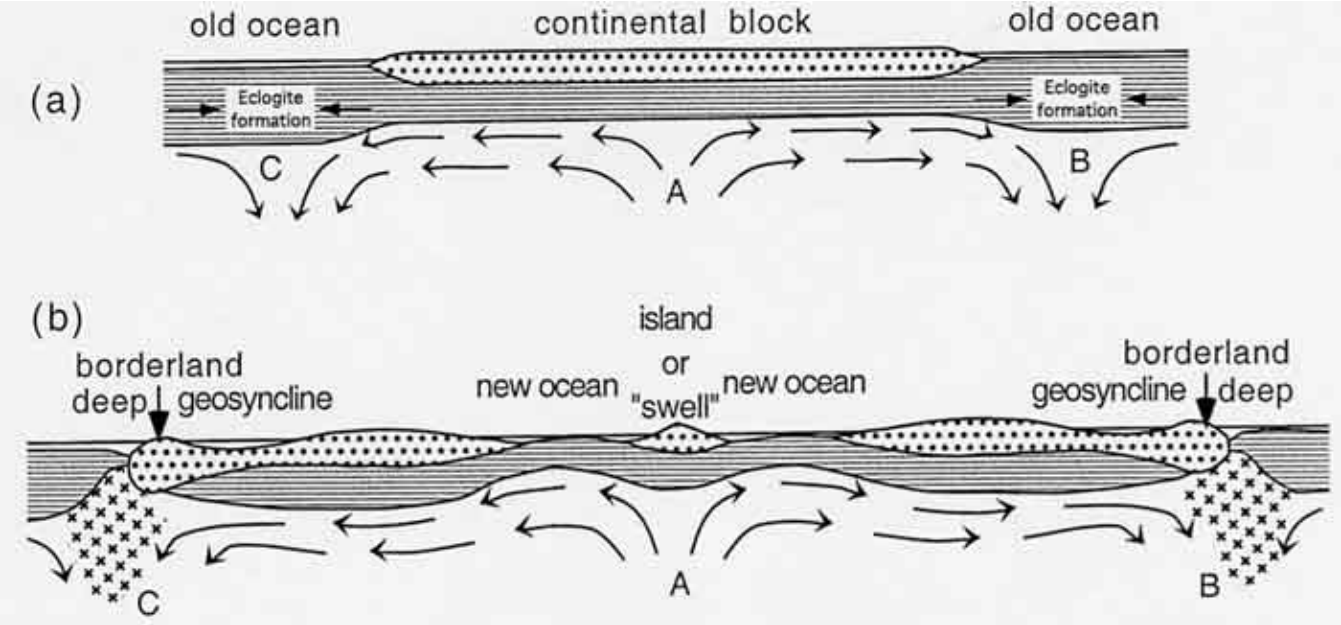

Figure 4. La formation des éclogites dans des zones de " subsidence ", selon Holmes (1931). Les éclogites se formeraient dans les zones de convergence des courants de convection (les croix représentent les blocs d'éclogite s'enfonçant dans le manteau). Cette conception préfigure le concept actuel de zone de subduction.

Dans les années 1970, les ceintures vertes métamorphisées à haute pression devinrent, pour la majorité des chercheurs, de la lithosphère océanique, métamorphisée lors d'une subduction partielle. Les paires de ceintures métamorphiques de Miyashiro (1961) furent réinterprétées, à la lumière des nouveaux modèles de zone de subduction (Oxburgh et Turcotte, 1970), comme le résultat d'une différence de gradient géothermique entre la croûte océanique plongeante " froide " et la bordure " chaude " de l'arc océanique (Miyashiro, 1967, 1972, 1973 ; Ernst et al., 1970). L'évolution rétrograde des terrains de haute pression, caractérisée par une hausse de température et une baisse de pression, c'est-à-dire par un cheminement pression-température " horaire ", fut expliquée par le retour à un gradient ordinaire après arrêt de la subduction (Ernst et al., 1970). Enfin, on tenta de rendre compte de l'accrétion de ces ceintures métamorphiques aux chaînes de montagnes par des mécanismes de collision continentale ou d'" obduction " (e.g. Coleman, 1971, 1977a, 1977b). En une décennie, la tectonique des plaques venait de modifier radicalement notre compréhension des ceintures métamorphiques de haute pression.

Les éclogites incluses dans les gneiss

Le modèle de subduction de croûte océanique ayant été fécond pour l'interprétation des schistes bleus et éclogites des chaînes alpines, on tenta d'appliquer le même modèle aux éclogites incluses dans les gneiss des vieux orogènes. Ainsi, en France, cette hypothèse fut proposée pour les éclogites de Vendée par Montigny et Allègre (1974), sur la foi d'arguments géochimiques. Dans les années 1980, on appliqua, avec bien des abus, les concepts de subduction, collision continentale et obduction aux éclogites boudinées au sein de terrains gneissiques.

Le principal problème concernant ces éclogites était leur relation avec les gneiss encaissants, qui, généralement, ne présentent aucune trace de métamorphisme éclogitique. Cette apparente contradiction engendra une controverse sur le point de savoir si les éclogites s'étaient formées in situ ou hors de leur encaissant gneissique (cf. Smith, 1988 ; Schmädicke, 1994). Quoique cette question ne soit pas totalement résolue, on pense aujourd'hui que les paragenèses de haute pression sont plus facilement préservées dans les éclogites que dans les gneiss, où les effets combinés des fluides, de la déformation ductile et de la cinétique provoquent un ré-équilibrage de la roche lors de l'exhumation.

La question de l'origine de ces éclogites a été compliquée par la découverte du métamorphisme d'ultra-haute pression. Chesnokov et Popov (1965) furent les premiers à décrire des pseudomorphes de coesite, dans des

éclogites d'Oural, mais cette découverte, publiée en russe, passa inaperçue. Vingt ans plus tard, en 1984, Christian Chopin décrivit des inclusions de coesite dans les grenats d'un quartzite des Alpes italiennes. David Smith (1984) fit une découverte similaire dans des éclogites de Norvège. La coesite, un polymorphe du quartz stable à très haute pression, avait déjà été observée dans des éclogites de kimberlite par Smyth et Hatton (1977), mais sa découverte dans des roches crustales modifiait radicalement l'idée des pétrologues sur les limites du métamorphisme crustal. Celui-ci atteignait désormais des pressions de 40 kbar, correspondant à des profondeurs de plus de 100 km. Par la suite, d'autres pétrologues reportèrent la coesite ou ses pseudomorphes en quartz, dans des éclogites ou des roches du faciès éclogite (cf. Schreyer, 1988 ; Coleman et Wang, 1995 ; Chopin et Sobolev, 1995 ; Godard, 2001). Par ailleurs, de nouveaux minéraux de très haute pression furent découverts, parmi lesquels l'ellenbergerite, dédié à François Ellenberger. On découvrit aussi des microinclusions de diamant, ou leurs pseudomorphes en graphite, dans des péridotites (Beni Bousera, Maroc : Pearson et al., 1989) et des gneiss ou des éclogites crustales (Sobolev et Shatzky, 1987 ; Xu et al., 1991 ; Dobrzhinetskaya et al., 1993 ; Nasdala et Massonne, 2000).

Le métamorphisme d'ultra-haute pression a été le sujet de nombreux débats pendant les deux dernières décennies. Aujourd'hui, la question posée n'est pas tant la réalité de ce métamorphisme singulier que les mécanismes géodynamiques qui peuvent expliquer comment des roches d'origine si profondes furent intégrées à la croûte sialique, puis exhumées en surface. Les explications varient, dans la bibliographie géologique, de la surpression (cf. Smith, 1995, pp. 336-341) à la subduction de croûte continentale ultérieurement exhumée par l'érosion et l'amincissement tectonique (cf. Platt, 1993). Des modélisations numériques ont tenté de rendre compte du phénomène, mais le problème est loin d'être résolu, et demeurera certainement une énigme pour une partie de ce siècle.

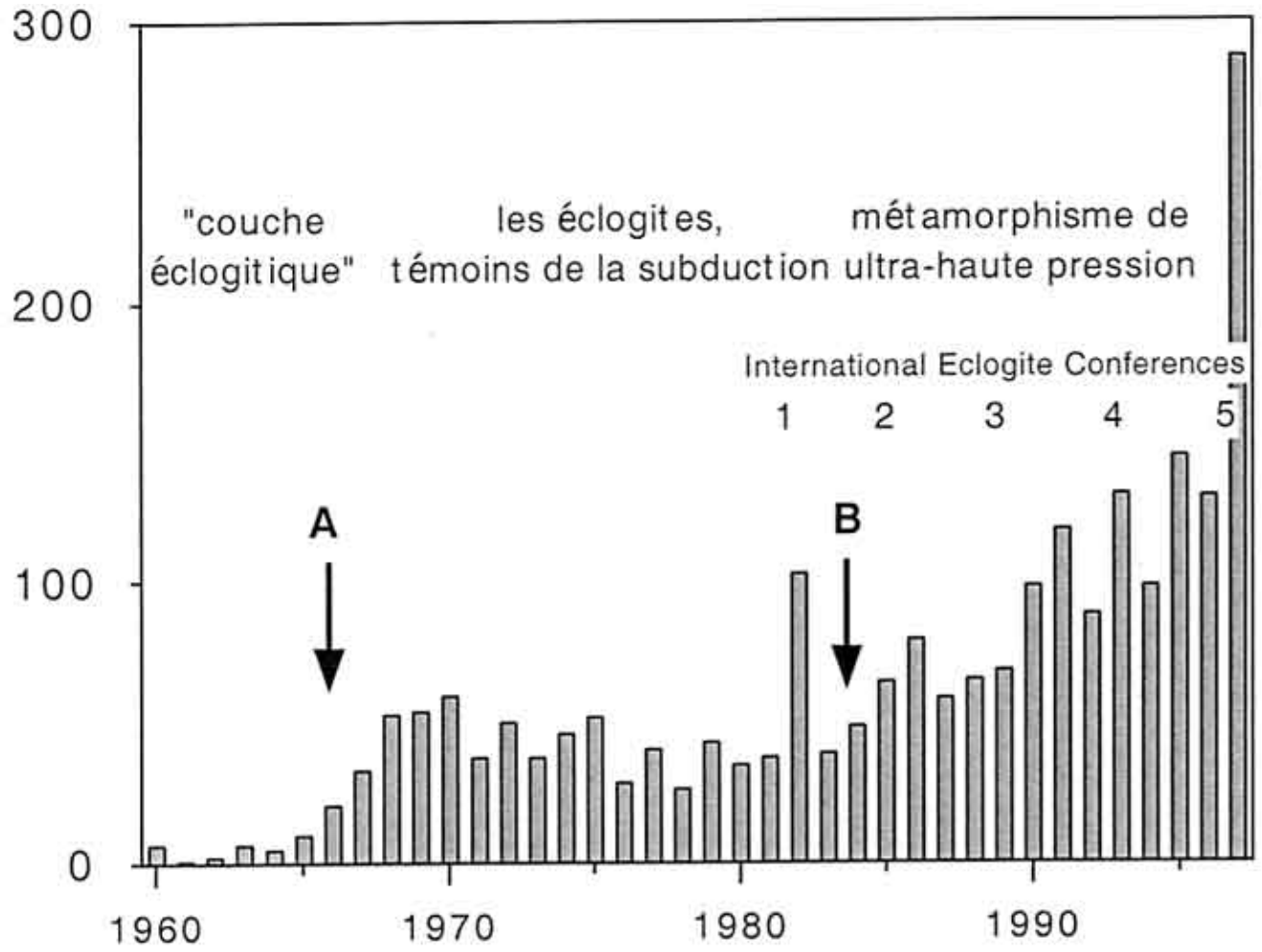

Figure 5. Evolution de l'importance de la bibliographie consacrée aux éclogites. L'axe vertical représente la fréquence annuelle du mot éclogite (ou de mots apparentés) apparaissant dans le titre des articles géologiques, selon la base de données Georef.

Conclusion

L'éclogite est une roche qui s'est avérée avoir une sorte de destinée dans l'histoire des sciences géologiques.

Pendant deux siècles, son étude a soulevé de nombreuses questions, hypothèses, théories et controverses, qui dans l'ensemble se sont révélées exceptionnellement fructueuses. Comme nous l'avons vu, cette roche fut à l'origine d'importants concepts de la pétrologie endogène, et fut impliquée dans de nombreuses théories géodynamiques. Son histoire nous livre un bon exemple de la valeur et de l'intérêt de la méthode inductive, qui, en science, est fondée sur l'observation précise des faits.

Références

AMSTUTZ, A. (1951). Sur l'évolution des structures alpines. Archives des Sciences [Genève], 1951 (18 octobre), p. 323-329.

ARZRUNI, A. (1883). Neue Beobachtungen am Nephrit und Jadeït. Zeitschrift für Ethnologie, XV, p. 163-190.

AUBOUIN, J. (1965). Geosynclines. Elsevier, Amsterdam, xv+335 p.

BARDET, M.G. (1973-77). Géologie du diamant. Mémoires du Bureau de Recherches géologiques et minières, 83, 3 vol., 235+229+169 p.

BARET, Ch. (1900). Éclogite à disthène de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (Loire-Inférieure). Bulletin de la Société des Sciences naturelles de l'Ouest de la France, X, p. 225-227.

BARRET, E. (1892). Géologie du Limousin. Ducourtioux, Limoges, in-8°, x+210 p. + cartes et coupes.

BARROIS, Ch. (1883). Sur les amphibolites à glaucophane de l'île de Groix. Bulletin de la Société minéralogique de France, VI, p. 289-293.

BARROW, G. (1893). On an intrusion of muscovite-biotite gneiss in the S. E. Highlands of Scotland. Quarterly Journal of the Geological Society of London, 49, p. 330-356.

BEARTH, P. (1959). Über Eklogite, Glaukophanschiefer und metamorphe Pillowlaven. Scheiwzerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, 39, p. 267-286.

BECKE, F. (1903). Über Mineralbestand und Struktur der kristallinischen Schiefer. Denkschriften der k. Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissen-schaftliche Klasse, LXXV, p. 1-53 [Résumé en allemand in Congrès géologique international. Compte rendu de la IXe session, Vienne 1903, p. 553-570].

BELL, P.M. (1963). Aluminium silicate system: Experimental determination of the triple point. Science, 139, p. 1055-1056.

BENIOFF, H. (1954). Orogenesis and deep crustal structure: Additional evidence from seismology. Bulletin of the Geological Society of America, 81, p. 3431-3432.

BISHOP, H.R. [Ed.] (1906). Investigations and studies in jade. Privately printed, New York, 2 vol. gr. in-f°, pl. + lithographies [ouvrage d'art à tirage limité ; BNF Res. Atlas-V-23 + Atlas-V-24].

BOISSE, A. (1870). Esquisse géologique du département de l'Aveyron. Impr. nationale, Paris, in-8°, xvi+409 p.

BONNEY, T.G. (1879). Notes on some Ligurian and Tuscan serpentines. Geological Magazine, (2) VI, p. 362-371.

BOUÉ, A. (circa 1820). Essai géologique sur l'Écosse. Veuve Courcier, Paris, in-8°, x+519 p.

BOUÉ, A. (1824). Mémoire géologique sur le sud-ouest de la France, suivi d'observations comparatives sur le nord du même royaume, et en particulier sur les bords du Rhin. Annales des Sciences naturelles, 2, p. 387-423 [415-423]; 3, p. 55-95, 299-317.

BOUTAN, E. (1886). Le diamant. Dunod, Paris, in-8°, 323 p. [bibliographie avec 375 références].

BRIÈRE, Y. (1920). Les éclogites françaises. Leur composition minéralogique et chimique. Leur origine. Bulletin de la Société française de Minéralogie, XLIII, p. 72-222 + pl. i-iv ; Thèse ès-Sciences naturelles, Sorbonne, 1920, Giard et Brière (éd.), 143 p. + 4 pl.

BRONGNIART, A. (1827). Classification et caractères minéralogiques des roches homogènes et hétérogènes. Levrault, Paris, 144 p. [p. 94-95].

BRONGNIART, M. (1908). Études sur les éclogites de la région méridionale du Massif armoricain. Comptes-Rendus du Congrès des Sociétés savantes de Paris et des Départements, Section des Sciences, 1908, p. 39.

BRUNN, J.H. (1960). Mise en place et différenciation de l'association pluto-volcanique du cortège ophiolitique. Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique, 3, p. 115-132.

BRUNN, J.H. (1961). Les sutures ophiolitiques. Contribution à l'étude des relations entre phénomènes magmatiques et orogéniques. Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique, 4, p. 89-96, 181-202.

BUNDY, F.P., HALL, H.T., STRONG, H.M. and WENTORF, R.H. (1955). Man-made diamonds. Nature, 176, p. 51-55.

CHESNOKOV, B.V. and POPOV, V.A. (1965). Increasing in the volume of quartz grains in South Urals eclogites. Doklady of the Academy of Sciences of the U.S.S.R. [Version anglaise de Doklady Akademii Nauk SSSR], 162, p. 176-178.

CHOPIN, Ch. (1984). Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the Western Alps : A first record and some consequences. Contributions to Mineralogy and Petrology, 86, p. 107-118.

CHOPIN, Ch. and SOBOLEV, N.V. (1995). Principal mineralogic indicators of UHP [ultrahigh pressure] in crustal rocks. In : COLEMAN, R.G. and WANG, X. (Ed.), Ultrahigh pressure metamorphism. Cambridge University Press, p. 96-131.

CLAVE, E. de (1635). Paradoxes ou traittez philosophiques des pierres et pierreries, contre l'opinion vulgaire [...]. Veuve P. Chevallier, Paris, in-8°, pièces liminaires + 492 p.

COES, L. Jr (1953). A new dense crystalline silica. Science, 118, p. 131-132.

COLEMAN, R.G. (1971). Plate tectonic emplacement of Upper mantle peridotites along continental edges. Journal of Geophysical Research, 76, (5), p. 1212-1222.

COLEMAN, R.G. (1977a). Ophiolites : ancient oceanic lithosphere ? Springer-Verlag, Berlin, ix+229 p.

COLEMAN, R.G. (1977b). Emplacement and metamorphism of ophiolites. Ofioliti, 2, p. 41-73.

COLEMAN, R.G., LEE, D.E., BEATTY, L.B. and BRANNOCK, W.W. (1965). Eclogites and eclogites : Their differences and similarities. Geological Society of America Bulletin, 76, p. 483-508.

COLEMAN, R.G., WANG, X. [Ed.] (1995). Ultrahigh pressure metamorphism. Cambridge University Press, 528 p.

DAMOUR, A. (1863). Notice et analyse sur le jade vert. Réunion de cette matière minérale à la famille des wernérites. Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences [Paris], 56, p. 861-865.

DAMOUR, A. (1865). Sur la composition des haches en pierre trouvées dans les monuments celtiques et chez les tribus sauvages. Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences [Paris], 61, p. 357-368.

DAMOUR, A. (1881). Nouvelles analyses sur la jadéite et sur quelques roches sodifères. Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences [Paris], 92, p. 1312-1318.

DANA, J.D. (1873). On some results of the Earth's contraction from cooling [...]. American Journal of Science and Arts, 5, p. 423-443 ; 6, p. 6-14, 104-115, 161-172.

DAUBRÉE, A. (1859). Études et expériences synthétiques sur le métamorphisme et sur la formation des roches cristallines. Annales des Mines, (5), XVI, p. 155-218, 393-476.

DELESSE, A. (1857-61). Étude sur le métamorphisme des roches. Annales des Mines, (5), XII, p. 89-288, 417-516, 705-772 ; XIII, p. 321-416 ; Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences, XVII, 95 p.

DICKINSON, W.R. (1970). Global tectonics. Science, 168, 1250-1259.

DOBRZHINETSKAYA, L., POSUKHOVA, T., TRONNES, R., KORNELIUSSEN, A. and STURT, B. (1993). A microdiamond from eclogite-gneiss area of Norway. Terra Abstracts, 5, p. 8.

DOLOMIEU, D. (An II [1794]). Mémoire sur les roches composées en général, et particulièrement sur les pétro-silex, les trapps et les roches de corne, pour servir à la distribution méthodique des produits volcaniques. Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire naturelle et des Arts, I, p. 175-200, 241-263 [187-188, 242].

DUBUISSON, F.R.A. (1830). Catalogue de la collection minéralogique, géognostique et minéralogique du département de la Loire-Inférieure, appartenant à la mairie de Nantes. Mellinet, Nantes, 319 p.

ERNST, W.G., SEKI, Y., ONUKI, H. and GILBERT, M.C. (1970). Comparative study of low-grade metamorphism in the California Coast Ranges and the outer metamorphic belt of Japan. Geological Society of America, Memoir, 124, 276 p.

ESKOLA, P. (1915). Om sambandet mellan kemisk och mineralogisk sammansättring hos Orijärvitraktens metamorfa bergarter. Bulletin de la Commission géologique de Finlande, 8, (44), 145 p.

ESKOLA, P. (1920). The mineral facies of rocks. Norsk Geologisk Tidsskrift, VI, p. 143-194.

ESKOLA, P. (1921). On the eclogites of Norway. Videnskapsselskapets Skrifter, I- Mathematisk-Naturvidenskapelig Klasse [Kristiana], 1921 (8), p. 1-118.

ESKOLA, P. (1929). Om mineralfacies. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, 51, (377), p. 157-172.

ESKOLA, P. (1939). Die metamorphen Gesteine. In : T.F.W. BARTH, C.W. CORRENS, P. ESKOLA (Ed.), Die Entstehung der Gesteine ; Ein Lehrbuch der Petrogenese. J. Springer, Berlin, p. 263-407.

FAIRBAIRN, H.W. (1943). Packing in ionic minerals. Bulletin of the Geological Society of America, 54, p. 1305-1374 [1363-1365].

FERMOR, L.L. (1912). Preliminary note on the origin of meteorites. Journal and Proceedings of the Asiatic Society of Bengal, (n.s.), VIII, (9), p. 315-324 [316-317].

FERMOR, L.L. (1913). Preliminary note on garnet as a geological barometer and on an infra-plutonic zone in the earth's crust. Records of the Geological Survey of India, 43 (1), p. 41-47.

FERMOR, L.L. (1914). The relationship of isostasy, earthquakes and vulcanicity to the Earth's infra-plutonic shell. Geological Magazine, (VI), 1, p. 65-67.

FOURNET, J. (1841). Mémoire sur la géologie de la partie des Alpes, comprise entre le Valais et l'Oisans. Annales des Sciences physiques et naturelles […] de Lyon, IV, p. 105-183, 483-560 [169-171].

FRANCHI, S. (1900). Sopra alcuni giacimenti di roccie giadeitiche nelle Alpi Occidentali e nell'Apennino ligure. Bollettino del r. Comitato geologico d'Italia, 31, p. 119-158.

FRANCHI, S. (1902a). Ueber Feldspath-Uralitisirung der Natron-Thonerde-Pyroxene aus den eklogitischen Glimmerschiefern der Gebirge von Biella (Graiische Alpen). Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, 1902 (II), p. 112-126.

FRANCHI, S. (1902b). Contribuzione allo studio delle roccie a glaucofane e del metamorfismo onde ebbero origine nella regione ligure-alpina occidentale. Bollettino del r. Comitato geologico d'Italia, 33, p. 255-318 + pl. viii-ix.

GASS, I.G. (1968). Is the Troodos Massif of Cyprus a fragment of Mesozoic ocean floor? Nature, 220, p. 39-42.

GODARD, G. (1984). Auguste Rivière (1805-1877) : Pionnier de la géologie vendéenne. Bulletin de la Société des Sciences naturelles de l'Ouest de la France, (n.s.), 6, (1), p. 57-62.

GODARD, G. (2001). Eclogites and their geodynamic interpretation : a history. Journal of Geodynamics, 32, p. 165-203.

GOHAU, G. (1991). A history of geology [revu et traduit du français par A. et M. Carozzi]. Rutgers University Press, New Brunswick and London, 259 p.

GOLDSCHMIDT, V.M. (1922). Über die Massenverteilung im Erdinneren, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten. Die Naturwissenschaften, 1922, (42), p. 918-920.

GRAU, G. (1977). A short history of ideas concerning the Earth's crust; a contribution of A. Mohorovi?i?. Geophysical Prospecting, 25, (3), p. 405-414.

GREEN, D. (1971). Evolution in meaning of certain geological terms. Geological Magazine, 108, p. 177-178.

GREEN, D.H. (1998). About the Academy biographical memoirs Alfred Edward Ringwood 1930-1993. Historical Records of Australian Science, 12, (2), p. 247-266.

GREEN, D.H. and RINGWOOD, A.E. (1967). An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological applications. Geochimica and Cosmochimica Acta, 31, p. 767-833.

GREEN, D.H. and RINGWOOD, A.E. (1972). Gabbro-garnet granulite-eclogite transition. Journal of Geology, 80, p. 277-288.

GRUBENMANN, U. (1904-07). Die Krystallinen Schiefer : Eine Darstellung der Erscheinungen der Gesteinsmetamorphose und ihrer Produkte. Gebrüder Borntraeger, Berlin, I, 105 p. ; II, 175 p.

HALL, J. (1859). Palaeontology. In : The Natural History of New York, Part VI. Geological Survey of New York, 3, (part I), 533 p.

HAMILTON, B. (1992). The influence of the polarising microscope on late nineteenth century geology. Janus, LXIX, p. 51-68.

HAUG, E. (1900). Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des

transgressions et des régressions marines. Bulletin de la Société géologique de France, 28, p. 617-711.

HAUSMANN, H. (1845). [Beiträge zur Oryktographie von Syra]. Göttingische gelehrte Anzeigen, 1845, p. 193-200 [résumé in Journal für praktische Chemie, 1845, 34, p. 238-241].

HAUSSMANN, J.F.L. (1813). Handbuch der mineralogie. Bandenhoeck und Ruprecht, Göttingen, 3 vol., 1158 p.

HAÜY, R.-J. (1822). Traité de minéralogie. Seconde édition, revue, corrigée et considérablement augmentée par l'auteur. Bachelier et Huzard, Paris, 4 vol. in-8° + atlas [t. II, p. 456 ; t. IV, p. 548].

HEZNER, L. (1903). Ein Beitrag zur Kenntnis der Eklogite und Amphibolite, mit besonderer Berücksichtigung der Vorkommnisse des mittleren Oetztals. Mineralogische und petrographische Mittheilungen, 22, p. 437-472, 505-580.

HOFFMANN und BREITHAUPT (1815). Handbuch der Mineralogie. Craz und Gerlach, Freiberg, 5 vol. + atlas.

HOLMES, A. (1931). Radioactivity and Earth movements. Transactions, Geological Society of Glasgow, 18, p. 559-606.

HUNT, Th.S. (1884). The origin of crystalline rocks. Mémoires et Comptes rendus de la Société r. du Canada - Transactions of the r. Society of Canada, 2, (section III), p. 1-67.

JANNETTAZ, E. (1867). Note pour servir à l'étude des roches de la Nouvelle-Calédonie. Bulletin de la Société géologique de France, (2), XXIV, p. 451-453.

JOUKOWSKY, E. (1902). Sur les éclogites des Aiguilles Rouges. Soc. générale d'imprimerie, Genève [Thèse], in-8°, 45 p.

JULIEN, A.A. (1909). A bibliography of the diamond fields of South Africa. Economic Geology, 4, p. 453-469 [286 références].

KHITAROV, N.I., RYZHENKO, B.N. et LEBEDEV, E.B. (1963). [Relations entre andalousite, disthène et sillimanite à températures et pressions modérées]. Geokhimiya, 3, p. 219-228 [en russe].

KNOPF, A. (1948). The geosynclinal theory. Bulletin of the Geological Society of America, 59, p. 649-669.

KRENNER (1883). Über Jadeit. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, 1883 (II), p. 173-174.

LACROIX, A. (1891). Étude pétrographique des éclogites de la Loire-inférieure. Bulletin de la Société des

Sciences naturelles de l'Ouest de la France, I, p. 81-114 + 2 pl. [réédition : 1995, 17, (3), p. 76-108 + 2 pl.].

LACROIX, A. (1941). Les glaucophanites de la Nouvelle-Calédonie et les roches qui les accompagnent, leur composition et leur genèse. Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, (2), 65, p. 1-103 + pl. i-iv.

LANTERNO, E. (1976). La collection des échantillons décrits par H.-B. de Saussure dans les "Voyages dans les Alpes" déposée au Muséum de Genève. Musées de Genève, 162, (février 1976), p. 18-22.

LANTERNO, E. (1982). André Amstutz, 12 novembre 1901 - 6 mars 1981. Archives des Sciences [Genève], 35, p. 101-107.

LASAULX, A. von (1883). Der Vortragende legt dann eine Suite von Handstücken eines neuen Glaukophangesteines von der Insel Groix, an der Westküste der Bretagne vor, die er durch Herrn Grafen von Limur in Vannes erhalten hat und macht über das Vorkommen und die mineralogische Zusammensetzung dieses Gesteins folgende Mittheilung. Sitzungsberichte der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn [publié in : Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande und Westfalens], XL, p. 263-274.

LASAULX, A. von (1884). Die Mineralen eines neuen Glaukophangesteins von der Insel Groix an der Südwestküste des Bretagne. Zeitschrift für Kristallographie, IX, p. 422-424.

LEPSIUS, R. (1893). Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehre von Metamorphismus der Gesteine. Reimer, Berlin, in-4°, 196 p. + viii pl.

LYELL, Ch. (1830-33). Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the earth's surface, by reference to causes now in operation. J. Murray, London, 3 vol. in-8°.

MEYER, H.O.A. (1979). Kimberlites and the mantle. Reviews of Geophysics and Space Physics, 17, (4), p. 776-788.

MIYASHIRO, A. (1961). Evolution of metamorphic belts. Journal of Petrology, 2, p. 277-311.

MIYASHIRO, A. (1967). Orogeny, regional metamorphism, and magmatism in the Japanese islands. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, 17, p. 390-446.

MIYASHIRO, A. (1972). Metamorphism and related magmatism in plate tectonics. American Journal of Science, 272, p. 629-656.

MIYASHIRO, A. (1973). Metamorphism and metamorphic belts. G. Allen & Unwin, London, 492 p. ["History of the study of metamorphism": pp. 429-440].

MOHOROVI?I?, A. (1910). Potres od 8.x.1909; Das Beben vom 8.x.1909. Godisnje Izvjesce Zagrebackog Meteoroloskog Opservatorija za godinu 1909 - Jahrbuch des Meteorologischen Observatoriums in Zagreb für das Jahr 1909, 9, (4), p. 1-63.

MONARDES, N., 1565. Dos libros. El vno trata de todas las cosas que traen de nuestras Indias Occidentales que siruen al vso de Medicina [dont "la piedra dela Yjada" (jade)] y como se ha de vsar de la rays del Machoacan, purga excellentissima. El otro libro trata de dos medicinas marauillosas que son contra todo Veneno, la piedra bezaar y la yerua Escuerçonera [...]. S. Trugillo, Sevilla, 1 vol. [ff. fiii r°-fv v°: de la piedra de sangre, y de la piedra dela Yjada].

MONTIGNY, R. et ALLEGRE, C.J. (1974). À la recherche des océans perdus: les éclogites de Vendée, témoins métamorphisés d'une ancienne croûte océanique. Comptes rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Série D [Paris], 279, p. 543-545.

MOORES, E.M. and VINE, F.J. (1971). The Troodos massif, Cyprus, and other ophiolites as oceanic crust; evaluation and implications. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, 268, (1192), p. 443-466.

MOULLE, A. (1885). Mémoire sur la géologie générale et sur les mines de diamants de l'Afrique du Sud. Annales des Mines, (8), 7, p. 193-348 + pl. v-ix.

NASDALA, L. and MASSONNE, H.-J. (2000). Microdiamonds from the Saxonian Erzbegirge, Germany; in-situ micro-Raman characterisation. European Journal of Mineralogy, 12, p. 495-498.

NECKER, L.A. (1828). Mémoire sur la vallée de Valorsine. Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, IV, p. 209-245 [216].

NEWTON, R.C. and SMITH, J.V. (1967). Investigations concerning the breakdown of albite at depth in the Earth. Journal of Geology, 75, p. 268-286.

OXBURGH, E.R. and TURCOTTE, D.L. (1970). Thermal structure of island arcs. Geological Society of America Bulletin, 81, p. 1665-1688.

PEARSON, D.G., DAVIES, G.R., NIXON, P.H. and MILLEDGE, H.J. (1989). Graphitized diamonds from a peridotite massif in Morocco and implications for anomalous diamond occurrences. Nature, 338, p. 60-62.

PERRIER, C. (1924). Sulla eclogite filoniana di Voltaggio. Bollettino del r. Ufficio geologico d'Italia, L, (2), p. 1-18.

PLATT, J.P. (1993). Exhumation of high-pressure rocks: a review of concepts and processes. Terra Nova, 5, p. 119-133.

RINGWOOD, A.E. and GREEN, D.H. (1966). An experimental investigation of the gabbro-eclogite transformation and some geophysical implications. Tectonophysics, 3, p. 383-427.

RIVIÈRE, A. (1835). Note sur la carte géognostique de la Vendée. Comptes rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences [Paris], 1, p. 237 [voir aussi : 2, 1836, p. 136-138].

RIVIÈRE, A. (1844). Mémoire minéralogique et géologique sur les roches dioritiques de la France occidentale. Bulletin de la Société géologique de France, (2), 1, p. 528-569.

SAUSSURE, H.-B. de (1779-96). Voyages dans les Alpes, précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève. S. Fauche, Neuchâtel, 4 vol.

SCHMÄDICKE, E. (1994). Die Eklogite des Erzgebirges. Freiberger Forschungshefte, Leipzig, C456, 338 p.

SCHNEER, C.J. (1997. La dernière "Théorie de la Terre": James Hall et le concept de géosynclinal. In : GOHAU, G. (Ed.), De la géologie à son histoire. Comité des Travaux historiques et scientifiques, Paris, Mémoire de la section des sciences, 13, p. 189-192.

SCHRAUF, A. (1882). Beiträge zur Kenntniss des Associationskreises der Magnesiasilicate. Zeitschrift für Kristallographie und Mineralogie, 6, p. 321-388.

SCHREYER, W. (1988). Subduction of continental crust to mantle depths: Petrological evidence. Episodes, 11, p. 97-104.

SCHÜRMANN, H.M.E. (1951-56). Beiträge zur Glaukophanefrage. Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte, 1951, p. 49-68; Abhandlungen, 85, p. 303-394 + pl. 11-87; Abhandlungen, 89, p. 41-84.

SMITH, D.C. (1982). The essence of an eclogite: AlVI, as exemplified by the crystal-chemistry and petrology of high-pressure minerals in Norwegian eclogites. Terra Cognita, 2, (3), p. 300.

SMITH, D.C. (1984). Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics. Nature, 310, (5979), p. 641-644.

SMITH, D.C. (1988). A review of the peculiar mineralogy of the "Norwegian coesite-eclogite province", with crustal-chemical, petrological, geochemical and geodynamical notes and an extensive bibliography. In : SMITH, D.C. (Ed.), Eclogites and eclogite-facies rocks. Elsevier, Amsterdam, p. 1-206.

SMITH, D.C. (1995). Microcoesites and microdiamonds in Norway: An overview. In : COLEMAN, R.G. and WANG, X. (Ed.), Ultrahigh pressure metamorphism. Cambridge University Press, p. 299-355.

SMULIKOWSKI, K. (1964). An attempt at eclogite classification. Bulletin de l'Académie polonaise des Sciences, Série des Sciences géologiques et géographiques, XII, p. 27-33.

SMYTH, J.R. and HATTON, C.J. (1977). A coesite-sanidine grospydite from the Roberts Victor kimberlite. Earth and planetary Science Letters, 34, p. 284-290.

SOBOLEV, N.V. and SHATSKY, V.S. (1987). [Inclusions de carbone dans les grenats des roches métamorphiques]. Geologiya i Geofizika, 28, (7), p. 77-80 [en russe, avec un résumé anglais].

STEINMANN, G. (1927). Die ophiolithischen Zonen in den mediterranen Kettengebirgen. Congrès géologique international. Comptes rendus de la XIVe session, Espagne, 1926, (t. 2), p. 638-668.

STELLA, A. (1894). Relazione sul rilevamento eseguito nell'anno 1893 nelle Alpi Occidentali (Valli dell'Orco e della Soana). Bollettino del r. Comitato geologico d'Italia, 25, p. 343-371 + pl. iii.

THOMPSON, J.B. (1947). Role of aluminium in the rock-forming silicates. Bulletin of the Geological Society of America, 58, p. 1232.

TOURET, J.L.R. and NIJLAND, T.G. (2001). Metamorphism today: new science, old problems. Geological Society, London, Special Publications, 192, p. 113-141.

VAN HISE, C.R. (1898). A treatise on metamorphism. U.S. Geological Survey Monograph, 47, 1286 p.

WADATI, K. (1935). On the activity of deep-focus earthquakes in the Japan Islands and neighbourhoods. Geophysical Magazine, 8, p. 305-325.

WERNER, A.G. (1817). Abraham Gottlob Werner's lektes Mineral-System, aus dessen Nachlasse aus oberbergamtliche Anordnung herausgegeben und mit Erläuterungen versehen. Craz, Gerlach, Carl Gerold, Freyberg und Wien, xiv+58 p.

WHITE, D.A., ROEDER, D.H., NELSON, Th.H. and CROWELL, J.C. (1970). Subduction. Geological Society of America Bulletin, 81, p. 3431-3432.

WILLIAMS, G.H. (1890). The Greenstone Schist areas of the Menominee and Marquette regions of Michigan. A contribution to the subject of dynamic Metamorphism in Eruptive Rocks. U.S. Geological Survey, Bulletin, 62, 241 p. + 16 pl.

XU, S., SU, W., LIU, Y., JIANG, L., JI, S., OKAY, A.I. and SENGÖR, A.M.C. (1991). Diamond in the high pressure metamorphic rocks in the eastern part of the Dabie Mountains. Kexuetongbao, 17, p. 1318-1321 [voir aussi: Science, 1992, 256, p. 80-82].

YANG KIEH (1932). Contribution à l'étude géologique de la chaîne de la Marche et du plateau d'Aigurande. Mémoires de la Société géologique de France, (n.s.), VIII, (19), 122 p. + 14 pl + 1 carte.

YODER, H.S. Jr (1950). The jadeite problem. American Journal of Science, 248, p. 225-248, 312-334.