

4.

# LES ROCHES GRENATIFÈRES ET AMPHIBOLIQUES DE LA RÉGION DE BASTOGNE;

PAR

A. RENARD,

Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique.

---

L'étage inférieur du terrain coblentzien de Dumont, désigné sous le nom de taunusien, offre, aux environs de Bastogne, des roches dont les modifications méritent de fixer l'attention au point de vue des phénomènes métamorphiques. Pour me servir d'une expression empruntée à Daubrée, ce sont des monuments classiques du métamorphisme, et leur importance à cet égard n'avait pas échappé à Dumont. Il leur consacre une description détaillée dans son *Mémoire sur les terrains ardennais et rhénan* ; il fait ressortir la portée de la découverte de fossiles associés dans une même roche avec le grenat, l'amphibole et autres minéraux du groupe des silicates.

Je me propose d'étudier ces roches remarquables, suivant les méthodes appliquées aujourd'hui en lithologie, et de compléter ainsi les indications, d'ailleurs si exactes et si précises, du célèbre géologue. Je montrerai que les masses minérales taunusiennes, qui font l'objet de cette notice, méritent de prendre place dans la littérature scientifique à côté de celles que l'on a considérées comme offrant les preuves les plus concluantes de modifications métamorphiques. D'abord je résumerai les observations de Dumont sur la zone métamorphique à laquelle il rattache les roches en question. Après avoir indiqué, d'après lui, leurs gisements principaux, je donnerai la classification et la nomenclature adoptée par ce savant. J'aborderai ensuite la description détaillée des principales variétés, en m'appuyant sur les données de l'analyse microscopique et des recherches chimiques dont ces roches ont été l'objet. Enfin j'exposerai l'interprétation de Dumont relative aux agents qui auraient déterminé les profondes modifications de la région taunusienne de Bastogne, et j'indiquerai en même temps

les conclusions auxquelles amènent ces nouvelles études sur ce groupe de roches.

Il va sans dire qu'il est impossible, en ce moment où le levé géologique détaillé de cette région n'est pas fait, d'exprimer une opinion définitive et circonstanciée sur toutes les causes qui peuvent avoir concouru à provoquer le métamorphisme de ces couches. Je suis toutefois porté à penser que les observations essentiellement lithologiques que renferme ce travail, pourront aider à faire entrevoir la raison d'être des modifications que nous montrent les roches de cette zone métamorphique.

J'ai recueilli les échantillons dont je me suis servi pour ces recherches, aux divers points de la région de Bastogne indiqués par Dumont. Grâce à M. G. Dewalque, j'ai pu étudier les types de ces roches déterminés par Dumont, et conservés dans les collections de l'Université de Liège.

Les analyses qui accompagnent ce travail ont été faites par M. C. Klement ou par moi-même au laboratoire de chimie du Musée royal d'histoire naturelle; dans chaque cas l'auteur est désigné en tête de l'analyse. Je me fais un devoir de reconnaître les services importants que M. Klement m'a rendus dans ces recherches.

Les terrains ardennais et rhénan ont éprouvé, après la formation de ce dernier, des métamorphoses successives plus ou moins étendues, dont les effets se sont, pour ainsi dire, superposés (1).

La première action métamorphique qui s'est exercée sur ces terrains s'observe dans la zone que Dumont appelle *Zone métamorphique de l'Ardenne*. Son axe correspond à peu près à la ligne de partage des eaux de la région. Une action métamorphique postérieure, et dont les effets se sont ajoutés à la précédente, a profondément modifié les roches ardennaises et rhénanes. La zone où l'on observe ses effets est désignée par Dumont sous le nom de *Zone métamorphique de Paliseul*. Elle renferme les roches que nous avons à décrire.

L'axe de cette zone est dirigé de l'O. 15° S. à l'E. 15° N., il passe par Rimogne, Monthermé, Paliseul, Bastogne, Longwilly. La zone renferme les roches feldspathiques à structure porphyroïde et gneissique et les roches amphiboliques schistoïdes des bords de la

(1) DUMONT, *Mémoire sur les terrains ardennais et rhénan* (MÉM. DE L'ACAD. ROY. DE BELG., XX, p. 70, 1848).

Meuse dans les Ardennes françaises. Vers le milieu de la zone de Paliseul se trouve le massif de Serpont; à l'Est elle aboutit au gîte métallifère de Longwilly. Sa limite septentrionale passe par Revin, l'extrémité orientale du massif ardennais de Rocroy, Bonnerue et Michamps; sa limite méridionale passe près de Joigny, Vresse, Bertrix, Bercheux et Wardin. On remarque les effets du métamorphisme le plus prononcé vers l'axe de la zone; au delà de Longwilly ils ne sont plus sensibles.

Aux points où les modifications les plus intenses se sont produites, les sédiments sableux, argileux et calcaireux de nos mers anciennes ont pris une texture cristalline. Suivant la composition primitive du dépôt, il s'est développé dans ces couches de la magnétite, des grenats, de l'amphibole, de la titanite, de l'ottrélite, du graphite, de la biotite, et une substance micacée désignée par Dumont sous le nom de bastonite. Les phyllades ardennais et gedinniens se sont transformés en phyllades aimantifères. Enfin, ajoute Dumont, de Belvaux jusqu'au delà de Bastogne, suivant l'axe de la zone où les effets du métamorphisme se sont superposés, les roches du système coblentzien sont transformées en partie en phyllades noirâtres ottrélitifères, en grès et en quartzite, contenant des lamelles de bastonite, ou en roches grenatifères et amphiboliques (1).

Ces dernières roches, qui font l'objet de ce travail, avaient frappé Dumont; leur composition minéralogique, la présence de restes fossiles enchâssés dans ces masses minérales où les silicates se sont développés, les conséquences qu'il pouvait tirer de ces faits pour appuyer son interprétation de la modification des roches de l'Ardenne et du terrain rhénan, ont porté ce savant à leur consacrer une place à part dans son mémoire. Il les considère comme des roches accidentelles, qui ont subi les effets d'un métamorphisme intense. « Dans la grande presqu'île taunusienne de Bastogne, le grès massif ou stratôide, à mesure qu'il s'avance dans la zone métamorphique de Paliseul, se transforme progressivement en quartzite gris ou gris-noirâtre (Remagne et Recogne) et on le voit passer aux quartzites bastonifères, grenatifères, hornblendifères, actinotifères et chloritifères (2). »

(1) DUMONT, *loc. cit.*, p. 71. L'existence de ces roches grenatifères a été signalée pour la première fois par Cauchy (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELG., II, p. 332, 1835).

(2) DUMONT, *loc. cit.*, p. 120.

La ligne qui circonscrit les divers gîtes des roches grenatifères et amphiboliques, connus du temps de Dumont, limite une surface allongée dans le sens de la zone métamorphique de Paliseul (1). Elle est comprise dans une zone de phyllade ottrélitifère, qui la borde environ d'un millier de mètres. Son grand axe est de 9 à 10 lieues.

Après ces détails généraux, résumé des observations faites par Dumont, il reste à indiquer les conditions dans lesquelles apparaissent les roches en question et leurs rapports avec les couches adjacentes.

Au moment où ce savant écrivait, il visita un grand nombre de gîtes intéressants, où l'on pouvait étudier les roches en place; aujourd'hui plusieurs de ces gisements sont remblayés et on ne découvre guère ces roches qu'en fragments épars à la surface du sol. On les désigne dans le pays sous le nom de « pierres volantes ». Ces blocs, de dimensions variables, sont plus ou moins décomposés à la périphérie; ils proviennent de la désintégration des grès, des quartzophyllades et des quartzites dans lesquels ils étaient enchâssés. Leur dureté et leur compacité leur a permis de résister aux agents atmosphériques, qui ont réduit les roches encaissantes en sable et en matières argileuses. Les points signalés par Dumont, que j'ai parcourus presque tous, en suivant les indications de ses cartes minutes et de ses notes de voyage, ne m'ont plus montré les gisements dans des conditions aussi favorables à l'exploration qu'elles l'étaient au moment où il les décrivit. Son mémoire précité doit être consulté pour les détails locaux; je me borne à attirer l'attention sur quelques coupes et gîtes importants.

Lorsque Dumont levait la carte de cette région, c'est à la carrière Marquet au S.-E. de Bastogne qu'il put le mieux observer les roches grenatifères en place. Cette carrière est encore ouverte, et il en est d'autres dans le voisinage; mais on n'y trouve plus de grenats. Dans une série de roches phylladeuses, apparaissait, au contact d'un phyllade dur et massif, un amas couché de roche grenatifère, épais de 27 centimètres, qui s'aminçissait pour disparaître bientôt dans le phyllade grenu et chloritifère. Dumont ajoute: « On doit conclure de ce qui précède que les grenats sont le produit d'une forte action métamorphique (2). »

(1) DUMONT, *loc. cit.*, p. 149.

(2) DUMONT, *loc. cit.*, p. 143.

Le gisement, dont nous allons parler, présente des roches dont les caractères sont tout à fait concluants en faveur de cette interprétation. En sortant de Bastogne sur la route de Namur, à droite, Dumont a trouvé dans du phyllade gris avec empreintes végétales, un banc de grès de 80 centimètres d'épaisseur. Ce banc est divisé en deux parties, vers le milieu de l'épaisseur, par un lit mince de phyllade, subdivisé en blocs rectangulaires par des fissures parallèles au joint de stratification. Ce grès est ferrugineux, hétérogène, a parties compactes ou grenues, noir ou brunâtre, scoriacé, présentant un aspect volcanique, rude au toucher, rayant le verre, difficilement fusible ou infusible. Il contient des grenats disséminés ou groupés à la surface des joints qui traversent la roche. C'est dans ce grès qu'il a observé des empreintes de coquilles (térébratules, etc.) bien reconnaissables. Il en conclut que la roche est d'origine neptunienne, et qu'elle doit ses caractères et les grenats qu'elle contient à une action métamorphique postérieure au dépôt (1).

Dumont signale, en outre, qu'il a trouvé, au S.-O du bois Belau entre Cobrainville et Jodenville, dans des fragments de phyllade grossier, de nombreux grenats dodécaèdres dont l'axe mesure 1 millimètre, et des coquilles assez bien conservées.

L'association de fossiles bien caractérisés et du grenat ou de

(1) DUMONT, *loc. cit.*, p. 145. C'est une roche grenatifère fossilifère de Bastogne que Dumont communiqua à M. Sandberger. et dans laquelle ce savant put déterminer parmi les fossiles le *Spirifer macropterus* et le *Chonetes sarcinulatus*, prouvant ainsi que ces couches métamorphiques appartiennent bien au terrain dévonien inférieur. Dans une lettre à Bronn (*Neues Jahrbuch für Min.*, etc., p. 677, 1861), M. Sandberger insiste sur l'importance de cette découverte au point de vue des doctrines du métamorphisme et de leur application aux roches taunusiennes. Nous traduisons le passage en question : « En étudiant les roches du Taunus, les observateurs perdent souvent de vue qu'il est indispensable de ne pas isoler ce massif, mais de l'explorer en relation avec l'Ardenne et le Hunsrück. Dumont a montré dans les Ardennes des exemples si frappants de la formation de schistes cristallins par métamorphose des roches sédimentaires du dévonien inférieur, qu'il me paraît incompréhensible que son *Mémoire sur les terrains ardennais et rhénan* n'ait pas provoqué l'étude approfondie du métamorphisme de cette région. J'ai pu constater, sur des échantillons qui m'avaient été remis par ce savant, la transition d'un grès à *Spirifer* et *Chonetes sarcinulatus*, à un quartzite compacte avec hornblende et rhombododécaèdres de grenat de la grosseur d'un pois. Les grenats et les fossiles sont associés dans le même échantillon ; on les voit au centre de la roche, au point où la transition peut s'observer. Qui pourrait douter, après cela, qu'à leur tour les schistes cristallins et les quartzites du Hunsrück et du Taunus soient des roches taunusiennes métamorphiques ? »

l'amphibole dans les roches taunusiennes est un fait rarement constaté. Malgré mes recherches sur un très grand nombre d'échantillons, mes efforts sont restés infructueux. Les fragments de roches taunusiennes de la collection de l'Université de Liège montrent des traces végétales, assez nettement caractérisées; je n'y ai pas observé d'empreintes de coquilles (1). Quoi qu'il en soit, les faits que nous venons de rappeler, signalés par des observateurs tels que Dumont et Sandberger, établissent avec certitude l'action métamorphique à laquelle furent soumises les roches de la région de Bastogne, et les détails de structure et de composition viendront à leur tour mettre hors de doute les transformations qui s'y sont opérées. On ne peut s'étonner d'ailleurs de ce que les traces organiques soient rares dans ces roches, quand on pense aux conditions spéciales exigées pour que leur empreinte se conserve dans des masses minérales, qui eurent à subir une recristallisation pour la plupart de leurs minéraux constitutifs.

De ce que les grenats de la roche grenatifère de Bastogne avec fossiles et phyllade du bois Belau se sont incontestablement développés par métamorphisme, Dumont est amené, avec droit, à conclure que les diverses roches grenatifères et, par extension, les masses chloritifères et amphiboliques du terrain taunusien, se rattachant aux premières par leur gisement, sont aussi le résultat de l'action métamorphique que les roches bastoniennes ont éprouvée entre Michamps et Fays-les-Veneurs. Cette bande présente d'ailleurs entre ces deux localités des roches dont les caractères ne se retrouvent pas en dehors de la zone de Paliseul. Les schistes et les phyllades y sont noirs et compactes; les roches quartzeuses y ont éprouvé les transformations remarquables que nous avons à décrire (2).

Il résulte donc des observations relatives au gisement de ces roches métamorphiques, qu'elles sont régulièrement intercalées dans les couches taunusiennes, qu'elles y forment pour ainsi dire

(1) C'est au moins le souvenir que j'ai gardé après l'examen que j'ai fait de ces roches, il y a six ou sept ans. On peut dire d'ailleurs que, dans les roches très métamorphiques, les débris de plantes se sont mieux conservés que les formes animales. Je citerai comme exemples la grauwacke de Thann, les schistes de Bussang et la pierre carrée de la Loire. — M. Brögger vient d'indiquer quelques conditions spéciales qui favorisent la conservation des empreintes organiques dans les roches métamorphiques (*Die silurischen Etage 2 und 3 im Christiania-Gebiet und auf Eker*, p. 370, 1882).

(2) DUMONT, *loc. cit.*, p. 145.

un accident dans la série, qu'elles s'y présentent en lits très peu épais ou en bancs minces. Dans d'autres cas, elles se montrent sous la forme d'amas couchés, passant aux roches adjacentes. Elles se rencontrent enfin sous la forme de nodules; c'est ainsi que Dumont les signale entre Blanche-Oreille et Bertrix (1). Les blocs détachés que l'on trouve sur les champs aux environs de Recogne, d'Ourt, de Saint-Pierre, etc., semblent, dans un assez grand nombre de cas, avoir été des masses lenticulaires intercalées dans les grès ou les quartzites taunusiens.

Au point de vue lithologique, Dumont a reconnu dans ces roches les variétés suivantes : des quartzites et des eurites actinotifères ou hornblendifères, des quartzites grenatifères et chloritifères, des grès grenatifères et fossilifères, des phyllades grenatifères, chloritifères et fossilifères.

Les différentes variétés énumérées par Dumont peuvent se réduire aux types quartzite, grès et phyllade, essentiellement caractérisés par la présence du grenat, d'un minéral amphibolique et, dans certains cas, par une structure anormale que leur ont imprimée les actions métamorphiques. Ces actions, on le comprend, se traduisent par des effets variés suivant la nature primitive du dépôt et suivant l'intensité avec laquelle elles se sont produites. Quelques-unes de ces roches, moins métamorphiques, ont conservé la structure et les traits fondamentaux des roches adjacentes, auxquelles elles se rattachent par des transitions insensibles : c'est le cas pour certains grès et phyllades, que j'aurai à décrire, et qui ne se distinguent des grès et phyllades taunusiens ordinaires que par la concentration des substances charbonneuses et par la présence des silicates indiqués tout à l'heure.

Pour d'autres roches, celles, par exemple, que Dumont rangeait avec les quartzites, la structure primitive est, peut-on dire, effacée, et les matériaux qui les constituaient à l'origine se sont profondément transformés. Les minéraux secondaires s'y sont multipliés à tel point que les couches dévoniennes de Belgique ne montrent nulle part ailleurs des roches analogues.

(1) DUMONT, *loc. cit.*, p. 148. A ce sujet je rappellerai que dans les carrières aux environs de Recogne, les quartzophyllades taunusiens renferment très souvent des nodules quartzeux assez peu cohérents, colorés en noir brunâtre et qui tranchent fortement sur les masses encaissantes. Jamais toutefois je n'y ai découvert des grenats ou de l'amphibole.

Ces diverses roches métamorphiques de la région de Bastogne pourraient se diviser, me paraît-il, en deux variétés principales suivant que le grenat ou le minéral amphibolique y domine.

Groupées comme il vient d'être indiqué, elles répondent aux grès et quartzites grenatifères, et aux quartzites et eurites actinotifères ou amphiboliques entendus au sens de Dumont. On pourrait en outre distinguer les phyllades grenatifères, qui ne diffèrent des roches analogues de ce terrain que par la présence du grenat.

Il est évident que ces subdivisions n'ont pas de limite nettement tranchée. L'examen microscopique montre en effet que telle roche, ne présentant à l'œil nu que du grenat dans une masse quartzreuse et graphitique, renferme aussi de l'amphibole. De même les quartzites amphiboliques sont, peut-on dire, toujours grenatifères. Quant aux eurites amphiboliques de Dumont, je suis porté à ne pas les considérer comme constituant une variété, car la présence de l'élément feldspathique ne m'y paraît pas constatée.

J'aurais conservé volontiers l'expression de quartzite, employée par Dumont pour désigner un certain nombre des roches que nous avons à décrire, mais l'analyse chimique et microscopique a montré que l'élément quartzreux n'y remplit pas, en général, le rôle prépondérant qu'il joue dans les quartzites. D'un autre côté, ces roches présentent un aspect et des propriétés lithologiques tellement exceptionnelles, qu'il n'existe pas à notre connaissance dans la littérature pétrographique de type bien tranché auquel on puisse les rapporter. Quelques-unes d'entre elles ont des affinités très prononcées avec les schistes métamorphiques, que les géologues allemands ont coutume d'appeler *Knotenschiefer*, *Fruchtschiefer*, etc. Je les désigne provisoirement sous le nom général de *roches grenatifères et amphiboliques*. La description qui va suivre fera connaître leurs propriétés au point de vue de la structure et de la composition minéralogique.

Comme les minéraux constitutifs offrent dans les divers types qui seront décrits, les plus grandes analogies, il suffira d'exposer une fois pour toutes leurs caractères. J'insisterai, en décrivant chacune des variétés, sur les particularités spéciales que ces minéraux pourraient y présenter.

Décrivons d'abord les roches noires, massives et compactes, où domine le grenat et que Dumont désignait sous le nom de *quartzites grenatifères*. Au premier coup d'œil on est frappé d'une certaine analogie d'aspect qu'elles présentent avec certains produits



volcaniques, spécialement ceux de la série basaltique. Elles sont noir foncé, souvent à grains très fins comme ceux-là, et lorsqu'on les signala pour la première fois, trompé par la ressemblance de certains caractères extérieurs, on les classa avec les roches volcaniques. Le plus grand nombre des échantillons noir foncé sont extrêmement durs. Les surfaces de cassure généralement irrégulières, sont recouvertes d'aspérités plus ou moins conchoïdes produites par des éclats esquilleux. Quelquefois la roche a l'aspect poudingiforme, légèrement scoriacé. Les surfaces fraîches sont noir mat; toute apparence de stratification a disparu dans les échantillons massifs. La pâte fondamentale essentiellement quartzeuse est peu fusible, la poudre de la roche est fusible en un verre noir; ces roches tachent les doigts en noir et laissent sur le papier une trace graphitique. C'est cette substance charbonneuse qui voile tous les éléments constitutifs de ce que nous appellerions la pâte.

Le seul minéral qui se détache parfaitement de la masse et qui n'est pas recouvert d'une couche de graphite est le *grenat*. On le trouve répandu sporadiquement en petites masses grenues, plus souvent en cristaux nettement terminés, sous la forme du rhombododécaèdre, qui ne dépassent guère 1 ou 2 millimètres; ils ont une teinte jaune brunâtre. Il n'est pas rare de voir ces grenats se grouper en un point. Ils apparaissent surtout au contact des parties hétérogènes; car les échantillons de roches compactes sont souvent accolés à des fragments phylladeux, et c'est sur la ligne de jonction des deux roches que les grenats se sont souvent développés en grand nombre.

Ces grenats fondent au chalumeau en un globule noir vitreux, magnétique; ils sont faiblement attaqués par l'acide chlorhydrique ou sulfurique concentrés. Avec la soude ils donnent la réaction du manganèse, avec le borax et le sel de phosphore celle du fer. L'analyse qui suit est celle du grenat extrait d'une roche recueillie au hameau d'Ourt (1), près du chemin de Recogne à Remagne; elle

(1) En décrivant cette roche d'Ourt, Dumont fait remarquer (*loc. cit.*, p. 147) que l'on voit rarement comme là, le grenat et le minéral amphibolique réunis dans le même échantillon. Signalant d'autres exemples de cette association, à Nibermont, il ajoute : « Mais, cela n'existe peut-être qu'au contact de roches actinotifères et des » roches grenatifères. » J'ai dit plus haut que le microscope montre, au contraire, dans presque tous les cas, le minéral amphibolique et le grenat réunis dans ces roches; souvent, à vrai dire, l'une des deux espèces est dominante; mais je ne pense pas qu'il soit indiqué de séparer d'une manière aussi tranchée que l'a fait Dumont, les roches dont il s'agit.

appartient à la variété décrite ici. Ces grenats analysés sont les plus gros que l'on rencontre dans ces roches; ils sont cristallisés sous la forme du rhombododécaèdre, translucides jaune-brun et identiques à tous ceux des masses métamorphiques de cette région.

Le poids spécifique déterminé à l'aide du pycnomètre est de 3.976.

I. 0.8536 gramme de substance séchée à 110°, fusionnée par les carbonates de soude et de potasse, donna 0.3208 gr. de silice, 0.1746 gr. d'alumine, 0.1744 gr. de peroxyde de fer, 0.1351 gr. d'oxyde salin de manganèse répondant à 0.12565 gr. de protoxyde de manganèse, 0.0856 gr. de chaux et 0.0161 gr. de pyrophosphate de magnésie répondant à 0.0058 gr. de magnésie.

II. 0.8067 gramme de substance séchée à 110°, traitée en tube scellé par l'acide fluorhydrique et sulfurique, fut titrée par le caméléon (1 c. c. = 0.005235 gr. de protoxyde de fer). On employa pour l'oxydation 28.00 c. c., ce qui répond à 0.14658 gr. de protoxyde de fer.

[KLEMENT.]	I.	II.	RELATIONS atomiques.	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	37.58	—	37.58	626
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	20.45	—	20.45	197
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3.21	—	3.21	21
FeO . . . . .	—	15.53	15.53	216
MnO . . . . .	14.72	—	14.72	207
CaO . . . . .	10.03	—	10.03	179
MgO . . . . .	0.68	—	0.68	17
			<hr/>	
			102.20	

En calculant cette analyse, on obtient la formule du grenat, et on remarque pour les relations atomiques de FeO : MnO : [CaO + MgO] les rapports 1 : 1 : 1. On doit donc considérer ce minéral comme un mélange isomorphe d'un grenat alumineux à base de fer, de manganèse et de chaux.

Les chiffres suivants indiquent la relation entre les résultats obtenus par l'analyse et ceux donnés par le calcul de la formule. Pour le calcul de l'analyse, nous avons, ainsi que l'a montré M. Tschermak, réduit le peroxyde de fer en alumine et la magnésie en chaux, et ramené la somme à 100 :

	TROUVÉ et réduit à 100.	CALCULÉ pour $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{FeMnCaO}_{11}$ .
$\text{SiO}_2$ . . . . .	37.09	37.36
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	22.21	21.33
$\text{FeO}$ . . . . .	15.33	14.95
$\text{MnO}$ . . . . .	14.53	14.74
$\text{CaO}$ . . . . .	10.84	11.62
	100.00	100.00

On voit fréquemment dans cette variété un minéral du groupe de l'*amphibole*. Il se distingue moins bien, parce que ses houppes fibreuses et luisantes sont extrêmement minces et recouvertes par des matières charbonneuses; il s'y montre aussi sous la forme de petits cristaux noirs et brillants de 1 millimètre environ. Les plages fibreuses et ondulées du minéral amphibolique mesurent en moyenne 2 ou 3 millimètres.

Les parties décomposées de la roche sont jaune-blanchâtre; elles se désagrègent en grains très fins, qui sont du quartz. Les cristaux de grenat et d'amphibole restent en saillie. Ces derniers se montrent aussi fréquemment en relief intimement soudés à la masse, et sous la forme de prismes aux contours assez vagues. Ces cristaux sont mal terminés, et aucun de ceux que nous avons pu extraire de la roche, n'a été susceptible d'être mesuré; les clivages non plus ne purent être évalués avec une approximation suffisante, à cause de la texture finement fibreuse du minéral. Ces prismes peu allongés atteignent quelquefois 5 à 6 millimètres sur 3 millimètres d'épaisseur. Ils sont mats, enveloppés de matière graphitique, et ne se laissent pas dégager de la roche sans se briser.

L'intérieur de ces cristaux se montre composé de fibres très déliées jaune-verdâtre avec éclat bronzé. Les lames minces taillées dans ce minéral font voir au microscope qu'on doit le rapporter à l'amphibole. Peut-être est-ce à la disparition de ces cristaux qu'il faut attribuer les petites cavités de forme assez régulière, qu'on remarque souvent dans ces roches et que Dumont a désignées sous le nom de cavités clinoédriques.

L'analyse suivante est celle d'un échantillon type de la variété dont on vient de lire la description macroscopique; il fut recueilli à Saint-Pierre, sur la petite colline au S.-O. de cette localité.

Le poids spécifique de la roche est 2.751.

I. 0.7592 gramme de substance séchée à 110° et fusionnée par les carbonates de soude et de potasse, donna 0.4238 gr. de silice, 0.1493 gr. d'alumine, 0.0425 gr. de peroxyde de fer, et 0.0050 gr. d'oxyde de manganèse répondant à 0.00465 gr. de protoxyde de manganèse.

II. 0.4405 gramme de substance séchée à 110° et fusionnée par les carbonates de soude et de potasse donna 0.0371 gr. de chaux, et 0.0270 gr. de pyrophosphate de magnésie répondant à 0.00974 gr. de magnésie.

III. 0.5127 gramme de substance séchée à 110°, traitée en tube scellé par l'acide fluorhydrique et sulfurique, fut titrée par le permanganate de potasse (1 c. c. = 0.005235 gr. de protoxyde de fer). On employa pour l'oxydation 4.1 c. c., ce qui répond à 0.02146 gr. de protoxyde de fer.

IV. 0.8174 gramme de substance séchée à 110°, attaquée par l'acide fluorhydrique, donna 0.0270 gr. de chlorure de sodium et de potassium et 0.0165 gr. de chloroplatinate de potassium = 0.0050 gr. de chlorure de potassium = 0.00317 gr. de potasse; par différence = 0.0220 gr. de chlorure de sodium = 0.0116 gr. de soude.

V. 1.1226 gramme de substance séchée à 110°, fusionnée dans un tube en porcelaine, d'après la méthode de Sipöcz, par les carbonates de soude et de potasse, donna 0.0258 gr. d'eau.

VI. 0.9145 gramme de substance séchée à 110°, fusionnée par les carbonates de soude et de potasse, donna 0.0038 gr. d'acide titanique (1).

VII. 3.1794 grammes de substance séchée à 110°, traitée par

(1) La détermination de l'acide titanique fut faite suivant la méthode, légèrement modifiée, que vient d'indiquer Fraatz (A. VON GRODDECK, *Zur Kenntniss einiger Sericitgesteine*, etc., pp. 108, 109; *NEUES JAHRBUCH FÜR MIN.*, etc., Beilageband II). La silice contenant une partie de l'acide titanique fut fusionnée par le carbonate de soude; le titanate de soude, après avoir été bien lavé, fut dissous par l'acide chlorhydrique et l'acide titanique précipité par l'ammoniaque. Dans la solution contenant l'autre partie de l'acide titanique avec le fer, l'alumine, etc., ces substances furent précipitées par l'ammoniaque; le précipité fut dissous de nouveau dans l'acide chlorhydrique. On ajouta de l'acide tartrique en excès et de l'ammoniaque, et on précipita par le sulfure d'ammoniaque. La solution fut évaporée, le résidu fortement chauffé, fondu avec du bisulfate de potasse et dissous dans l'eau froide. En chauffant la solution étendue, l'acide titanique fut précipité, ajouté à la première partie, calciné et pesé.

l'acide nitrique, donna 0.0344 gr. de pyrophosphate de magnésie = 0.0220 gr. d'acide phosphorique.

VIII. 0.6510 gramme de substance séchée à 110°, calcinée, à l'aide de l'appareil de Kopfer, pendant une heure au rouge dans un courant d'oxygène, a donné 0.1147 gr. d'acide carbonique répondant à 0.03128 gr. de carbone.

[RENARD.]	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
SiO <sub>2</sub> . . . . .	55.82	—	—	—	—	—	—	55.82
TiO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	0.42	—	0.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	0.69	0.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	19.67	—	—	—	—	—	—	19.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.96	—	—	—	—	—	—	0.96
FeO . . . . .	—	—	4.18	—	—	—	—	4.18
MnO . . . . .	0.61	—	—	—	—	—	—	0.61
CaO . . . . .	—	8.42	—	—	—	—	—	8.42
MgO . . . . .	—	2.21	—	—	—	—	—	2.21
K <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	0.39	—	—	—	0.39
Na <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	1.42	—	—	—	1.42
H <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	—	2.29	—	—	2.29
C . . . . .	—	—	—	—	—	—	4.80	4.80

101.88

En calculant cette analyse, on obtient les chiffres suivants pour les minéraux dont la présence a été constatée dans la roche.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	C	SOMME.
GRAPHITE. C.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.80	4.80
APATITE. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 3CaO.	—	—	0.69	—	—	—	—	0.82	—	—	—	—	—	1.51
TITANITE. 2SiO <sub>2</sub> , CaO + 2TiO <sub>2</sub> , CaO.	0.31	0.42	—	—	—	—	—	0.29	—	—	—	—	—	1.02
GRENAT. 3SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO, MnO, CaO.	1.55	—	—	0.88	—	0.62	0.61	0.48	—	—	—	—	—	4.14
MICA. { 6SiO <sub>2</sub> , 3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, 2H <sub>2</sub> O. { 6SiO <sub>2</sub> , 3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O, 2H <sub>2</sub> O.	1.49 8.24	— —	— —	1.28 7.06	— —	— —	— —	— —	— —	0.39 —	— 1.42	0.15 0.82	— —	3.31 17.54
HORNBLÉNDE. nSiO <sub>2</sub> (Ca, Mg, Fe) O + m (Al, Fe) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	13.61	—	—	10.45	0.96	3.56	—	0.83	2.21	—	—	—	—	37.62
QUARTZ. SiO <sub>2</sub> .	30.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30.62
RESTE.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.32	—	1.32
SOMME. . . . .	55.82	0.42	0.69	19.67	0.96	4.18	0.61	8.42	2.21	0.39	1.42	2.29	4.80	101.88

Le calcul qui précède appuie les résultats obtenus par l'étude microscopique de la roche. Quant à la marche suivie pour calculer l'analyse, je ferai observer que l'acide titanique et l'acide phosphorique furent rapportés au sphène et à l'apatite; le manganèse à un grenat dont la formule est donnée par l'analyse de ce minéral. Toute la soude fut rapportée à un mica sodique et la potasse à un mica potassique, dont la formule a été considérée comme analogue à celle du mica sodique. Pour ce qui restait de chaux ainsi que pour la magnésie, et le protoxyde de fer, on calcula l'acide silicique correspondant; on y ajouta l'alumine et le peroxyde de fer, et l'on considéra toutes ces substances comme formant l'amphibole. L'excès de silice fut rapporté au quartz. La petite quantité d'eau en excès est vraisemblablement combinée en partie à de l'hydrate de fer; mais il est impossible d'avoir des données certaines à cet égard, et elle fut placée sous la rubrique *reste*.

L'accord que ces calculs montrent avec l'analyse microscopique est une preuve en faveur de la probabilité de nos déductions. Indiquons toutefois que dans cette évaluation on a dû rapporter à l'amphibole une assez grande quantité d'alumine; alors que les caractères physiques de ce minéral dans les roches sembleraient plutôt indiquer la présence d'une amphibole pauvre en alumine, l'actinote, par exemple. Malheureusement tous les efforts ont échoué lorsqu'on a essayé d'isoler ces fines lamelles amphiboliques pour les soumettre à une analyse spéciale, qui aurait permis de nous prononcer avec certitude sur ce point. Il se peut qu'il existe dans la masse de la roche analysée un silicate d'alumine, la pyrophyllite, par exemple, assez fréquente dans la région métamorphique des Ardennes; mais je n'ai pas pu en constater la présence, et je dois dire la même chose des minéraux du groupe de l'andalousite.

J'aborde maintenant l'examen des lames minces de la variété dont on vient de lire la description macroscopique.

Il faut généralement recourir à l'aide d'assez forts objectifs pour individualiser les éléments de la masse fondamentale; car la substance graphitique est intercalée entre chacun des grains constituant la pâte. Lorsque ceux-ci sont de petites dimensions, comme c'est ordinairement le cas, le graphite les enveloppe de toutes parts, au point qu'il est impossible de se rendre compte du contour de ces sections. L'aspect microscopique le plus ordinaire des variétés noires et à grains serrés, se voit reproduit sur la planche I, figure 1. Les petites parties incolores sont du quartz. Dès que ces roches

sont à grains plus gros, et la matière charbonneuse moins abondante, on distingue nettement que la pâte est surtout formée de grains de quartz; leurs contours sont irréguliers, quelquefois ils sont plus ou moins allongés et ils offrent une certaine orientation. Les grains les plus gros mesurent de 0.1 millimètre à 0.5 millimètre; ils sont associés à des granules de quartz beaucoup plus petits, disséminés entre les grandes sections du même minéral et intimement associés à des lamelles micacées très petites, incolores ou légèrement verdâtres, et irrégulièrement terminées.

Il paraît bien difficile de tracer une limite entre les grains de quartz que l'on doit considérer comme clastiques, et ceux qui se sont développés dans la roche par voie métamorphique. Cette difficulté se présente d'ailleurs dans presque toutes les roches de cette catégorie. Elle s'accroît ici en raison de la finesse du grain, de l'abondance de la matière graphitique, voilant les contours des minéraux associés, et des modifications profondes subies par la roche. Un caractère microscopique indiquant qu'une partie au moins du quartz est métamorphique, c'est qu'on le retrouve en inclusions dans les minéraux qui ont eux-mêmes cette origine, spécialement dans le minéral amphibolique. De plus les sections quartzeuses renferment souvent, comme inclusions, de petites lamelles micacées, qui me paraissent avoir été formées dans la phase où la roche a pris son caractère minéralogique actuel.

Un détail de microstructure sur lequel il est important d'attirer l'attention, c'est que les sections de quartz ne présentent presque jamais d'inclusions liquides. Cette observation tendrait, me paraît-il, à montrer que ces grains, en admettant qu'ils soient d'origine clastique, ont éprouvé des modifications moléculaires très intenses; car la présence de ces vacuoles avec liquide est une particularité assez constante pour les sections quartzeuses des roches anciennes. On serait donc amené à se demander si les conditions qui ont présidé au développement de tant de nouveaux minéraux formés aux dépens des matériaux primitifs, n'ont pas affecté profondément les grains de quartz d'origine clastique et modifié même la structure intime de ce minéral.

Après le quartz, c'est le *graphite* qui paraît jouer le rôle le plus considérable dans la masse. Ses caractères sont très saillants; il se trouve répandu comme une fine poussière entre tous les minéraux constitutifs. Il souligne les contours de toutes leurs sections, pénétrant entre les joints et les clivages, quelquefois inclus sous la forme de grains opaques microscopiques. Ces inclusions sont toutefois



assez rares dans les grandes sections de quartz et de grenat; plus fréquentes au contraire dans le minéral amphibolique. Souvent le graphite s'accumule en certains points et y forme des plages noires, opaques, irrégulières, réfléchissant fortement la lumière. Presque tous les cristaux de la roche, surtout ceux de grenat, sont comme tapissés d'un enduit de cette matière.

Quelquefois on observe le graphite sous la forme de paillettes hexagonales; lorsqu'elles sont taillées perpendiculairement à la base, elles se montrent comme des bâtonnets fusiformes allongés (voir pl. I, fig. 1). On voit par les sections que ces cristaux de graphite sont discoïdes. Ces bâtonnets ont de 0.1 à 0.2 millimètre de longueur sur 0,01 millimètre d'épaisseur. Ils sont généralement droits, quelquefois ils affectent une disposition en croissant. Lorsque ces cristaux de graphite sont taillés sur champ, on voit tout autour de la lamelle s'étendre une zone incolore ou légèrement jaunâtre de substance micacée unie à quelques granules quartzeux. Cet enduit transparent s'observe presque toujours autour des sections transverses; il contribue à augmenter l'éclat que présentent, à la lumière réfléchie, les lamelles de graphite. On dirait que la cristallisation de ce minéral a été accompagnée d'un retrait, et que l'espace laissé libre a été rempli après coup de substance micacée et quelquefois de quartz (1).

Le *grenat*, dont la présence constante et l'abondance constituent un des caractères distinctifs de cette variété, s'y montre toujours, peut-on dire, cristallisé sous la forme du rhombododécaèdre. Ces cristaux sont d'une netteté que l'on n'observe pas souvent pour ce minéral dans les roches métamorphiques. Les lignes terminatrices

(1) Nous avons déjà attiré l'attention sur les formes qui viennent d'être décrites; mais sans les reconnaître comme se rapportant au graphite (conf. A. RENARD et CH. DE LA VALLÉE, *Note sur l'ottrélite*; ANN. DE LA SOC. GÉOL. DE BELG., t. IV, Mém., p. 15). Les phyllades ardennais, les roches siluriennes du Brabant et celles de la zone métamorphique de Paliseul, sont souvent pailletés de petites lamelles extrêmement minces et brillantes, plus ou moins circulaires, qui rappellent en un mot les caractères macroscopiques des ottrélites types de la région d'Ottrez et de Serpont. Dumont doit avoir rapporté quelquefois à ce minéral ces lamelles luisantes, que je suis amené à considérer aujourd'hui comme du graphite. Quoiqu'elles possèdent jusqu'à un certain point l'aspect de l'ottrélite, elles s'en distinguent néanmoins par des dimensions plus petites, par une couleur plus foncée, par une dureté beaucoup plus faible. Les lames minces, où l'on peut surtout bien observer cette forme de graphite, sont celles du phyllade ottrélitifère de Rhode-Island et de certaines roches phylladeuses reviniennes des Ardennes françaises.

de ses sections sont fortement marquées par des lamelles de graphite appliquées sur les faces du cristal (voir pl. I, fig. 1). Cette substance semble s'être concentrée de préférence autour des cristaux de grenat, qu'elle tapisse d'un enduit assez épais, à peu près comme on voit les lamelles de chlorite s'appliquer sur les faces de cette espèce minérale. Ces grenats, taillés en lames minces, ont une teinte légèrement violâtre ou jaunâtre. Leur surface est chagrinée; ils sont parfaitement isotropes.

L'un des traits les plus caractéristiques de ces sections est l'interposition d'inclusions, qui se montrent dans chacun des cristaux, disposées avec une régularité mathématique. Ce fait présente une analogie, qu'il importe de noter, avec plusieurs espèces minérales des roches métamorphiques, telles que la staurotide, la chiasmotholite, l'andalousite, etc. Ces inclusions sont généralement alignées suivant les axes cristallographiques du grenat; les trois plans suivant lesquels elles sont réparties, se coupent régulièrement au centre du cristal. Dans les sections elles se traduisent par des lignes qui s'entre-croisent, et qui sont assez nettement indiquées pour être discernées à la loupe. Au microscope elles se montrent formées par des files d'inclusions plus ou moins prismatiques et orientées suivant l'axe cristallographique dont elles marquent la direction. Souvent elles sont distribuées dans les secteurs; mais alors même on remarque une orientation constante pour ces enclaves (voir pl. I, fig. 1).

Il est assez difficile de se prononcer sur la nature minéralogique de ces interpositions. Elles sont pour la grande majorité incolores, transparentes et biréfringentes; quelques-unes peuvent être rapportées à des grains irréguliers de quartz; d'autres, et c'est le cas le plus fréquent, me paraissent être du mica blanc. Leurs formes plus ou moins prismatiques, une tendance à la disposition lamellaire et au clivage suivant la base, semblent justifier cette détermination. Comme il a été dit plus haut, les matières charbonneuses ne sont pas fréquemment enclavées dans les grenats de cette variété de roche; c'est donc moins la nature minéralogique des inclusions que la régularité dans leur disposition, qui détermine le rapprochement, signalé tout à l'heure, entre ces grenats et les silicates alumineux des roches métamorphiques.

On ne peut voir dans aucune autre roche de plus bel exemple de la compénétration régulière d'inclusions dans un cristal. Il nous montre d'une manière remarquable comment des substances, différentes de forme et de composition, peuvent se développer *pari*

*passu*, l'une d'elles subissant l'orientation moléculaire du minéral englobant. Il nous montre en même temps que la substance des inclusions et celle qui constitue les cristaux, ont cristallisé d'une même solution qui donnait naissance à deux corps différents et homogènes l'un et l'autre, solution dont la nature n'a pas varié jusqu'à l'édification complète des grenats.

M. Rosenbusch (1) a fait remarquer déjà que les grenats des roches métamorphiques sont d'habitude riches en inclusions. Les conditions qui présidèrent à leur formation semblent exclure une stricte homogénéité. Le grenat est d'ailleurs un des minéraux où abondent souvent, sous forme d'inclusion, les espèces les plus diverses. On sait que dans ceux d'Auerbach, Knop (2) a signalé onze minéraux inclus. Ce savant démontra, en outre, que l'opinion de Scheerer tendant à considérer ces inclusions comme produites par *périmorphose*, n'était pas la vraie; que ces minéraux enclavés s'étaient, au contraire, développés en même temps que le cristal qui les renferme. Ce sont donc de véritables interpositions primaires, comme celles des grenats des roches taunusiennes.

Le minéral qui, après le grenat, joue un rôle important dans ces roches est l'*amphibole*. La variété de roche qui nous occupe n'est pas celle où l'élément amphibolique est le mieux développé: il s'y rencontre toutefois en individus assez nombreux et je réunis ici les détails principaux sur sa microstructure. On doit rapporter à l'amphibole le minéral allongé et fibreux qui abonde dans les roches taunusiennes grenatifères, et dont les petites lamelles bronzées sont répandues sporadiquement dans la masse. Il s'y montre tantôt sous la forme de cristaux isolés, tantôt sous celle de houppes fibreuses entrelacées et recourbées, dont on n'aperçoit nettement les contours qu'à l'aide du microscope. Les petites paillettes isolées sont brunes et luisantes, les houppes ont une teinte vert-jaunâtre.

Nous avons consacré à cet élément des roches métamorphiques quelques mots dans la notice sur l'Ottrelite (3). Certaines anomalies cristallographiques et optiques nous faisaient pencher alors vers l'opinion que ce minéral ne devait pas se rapporter à l'amphibole. Dumont cependant l'avait bien déterminé; mais il le

(1) ROSENBUSCH, *Phys. Min.*, p. 162.

(2) KNOP, *Ueber einige histologisch-merkwürdige Erscheinungen an Gang-Gesteinen*, etc. (N. J., p. 33, 1858).

(3) *Loc. cit.*, p. 65.

désigne tantôt sous le nom de hornblende, tantôt sous celui d'actinote; or, l'examen microscopique montre qu'il ne peut se rapporter qu'à une seule variété d'amphibole. On voit en effet dans les lames minces que tous les cristaux du minéral en question ont identiquement les mêmes caractères; on peut le constater dans les roches de teinte moins foncée, dans celles riches en grenats, comme dans celles fortement colorées par le graphite, ces cristaux soient-ils prismatiques ou recourbés, formés d'un groupe ou isolés, vert-jaunâtre ou noirs.

Comme on l'a dit dans la description macroscopique, ce minéral affecte toujours une disposition lamellaire. Ces lamelles ont une très faible épaisseur; car l'allongement ne se fait pas suivant l'arête  $\infty P_{\infty}$ ,  $\infty P_{\infty}$  ( $h'g'$ ), mais suivant l'orthodiagonale. Ces cristaux se présentent donc sous la forme d'hexagones, à pointements très aigus, où la face  $\infty P_{\infty}$  ( $h'$ ) est très développée; celles du prisme  $\infty P$  ( $mm$ ) le sont beaucoup moins et  $\infty P_{\infty}$  ( $g'$ ) manque. Presque toutes les sections montrent donc les clivages faciles suivant le prisme, indiqués par un réseau de lignes plus ou moins irrégulières, se croisant sous un angle d'environ  $124^{\circ}$  (voir pl. II, fig. 2). Cependant, comme on le dira plus loin, une plage est souvent composée d'un grand nombre de petits cristaux orientés avec leurs faces parallèles. Elle donne l'impression d'un cristal unique, et l'on serait assez porté à confondre les plans d'accolement avec les traces des clivages susmentionnés. Dans les sections plus rares suivant  $\infty P_{\infty}$  ( $h'$ ), on voit une disposition lamelleuse. Les extinctions pour les préparations taillées suivant  $\infty P_{\infty}$  ( $g'$ ) ne dépassent pas  $15^{\circ}$ . En lames minces, ces lamelles apparaissent colorées en vert pâle. Elles sont très sensiblement pléochroïques; on a

$\gamma >$	$\beta >$	$\alpha$
vert-bleuâtre	vert-jaunâtre	jaune-verdâtre.

Souvent ce minéral renferme des inclusions quartzеuses et tous ses traits sont soulignés par des traînées de substance graphitique; souvent aussi les lamelles en question sont échancrées et pénétrées par les grains de quartz de la masse. Ces sections présentent par places des noyaux fortement estompés dont la teinte va s'affaiblissant vers les bords. Ces points brunâtres sont très fréquents et caractéristiques, le pigment y est comme condensé: c'est un phénomène identique à ceux que nous montre souvent le mica noir (voir pl. II, fig. 1). La décomposition du minéral amphibolique se traduit par la présence d'enduits de limonite.

Il reste à dire un mot de certaines anomalies optiques qui pourraient induire en erreur sur le système cristallographique des lamelles en question. Au lieu d'éteindre perpendiculairement et parallèlement à la ligne qui joint les deux sommets aigus de l'hexagone, on observe souvent une extinction oblique. On trouve l'explication de ce fait dans les formes plus ou moins courbes qu'affectent ces sections; car, sauf pour les plus petits individus, ces lamelles sont presque toujours ployées.

En outre, quand on étudie les grandes plages de ce minéral, on est facilement porté à croire qu'elles sont maclées, alors qu'elles ne montrent en réalité qu'une agrégation plus ou moins régulière de lamelles conservant chacune leur individualité. Dans les lames minces, ces sections amphiboliques révèlent toujours la présence d'un grand nombre d'individus accolés, se compénétrant en quelque sorte. Cès lamelles apparaissant d'habitude dans les sections sous la forme d'hexagones allongés orientés parallèlement, les lignes terminatrices de chaque individu reproduisent exactement l'angle du prisme et semblent ainsi se confondre avec les traces des cli-vages des individus voisins. En lumière ordinaire on croit voir un cristal unique; mais, dès qu'on l'étudie à la lumière polarisée, comme chaque individu du groupe n'a pas ses axes rigoureusement parallèles, qu'il règne certaine irrégularité dans ces entrecroisements en faisceau, la plage ne s'éteint pas uniformément sur toute son étendue, et l'on voit des parties terminées par des lignes, que l'on prendrait à première vue pour les traces des plans de macles, éteindre symétriquement à 5 ou 6°.

Quoique ce minéral amphibolique soit généralement assez bien individualisé, on le trouve cependant quelquefois avec des formes embryonnaires indiquant, jusqu'à un certain point, la résistance qu'opposait le milieu où s'effectuait la cristallisation. Les plages dont il est question sont plus ou moins lamelleuses, faiblement colorées, dichroïques, aux contours vagues. Le pigment graphitique s'est accumulé entre toutes les fibres plus ou moins ondulées. A la lumière polarisée, on voit que ces taches, souvent très irrégulières et entre-croisées en tous sens par des traînées de graphite, sont formées par des fibres cristallines accolées (voir pl. I, fig. 2).

La description du minéral amphibolique sera complétée plus loin, lorsqu'on parlera de la variété riche en amphibole. Tous les caractères que nous avons indiqués tendraient à faire admettre que c'est l'actinote qui est représentée dans ces roches; mais, comme je

l'ai déjà fait remarquer, la teneur élevée en alumine accusée par les analyses, ne paraîtrait pas conciliable avec la présence de cette variété d'amphibole.

La *titanite* apparaît assez rarement dans les lames minces; ce minéral est surtout associé à la titanomorphite et au fer titané. Il est rare de découvrir dans ces roches des sections rhombiques ou hexagonales de titanite; d'habitude ces sections sont irrégulières, encadrées de noir; elles apparaissent comme en relief et sont traversées par des fissures; leur surface est chagrinée; elles sont presque incolores ou légèrement teintées en jaune, peu pléochroïques. Les teintes de polarisation ne sont pas intenses; entre nicols croisés, elles prennent une coloration foncée jaune-brunâtre.

Le *fer titané* est en granules irréguliers, noir opaque, quelquefois entourés du produit de décomposition blanchâtre, qui, d'après les recherches de M. Cathrein, doit se rapporter, ainsi que la titanomorphite, à la titanite (1).

Le mica *biotite* se montre sous la forme de petites sections noir-brunâtre, mal individualisées, fortement polychroïques, mais trop petites pour qu'on puisse observer leurs propriétés optiques en lumière convergente. Le dichroscopisme intense de ces lamelles ne permet guère de les considérer comme de la bastonite. Je suis porté à attribuer à cette substance micacée une origine métamorphique.

Le mica *blanc* est généralement plus dissimulé encore dans la roche que les lamelles brunes. Souvent il est inclus dans le quartz ou intimement associé à ce minéral, et l'on distingue à peine ces petites écailles micacées et incolores. A la lumière polarisée cependant, on voit presque partout se détacher des sections quartzeuses des paillettes microscopiques qui offrent les caractères du mica blanc.

On constate encore au microscope la présence du *zircon* et de l'*apatite*; ces minéraux sont assez rares. Je n'ai point observé de rutile ni de tourmaline.

La description qui suit est celle des roches moins compactes et de teinte moins foncée, que Dumont désignait sous les noms de *quartzite* et *eurile actinotifère et hornblendifère*. Ces dénominations

(1) A. CATHREIN, *Ueber Titaneisen, Leukoxen und Titanomorphit* (ZEITSCHRIFT FÜR KRYSTALLOGRAPHIE UND MINERALOGIE, IV, 2, 1879).

tions ne peuvent pas être maintenues telles que le savant géologue les avait établies ; car, ainsi qu'il a déjà été dit, la présence dans ces roches d'une matière feldspathique est pour le moins douteuse, et le minéral appelé par Dumont tantôt actinote et tantôt hornblende ne doit être rapporté qu'à une seule variété du groupe amphibolique.

Les roches dont il est question maintenant, sont grisâtres ou légèrement noirâtres ; elles se distinguent donc des précédentes par une teinte moins foncée, surtout par un grain moins compacte et par la prédominance du minéral amphibolique sur le grenat. Ces échantillons grisâtres sont souvent tachetés de vert, leur texture est granitoïde. A l'œil nu, on distingue des grains de quartz blanc ou blanc-jaunâtre de 3 à 4 millimètres, des plages verdâtres de 1 millimètre de largeur sur 4 à 5 millimètres de long, qui sont de l'amphibole formée de fibres soyeuses légèrement ployées, à reflet métalloïde. Certaines parties d'aspect farineux, ressemblant à du feldspath altéré, doivent être rapportées au grenat. Ce minéral a cristallisé ici d'une manière très vague ; il renferme de nombreuses inclusions quartzeuses qui forment souvent la moitié de sa masse ; de là l'aspect particulier qu'affecte ici le grenat. La cassure de la roche est légèrement conchoïde ; son éclat est mat ou cireux. Les esquilles en sont difficilement fusibles en verre blanc, les cristaux d'amphibole, au contraire, fondent facilement en une scorie noire vitreuse. En se décomposant la roche se recouvre d'une couche d'altération blanc-jaunâtre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, qui se désagrège facilement en une poudre quartzeuse très fine.

L'analyse qui suit est celle d'un échantillon type de cette variété, recueilli à Ourt.

I. 0.9842 gramme de substance séchée à 110°, fusionnée d'après la méthode de Sipöcz par les carbonates de soude et de potasse, donna 0.0155 gr. d'eau, 0.6825 gr. de silice, 0.1188 gr. d'alumine, 0.0703 gr. de peroxyde de fer, 0.0758 gr. de chaux et 0.0809 gr. de pyrophosphate de magnésie répondant à 0.02915 gr. de magnésie.

II. 0.9569 gramme de substance séchée à 110°, attaquée par l'acide fluorhydrique, donna 0.0075 gr. de chlorure de sodium répondant à 0.00398 gr. de soude.

III. 0.9278 gramme de substance séchée à 110°, traitée en tube scellé par l'acide fluorhydrique et sulfurique, fut titrée par le permanganate de potasse (1 c. c. = 0.005235 gr. de protoxyde de fer).

On employa 8.4 c. c., ce qui répond à 0.04397 gr. de protoxyde de fer.

[KLEMENT.]	I.	II.	III.	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	69.34	—	—	69.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	12.07	—	—	12.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1.88	—	—	1.88
FeO . . . . .	—	—	4.74	4.74
CaO . . . . .	7.70	—	—	7.70
MgO . . . . .	2.96	—	—	2.96
Na <sub>2</sub> O . . . . .	—	0.40	—	0.40
H <sub>2</sub> O . . . . .	1.57	—	—	1.57
				<hr/> 100.66

En calculant cette analyse, on obtient les chiffres suivants pour les minéraux qui constituent essentiellement cette roche.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	SOMME.
HORNBLENDE. nSiO <sub>2</sub> , RO + mR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	16.98	12.07	1.88	4.74	7.70	2.96	0.40	—	46.73
QUARTZ. SiO <sub>2</sub> .	52.36	—	—	—	—	—	—	—	52.36
RESTE.	—	—	—	—	—	—	—	1.57	1.57
SOMME . . .	69.34	12.07	1.88	4.74	7.70	2.96	0.40	1.57	100.66

L'examen microscopique ayant montré que la roche en question est constituée essentiellement de quartz et d'amphibole, le calcul de cette analyse ne porte que sur ces deux minéraux. Voici la marche suivie dans cette évaluation : pour former de l'amphibole, on calcula la silice répondant aux quantités trouvées de FeO, CaO, MgO et Na<sub>2</sub>O ; à la somme de la silice et des bases on ajouta l'alumine et le peroxyde de fer. L'excès de silice fut envisagé comme quartz. Quant à l'eau, elle pourrait appartenir au mica que l'on observe en petite quantité, ou bien être combinée au peroxyde de fer. On voit souvent, en effet, près des sections d'amphibole, des taches brunâtres, qui doivent être considérées comme provenant de l'hydratation du fer.



La masse fondamentale est essentiellement composée de *quartz* dont les plages sont, en général, plus grandes que dans la variété décrite plus haut. Le *graphite* n'y tapisse pas les minéraux constitutifs; il est isolé en granules ou en filonnets plus ou moins irréguliers. Les contours des grains quartzeux sont vagues, ils se fondent les uns dans les autres; remarquons qu'ils ne contiennent pas d'enclaves liquides. A côté de ces granules assez grands, visibles à l'œil nu, le microscope en montre d'autres, beaucoup plus petits, qui forment, peut-on dire, la pâte dans laquelle les premiers sont comme enchâssés. Toute la masse paraît pailletée de petites lamelles incolores, qui peuvent se rapporter au mica blanc.

L'*amphibole* se présente d'habitude sous la forme de gerbes composées d'un très grand nombre de fibres entrelacées. Ces faisceaux sont souvent courbes et les fibres qui les composent sont comme tordues, fendillées perpendiculairement à la longueur, elles s'étalent en éventail aux deux extrémités de la gerbe. Il est plus rare de voir ici des cristaux d'amphibole simples et d'observer les petites sections hexagonales avec clivage prismatique, si fréquentes dans la variété riche en grenat et en graphite. Presque toujours les plages du minéral en question sont assez grandes et visibles à l'œil nu. Souvent les sections sont lamelleuses; presque dans tous les cas elles sont tachetées par un grand nombre de points noirs arrondis, aux bords estompés, qui absorbent fortement la lumière (voir pour cette description pl. II, fig. 1). Les propriétés optiques sont les mêmes que celles qu'on a indiquées dans la description précédente. On dirait qu'ici l'amphibole se décompose plus facilement; elle est souvent recouverte d'oxyde de fer hydraté et revêt une teinte plus jaune. Dans ces sections, on découvre beaucoup d'enclaves quartzeuses, souvent aussi des granules noirs qui peuvent être du graphite, du fer oligiste ou du fer titané. Le minéral amphibolique n'est jamais en inclusion dans le grenat; on voit au contraire que celui-ci est souvent plus ou moins enveloppé par le premier, qui paraît mouler tous les éléments constitutifs de la roche.

Le *grenat* offre rarement, dans cette variété, les formes régulières qui dominent dans la roche décrite précédemment. Si les sections montrent quelquefois des contours cristallographiques, il est rare qu'ils soient complets; des échancrures profondes pénètrent à l'intérieur du cristal. D'ordinaire ce minéral est représenté, dans les lames minces, par des plages frangées et criblées d'inclusions quartzeuses, qui forment au moins la moitié de la masse (voir pl. II,

fig. 2). Les files de minéraux interposés suivant les axes cristallins manquent ici. On découvre à la lumière polarisée de petits grains à contours vagues, isolés dans la masse fondamentale, et dont l'isotropie permet de les rattacher au grenat.

L'*apatite* en petits prismes hexagonaux, le *zircon* en cristaux plus ou moins arrondis, l'*oligiste* en granules noirs transparents avec teinte rouge sur les bords, le *fer titané* entouré de son produit de décomposition habituel, le *graphite* et le *mica* noir jouent le rôle de minéraux secondaires.

Signalons encore un détail de microstructure. On voit dans les lames minces des plages isolées de 4 à 6 millimètres, nettement séparées de la masse entourante. Elles ressemblent à ce que les géologues allemands désignent sous le nom de *nœuds* (*Knoten*). Ces concrétions, très fréquentes dans les roches métamorphiques, sont dans notre cas un peu plus foncées que la masse fondamentale; les matières charbonneuses y sont disséminées sous la forme d'une fine poussière. Elles sont formées essentiellement de petits grains quartzeux, pailletés de mica. La biotite y est relativement abondante, l'amphibole y est rare, le grenat manque.

Une troisième variété de roche grenatifère a été indiquée par Dumont et désignée sous le nom de *phyllade grenatifère*. C'est une roche stratoïde à cassure droite, inégale, noir-bleuâtre foncé, subcompacte, quelquefois un peu brunâtre, à poussière de même couleur et à raclure luisante, ou d'un gris foncé à poussière gris pâle et à raclure terne, aisément fusible avec bouillonnement en globule noir-brunâtre terne et attirable à l'aimant. Les grenats y sont translucides, jaune-brunâtre. D'après Dumont, ces roches renferment souvent de la chlorite en masses lamellaires vert sombre de quelques millimètres, et des fossiles plus ou moins bien conservés, dont les cavités donnent au phyllade une structure celluleuse. Il a trouvé ce phyllade fossilifère en fragments entre Corbainville et Remi-Champagne. Par altération, le phyllade grenatifère devient terreux brunâtre, tendre et friable, et les grenats y sont souvent désagrégés (1). Nous n'avons rien à ajouter à cette description macroscopique, sauf que dans mes échantillons je n'ai pu identifier la chlorite avec certitude.

La figure 2, planche III, représente la microstructure d'un de ces phyllades grenatifères; l'échantillon figuré est de Bastogne. La

(1) *Loc. cit.*, p. 143.

masse fondamentale incolore est voilée par une infinité de petites paillettes n'atteignant guère 0.01 millimètre. Elles sont incolores ou légèrement teintées en vert sale, sensiblement dichroscopiques; elles polarisent faiblement avec teinte bleu pâle. Leur forme vaguement indiquée est plus ou moins prismatique; on entrevoit une structure lamellaire. Je n'y ai pas découvert d'une manière nette ce caractère fibreux, radié, à éléments non parallèles, propre à la chlorite. La substance incolore qui renferme ces lamelles paraît se comporter en certains points comme une matière isotrope. Les minéraux, qui donnent à cette masse une structure microporphyrrique sont le grenat, la biotite et le graphite. L'amphibole est rare dans les roches de cette catégorie.

Sauf certaines particularités de structure, sur lesquelles j'insisterai plus loin, les sections de *grenat* offrent les mêmes caractères que dans les variétés de roches précédemment décrites. On n'y voit pas cependant les inclusions aussi parfaitement orientées; elles se sont plutôt concentrées vers le milieu du cristal; notons aussi que le graphite lamellaire est souvent enclavé dans le grenat. Le mica noir est très fréquent dans ces roches phylladeuses; ses lamelles brunes ou noires, très dichroscopiques, sont quelquefois plus ou moins circulaires; mais ordinairement elles sont fortement échan-crées, avec solutions de continuité et contours extrêmement irréguliers. Le *graphite* y est cristallisé, il se montre sous la forme de sections prismatiques, quelquefois orientées et enduites de matière micacée. On constate aussi pour ces phyllades à grenat que les matières charbonneuses ne sont pas disséminées par toute la masse; elles se sont concentrées en certains points. Ces plages opaques renfermant assez bien de paillettes de mica noir, sont parfaitement isolées et affectent souvent des formes elliptiques ou zonaires.

Ces roches phylladeuses passent au grès ou au quartzite, par l'adjonction de grains quartzeux. L'élément phylladeux s'élimine à mesure que le quartz vient à dominer, mais presque toujours on en découvre encore des filaments intercalés entre les sections de ce minéral.

On a fait observer plus haut que souvent les roches massives des deux variétés décrites, surtout celles riches en grenat, sont accolées à des parties plus phylladeuses ou schisteuses, et que la ligne de jonction séparant les deux roches est parfaitement marquée. Le choc du marteau détermine presque toujours la rupture des échantillons suivant ce joint. La planche III, figure 2, est consacrée à représenter l'aspect microscopique de fragments taillés de manière

à offrir la roche massive et la partie phylladeuse juxtaposées. Cette préparation nous montre en outre des particularités qui méritent d'être relevées.

La roche, dont une section est figurée planche III, figure 2, fut recueillie près de Bastogne. La zone représentée à la partie supérieure du dessin est essentiellement quartzeuse, le graphite y est abondant et forme des mailles entourant les sections de quartz et de grenat. La partie inférieure, de teinte moins foncée et dont les éléments de la masse sont beaucoup plus petits, possède, ainsi qu'on vient de le dire, la structure et la composition des roches que Dumont nomme phyllades grenatifères. On voit le long de la ligne de jonction, la zone phylladeuse s'infiltrer dans celle où domine le quartz et se confondre insensiblement avec celle-ci. Les caractères de ces roches ayant été décrits, je ne m'y arrêterai pas; mais les sections de grenat de la zone phylladeuse offrent un détail intéressant à signaler.

Les *grenats*, dont les plus grands peuvent atteindre 3 millimètres, sont très régulièrement développés; on le voit aux contours géométriques des cristaux sectionnés. Quel que soit le sens suivant lequel le cristal ait été entamé, on remarque pour tous les individus de la plage figurée, qu'ils sont traversés par des joints rectilignes. Ces joints sont non seulement parallèles entre eux pour un seul cristal, mais pour toutes les sections du même minéral indistinctement. Ces fissures nettement accusées ne peuvent en aucune façon être considérées comme des lignes de clivage; le système cristallin du minéral s'y oppose. D'un autre côté l'orientation de ces fissures, qui retiennent leur parallélisme pour toutes les sections indépendamment de leurs formes externes, démontre à son tour que cette interprétation n'est pas admissible. Ce fait, si nettement exprimé dans cette lame mince, s'explique par les actions mécaniques, qui ont agi sur les roches après qu'elles avaient déjà été métamorphosées. Les grenats, enchâssés au sein de la masse phylladeuse, auront subi avec celle-ci l'influence de la pression et se seront brisés en lamelles parallèles. Les petites paillettes de la masse fondamentale sont elles-mêmes orientées plus ou moins parallèlement aux joints des cristaux de grenat.

J'aurai d'ailleurs à revenir bientôt sur cet ordre de faits; des cas analogues ne sont pas isolés dans ces roches. Il en est dont les lames minces nous montrent de véritables brèches, composées de fragments anguleux, qui ont été comme broyés sous l'effort mécanique et resoudés ensuite. Mais il importe de ne pas confondre ces

faits avec ceux que peuvent offrir quelquefois la localisation et le concrétionnement, si je puis m'exprimer ainsi, des matières charbonneuses. L'explication de la planche III, figure 1, viendra à l'appui de ce que j'avance.

La préparation figurée montre, comme la précédente, deux zones d'aspect différent; toutefois dans ce cas la nature minéralogique de la roche est la même pour la partie moins foncée et pour la partie opaque. On serait tenté, à l'aspect de ces filonnets incolores ramifiés et courbés en tous sens, de voir dans cette plage une portion de la roche dont les ondulations indiqueraient l'effet d'un laminage; mais il me paraît que cette structure est déterminée uniquement par la concentration et le concrétionnement des matières charbonneuses. On peut observer que l'un des caractères de ces roches métamorphiques, caractère qu'elles présentent avec toutes leurs congénères, se trouve dans la localisation des substances pigmentaires. Dans notre cas c'est le graphite qui joue le rôle de pigment. Si l'on examine au microscope la partie foncée de la préparation, on y voit pénétrer les cristaux d'amphibole de la zone inférieure. Ils s'y retrouvent en gerbes recourbées comme dans les variétés étudiées plus haut, et le ploïement de ces cristaux ne peut être interprété autrement que par une tendance naturelle que montre ce minéral à cristalliser ainsi dans ces roches. Il ne faut donc pas faire appel à des actions mécaniques pour expliquer les formes courbes du minéral amphibolique. Le graphite présente cette allure capricieuse, si fréquente dans les minéraux concrétionnés. Il voile par son accumulation la masse fondamentale où domine une pâte phylladeuse analogue à celle de la partie adjacente moins foncée. Le minéral, qui s'est surtout développé au sein de la masse opaque, est la titanite. Les filonnets incolores qui sillonnent la plage graphitique sont de beaux exemples de *filons primaires* entendus au sens de M. Lossen. Ils ont la même composition minéralogique et la même structure que celles que la roche a prises sous l'influence du métamorphisme. La partie incolore est plutôt formée de matière micacée que de quartz; de petits cristaux d'amphibole pénètrent ces filonnets; ils sont identiques à ceux qui se sont développés dans la partie adjacente. On y trouve aussi de petites lamelles de mica noir.

Il reste à envisager les questions relatives aux causes qui ont déterminé le métamorphisme dans les couches des environs de

Bastogne. Je suis loin de me dissimuler, comme je l'ai dit en commençant cette notice, que l'examen de ces problèmes compliqués puisse se faire au seul point de vue lithologique. Le levé géologique détaillé de cette région doit à son tour fournir des éléments importants à la discussion: c'est alors seulement qu'abordant la question de plusieurs côtés à la fois, on pourra se prononcer avec plus de certitude sur les agents qui ont été en jeu dans la transformation de ces couches. Toutefois l'état de nos connaissances actuelles sur ces roches grenatifères et amphiboliques permet déjà de faire entrevoir quelques-unes des conditions qui ont présidé au métamorphisme du terrain taunusien. Comme les vues auxquelles je suis amené sur la cause des modifications du massif de Bastogne s'écartent notablement des opinions de Dumont, j'exposerai la manière de voir de ce savant, telle qu'elle ressort de l'étude de ses travaux, et je la discuterai. Mais avant tout, demandons-nous quelles sont les raisons qui militent en faveur de la nature métamorphique de ces roches (1)?

Dumont, guidé par l'étude stratigraphique de la région et par les caractères lithologiques, a observé que, dans la presqu'île de Bastogne, le grès taunusien, massif ou stratoïde, compris dans la zone métamorphique de Paliseul, se transforme graduellement en quartzite grisâtre et quelquefois en grès et quartzite bastonifère et qu'il passe aux variétés grenatifères et amphiboliques.

La présence des restes organiques, qui se retrouvent même au milieu des couches où les modifications ont laissé la plus profonde empreinte, vient à son tour nous montrer avec la dernière évidence l'influence métamorphique à laquelle le terrain fut soumis. Il n'est pas permis d'admettre que ces masses fossilifères aient possédé à l'origine les caractères minéralogiques que nous leur voyons aujourd'hui. Quel partisan de la *cristallisation directe* ou de la *diagénèse* oserait soutenir que ces organismes vivaient dans un océan dont les sédiments se transformaient en partie en grenat et en amphibole!

Ces fossiles nous indiquent, en outre, l'âge des couches qui les renferment; elles sont taunusiennes, elles appartiennent donc au dévonien inférieur. Or, c'est précisément dans le prolongement de ce terrain en Allemagne que Dumont retrouve les traces d'un méta-

(1) Il me paraît inutile d'insister sur le fait que ces roches ne peuvent être groupées ni avec les schistes cristallins du terrain azoïque, ni avec les roches pyrogènes. L'ensemble de leurs caractères s'oppose à ce rapprochement.

morphismes intense. Cette interprétation du métamorphisme des roches taunusiennes de la rive gauche du Rhin a reçu depuis la plus belle confirmation par l'important travail que M. Lossen a consacré à cette région (1). En Allemagne comme en Belgique les roches taunusiennes cristallines ou héli-cristallines, qui relient celles-là aux roches normales, sont tellement associées lithologiquement et stratigraphiquement aux grès, aux grauwackes, aux schistes argileux, etc., qu'on est nécessairement conduit à considérer les premières comme ayant été formées en même temps que les couches qui les renferment, et à attribuer leur faciès spécial à des modifications postérieures au dépôt.

Non seulement l'examen stratigraphique et macroscopique range ces masses minérales parmi les roches métamorphiques; mais l'étude au microscope, dévoilant leur structure intime et leur composition minéralogique, vient à son tour confirmer cette détermination. Les minéraux constitutifs de ces roches peuvent se diviser en deux groupes : ceux d'origine clastique et ceux formés par les actions physico-chimiques engendrant le métamorphisme. On retrouve, en effet, dans les lames minces, une partie des éléments primitifs, qui ont conservé quelques-uns des traits qu'ils possédaient avant la transformation du sédiment. Les grains de quartz, par exemple, ont encore la plus grande analogie de forme avec ceux des roches taunusiennes normales. La présence du graphite vient aussi montrer les relations de ces roches avec celles qui sont considérées comme types parmi les masses métamorphiques. On sait que, dans les couches soumises aux

(1) C. LOSSEN, *Geognostische Beschreibung der linksrheinischen Fortsetzung des Taunus in der östlichen Hälfte des Kreises Kreuznach, nebst einleitenden Bemerkungen über das « Taunus-Gebirge » als geognostisches Ganzes* (Z. d. d. g. G., XIX, p. 509, 1867). Après la publication de ce mémoire, Koch a repris l'étude de cette région, et il a été amené à voir dans une partie des schistes taunusiens, des couches qu'il rapportait au terrain cambrien ou huronien; l'examen pétrographique que fit M. Wichmann des matériaux réunis par Koch, semblait confirmer l'interprétation de ce dernier. Je renvoie pour l'appréciation de ces vues à la réponse que fit M. Lossen aux objections soulevées contre l'interprétation de Dumont et contre celle qu'il avait lui-même appuyée et développée (*Zeitsch. d. d. g. G.*, p. 341, 1877). Enfin Koch, se fondant sur des raisons stratigraphiques, a avancé que ces roches sont au moins antérieures au dévonien inférieur. Sur la carte géologique prussienne elles sont indiquées, on ne voit pas trop pourquoi, comme siluriennes ou cambriennes. Mais il est bien évident que cette dernière interprétation de Koch et celle traduite par la carte officielle ne prouvent rien contre l'opinion qui voit dans ces couches des roches métamorphiques.

agents métamorphiques, les matières charbonneuses en perdant une partie de leurs éléments constitutifs, se transforment en anthracite et en graphite. Quand les formes végétales sont effacées, les combinaisons charbonneuses que ces roches renferment, nous indiquent que des restes organiques entraînent dans la composition du sédiment modifié. Les schistes micacés d'Airolo ont trop d'analogie au point de vue de la composition minéralogique avec les roches de Bastogne pour ne point en faire ici le rapprochement. Ces schistes, parsemés de grenats et de longs prismes d'amphibole, contiennent, d'après la détermination de M. Daubrée, jusqu'à 5 % de carbone (1). On a insisté plus haut sur le fait que les roches à chialolithé, à staurolite, à andalousite, ainsi donc les roches métamorphiques par excellence peut-on dire, sont toutes caractérisées par la présence du graphite et par la concentration de cette matière. D'ailleurs cette concentration, ce concrétionnement des substances pigmentaires d'origine organique ou inorganique sont eux-mêmes très significatifs pour les roches de cette nature. Ces veines et ces formes noduleuses de graphite, que nous avons signalées et figurées, ne sont-elles pas à mettre en parallèle avec les filonnets d'antraconite qui s'isolent dès que le calcaire passe à l'état saccharoïde? C'est ainsi que dans le Harz, le calcaire noir de Haserode, transformé en marbre blanc saccharoïde au contact du granite, est sillonné de veines de matière charbonneuse et chargé de grenat grossulaire (2). On trouve en outre que dans ces roches les minéraux produits par le métamorphisme appartiennent bien aux espèces qui caractérisent d'ordinaire les roches dont la nature métamorphique est mise hors de doute. Les roches amphiboliques et grenatifères du terrain taunusien sont à rapprocher, à ce point de vue, des calcaires fossilifères de Brevig renfermant de la parenthine et du grenat, de ceux de Gjellebeck avec amphibole et épidote. Dans les Vosges, les roches

(1) DAUBRÉE, *Études et expériences synthétiques sur le métamorphisme et sur la formation des roches cristallines* (MÉM. DES SAV. ÉTR. DE L'AC. DES SCIENC., t. XVII, p. 64, 1862).

(2) LOSSEN, *Z. d. d. g. G.*, p. 206, 1877. On pourrait objecter que le rapprochement que je viens de faire est pris dans une zone de contact; alors que les conclusions de ce travail tendent plutôt à admettre d'autres agents que les masses éruptives comme cause du métamorphisme des roches de Bastogne. Mais pour qui se rappelle les analogies, je dirai presque la similitude complète, des modifications par contact des roches éruptives et de celles produites par le métamorphisme régional, cet exemple et ceux que je citerai plus loin conservent toute leur valeur.



de Rothau sont amphiboliques et les polypiers y ont été remplacés, sans être déformés, par des cristaux d'amphibole, de grenat et d'axinite (1). Citons encore le fer magnétique grenatifère avec tiges de crinoïdes de Spitzenberg (2) entre Altenau et Harzburg; et les schistes du Col de Nuffene, qui renferment en même temps des grenats et des restes de bélemnites (3). Ces rapprochements se rapportent surtout aux minéraux qui jouent le rôle essentiel dans les roches de Bastogne. Quant au quartz d'origine secondaire, au mica blanc et noir, leur présence est un fait tellement constant dans les massifs métamorphiques qu'il est inutile de donner des exemples, tant ils abondent.

Ces preuves multiples tirées de la stratigraphie, de la composition minéralogique de la structure et des analogies, que l'on vient d'établir, sont bien de nature, me paraît-il, à faire admettre que le *facies* actuel de ces roches doit être attribué aux actions métamorphiques, quelles que soient les causes qui puissent les avoir déterminées.

Dumont a donc parfaitement reconnu le caractère spécial de ces roches; mais on doit se demander si sa manière de voir relativement aux agents qui les modifièrent, peut se concilier avec les faits observés. Il ne s'est pas exprimé d'une manière formelle sur ce point; mais il n'est pas difficile de reconstituer, par l'étude de son mémoire, les vues théoriques, qu'il appliquait aux phénomènes métamorphiques de la zone de Paliseul et de la région de Bastogne en particulier (4). Dans sa description des roches métamorphiques du Brabant, où les couches siluriennes ont subi des modifications ayant tant d'analogies avec celles du terrain gedinnien et coblent-

(1) *Annales des Mines*, 5<sup>e</sup> série, t. XII, p. 318.

(2) LOSSEN, *Z. d. d. g. G.*, p. 206, 1877.

(3) BISCHOF, *Lehrb. der phys. und chem. Geologie*, t. II, p. 584.

(4) Parlant des filons quartzeux, qui sillonnent en tous sens les roches taunusiennes, Dumont revient à plusieurs reprises sur l'aspect particulier de ces veines. Dans la zone de Paliseul, elles sont, dit-il, *comme fendillées par la chaleur*. Ces filons quartzeux, qu'on observe dans beaucoup de massifs métamorphiques, sont à leur tour une preuve des modifications qui affectèrent les roches de cette région. Partout on voit les couches de l'étage taunusien traversées par ces filons qui renferment, dans la zone métamorphique, de la bastonite, de l'orthose (?) et quelquefois de l'oligiste. Ces veines sont formées de quartz compacte, caverneux, vitreux et gras, blanc et translucide. Dans les environs de Bastogne, ils sont si nombreux que le sol est jonché de leurs débris (conf. DUMONT, *loc. cit.*, p. 228).

zien de la zone de Paliseul, il est porté à admettre que de puissantes masses plutoniennes sous-jacentes ont injecté, à l'état incandescent, des filons qui se sont refroidis lentement. Comme ces filons éruptifs sont souvent très étroits et qu'il admet que leur solidification s'est opérée avec lenteur, il conclut que les roches encaissantes devaient être à une température élevée, favorisant les mouvements moléculaires. Sous l'influence des masses ignées sous-jacentes, il se serait ainsi opéré dans les couches une espèce de cémentation. C'est de cette manière qu'il explique l'imprégnation de feldspath, que l'on remarque au contact des roches porphyriques. Sous l'influence de la même cause, les roches schisteuses ont peut-être fourni au porphyre schistoïde et à la roche, qu'il nomme albite phylladifère, une partie des matières phylliteuses qu'ils contiennent. La chaleur a pu aussi modifier la texture des roches sédimentaires et elle y aura déterminé la formation des minéraux nouveaux, tels que l'aimant, l'ottrélite, l'orthose et la chlorite (1).

Dans la description de la zone métamorphique du Taunus, il revient d'une manière plus explicite encore sur cette interprétation. Il constate des modifications métamorphiques dans une zone orientée du S.-O. au N.-E. parallèlement à la ligne de soulèvement du Bingerwald et du Taunus, principalement autour de quatre centres d'action situés vers Hermeskeil, Gebroth, Wiesbaden et Königstein. Elles sont, d'après lui, contemporaines d'éruptions ignées. « Mais, ajoute-t-il, il est à remarquer que vers les points où » les agents de métamorphose se sont épuisés en éjaculations, les » modifications ont été ordinairement moins grandes que vers ceux » où ils n'ont pu se faire jour (2). »

Les relations qui existaient pour Dumont entre les couches du Brabant et celles de la zone de Paliseul, la nature des modifications qu'il signale dans les deux régions, la présence des roches porphyriques et schistoïdes à feldspath et à amphibole qu'il indique à la Meuse dans le prolongement des roches bastoniennes, permettent de penser qu'il admettait pour expliquer le métamorphisme de la zone de Paliseul, des causes identiques à celles dont il voyait l'action en Brabant et dans le Taunus.

Dumont admettait donc que les roches métamorphiques ont cristallisé après avoir été ramollies et peut être imbibées par les masses ignées voisines ou sous-jacentes. On voit par le passage

(1) DUMONT, *loc. cit.*, p. 317.

(2) DUMONT, *loc. cit.*, p. 386

relatif aux roches du Brabant, où il parle de l'échange de matière phylliteuse entre les roches éruptives et les roches adjacentes, que ce savant penchait vers la théorie de l'*endomorphisme*, professée de son temps par Fournet. En résumé les phénomènes métamorphiques de ces diverses régions sont pour lui les effets d'une cause unique : l'influence des roches ignées sur les couches de contact. Mais cette interprétation peut-elle s'appliquer quand il s'agit d'expliquer les modifications qui affectent des massifs aussi étendus que le Brabant et l'Ardenne? cette manière de voir rend-elle compte de la dissémination et de l'agencement de l'ottrélite, de la bastonite, du mica, du grenat, de l'amphibole, etc.?

Aucune raison ne milite en faveur du ramollissement de ces roches par la chaleur, au contraire on reconnaît même qu'elles n'ont jamais été à une température élevée (1). Au fond, dans la pensée de Dumont, toutes ces modifications sont produites par *métamorphisme de contact*. Mais dans le cas des roches de Bastogne, les filons éruptifs, qui auraient agi comme cause métamorphosante, n'apparaissent nulle part, et si l'on veut voir dans les roches feldspathiques et amphiboliques de la Meuse des masses ignées qui provoqueraient la transformation de la zone de Paliseul, on ne comprend pas pourquoi, en raison des lois de la chaleur et de la faible conductibilité des roches, les modifications les plus intenses se soient produites dans les couches de Bastogne; elles devraient y être incomparablement moindres en raison de leur éloignement du centre d'action (2). Cette immense zone de

en DE  
Dumont

(1) Non seulement on n'observe aucune trace de fusion dans ces roches, mais la présence de certaines espèces minérales et leur association semble exclure l'action d'une température élevée. Ainsi, par exemple, la présence simultanée du graphite et des silicates à base de protoxyde de fer, comme le mica, l'amphibole, etc., ne s'explique pas, ainsi que le fait remarquer Bischof (*Lehrb. der phys. und chem. Geol.*, t. II, p. 60), si l'on admet l'intervention d'une haute température; car il en serait résulté une production, au moins partielle, de fer à l'état métallique.

(2) M. Lossen a montré que Dumont a confondu dans le terrain taunusien d'Allemagne des roches schisto-cristallines avec des roches éruptives et qu'il a attribué aux premières une action métamorphique. C'est ainsi que les *aphanites*, signalées par Dumont dans le massif de la rive gauche du Rhin, doivent être considérées comme des schistes augitiques ou des phyllades sériciteux et calcaireux, et les *eurites* seraient des schistes adinoliques et à séricite. Quelle que soit l'origine des roches feldspathiques et amphiboliques des bords de la Meuse, je crois qu'il ne serait pas difficile de démontrer qu'on ne peut les envisager comme les agents du métamorphisme de la zone de Paliseul. Je les considère, au contraire, comme ayant été *passives*, qu'on me permette cette expression, lors des actions qui ont modifié cette zone.

*contact*, car c'en est une dans l'interprétation de Dumont, qui s'étendrait des bords de la Meuse, dans les Ardennes françaises, à la frontière allemande, posséderait une extension qui dépasse tout ce que l'on a constaté dans les zones modifiées par les roches éruptives. C'est ainsi que le granite, dont l'action sur les couches encaissantes est la mieux marquée, ne les affecte que sur quelques centaines de mètres en moyenne. On cite comme exception le métamorphisme de contact des roches de Christiania, qui sont transformées jusqu'à 3,000 mètres de la roche éruptive. Il est bien vrai que Dumont répond à l'objection que je viens de formuler. Il suppose en effet, comme il le dit expressément à propos du massif de Hermeskeil, l'existence de masses ignées sous-jacentes aux points où se traduisent dans les roches surincombantes, les plus intenses modifications. Il ramène ainsi la question au simple cas de métamorphisme de contact. Mais qui ne voit que cette hypothèse est absolument gratuite? D'ailleurs on retombe ainsi dans les difficultés que soulève le métamorphisme exercé sur toute une région par l'action *immédiate* des roches ignées; en acceptant cette supposition, on ne tient pas compte d'un ordre de faits établis pour l'universalité des grands massifs métamorphiques.

On ne peut nier que les émanations calorifiques produites par les roches ignées ont exercé, dans des cas spéciaux, une influence locale sur certaines roches; mais on doit admettre que les actions mécaniques, qui ont agi lors du soulèvement des couches, ont provoqué des transformations minéralogiques qui s'observent sur une grande étendue d'une région alors qu'on n'y découvre pas de roches métamorphosantes; tandis que les terrains des mêmes formations restés horizontaux, n'ont guère subi de modification de structure et qu'il n'y apparaît aucune espèce minérale nouvelle. Nous sommes bien dans le cas de ces massifs sédimentaires, où le métamorphisme régional accompagne toujours les dislocations, comme on le voit en Russie, dans les Alpes, dans la zone S.-E. du Harz, en Suède (1),

(1) Parmi les publications récentes sur le métamorphisme régional il faut citer en première ligne celle de M. Reusch (*Silurfossiler og pressede Conglomerate i Bergsskifrene*, Christiania, 1882). M. von Rath m'a montré des échantillons de ces roches remarquables, recueillies par M. Reusch à Vagtdalen dans le district d'Osören. Elles ressemblent à des micaschistes à muscovite, et l'on y voit nettement des empreintes de trilobites et d'autres fossiles. M. Reusch envisage ces roches comme le résultat du métamorphisme des sédiments argileux. Dans cette région, dont les couches sont redressées verticalement, le calcaire est devenu cristallin, les grès se

en Écosse (1), etc. Dumont a montré, en effet, que les roches qui forment la presque île de Bastogne et son prolongement au sud du massif gedinnien de Saint-Hubert, jusqu'au delà de Fays-les-Veneurs, sont relevées, fréquemment ondulées avec inclinaison tantôt au N.-O., tantôt au S.-E.; que ces ondulations ont une ligne anticlinale, qui coïncide à peu près avec la ligne de partage des eaux de l'Ardenne, c'est-à-dire avec l'axe de la zone métamorphique de Paliseul (2). C'est par ces ondulations, qui ramènent plusieurs fois les mêmes couches au niveau du sol, que s'explique le grand développement que semble prendre la partie supérieure de l'étage taunusien dans cette région.

Les actions mécaniques, s'exerçant sur ces sédiments, doivent les avoir prédisposés à une recristallisation plus ou moins complète. Elles y ont mis en jeu et activé les affinités chimiques, en broyant sous l'effort de la pression les substances minérales et en se transformant en chaleur; car il est à penser que la quantité de travail n'a pas été uniquement employée en effets mécaniques.

Que l'on se représente ces sédiments des mers anciennes, peut-être encore recouverts par les eaux, formés de sable, de vase argileuse ou de sable argileux mêlés à des restes d'organismes calcaireux,

sont transformés en quartzites. Ce savant admet que les roches gneissiques, qui apparaissent dans les couches siluriennes du district d'Osören, sont d'origine sédimentaire, qu'elles étaient formées à l'origine de matériaux meubles provenant de la désagrégation du granite ou du gneiss ancien. Il montre aussi que ces couches n'ont pas seulement été redressées, mais qu'elles ont subi des dislocations successives et il attribue à la pression les modifications qu'on y observe.

(1) Il n'existe peut-être pas d'exemples plus frappants de métamorphisme régional que ceux qu'offre le nord de l'Écosse. La relation directe entre les mouvements des couches, leur soulèvement et leur ploiement, et les transformations qu'elles ont subies y apparaît, avec une telle évidence et dans des conditions si favorables à l'exploration, que l'interprétation d'un métamorphisme par dislocation s'impose d'une manière absolue. Je citerai en particulier les environs d'Ullapole, où M. A. Geikie, qui me guidait dans cette région, m'a fait suivre pas à pas les transformations qui s'opèrent dans les couches à mesure qu'elles se redressent et se plient. On les voit d'abord dans une position se rapprochant de l'horizontale; les roches ont alors les caractères d'un grès; à mesure qu'elles se relèvent, les bancs, dont on embrasse la continuité, passent à des quartzophyllades; bientôt les mêmes couches prennent une allure plus tourmentée, elles se transforment alors en micaschistes et se chargent de silicates, parmi lesquels le pyrope abonde. Nulle part on ne découvre de roche éruptive dont on pourrait invoquer l'action de contact. Cette admirable coupe d'Ullapole que me signalait M. Geikie, vient appuyer d'une manière décisive les vues de ce savant géologue sur les causes du métamorphisme de cette contrée.

(2) DUMONT, *loc. cit.*, p. 150.

imprégnés de matières charbonneuses d'origine animale et végétale; que l'on fasse agir sur ces roches les pressions puissantes exigées pour les redresser, et qui prédisposent à la recristallisation les plus petites particules de ces masses : les sables se transforment en quartzite; les vases argileuses donnent naissance à des phyllades où se développent les phyllites; les argiles sableuses deviennent des quartzites micacés plus ou moins schistoïdes; l'élément calcaireux entre en combinaison pour former ces silicates à base de chaux, qui caractérisent ces roches grenatiformes et amphiboliques; les matières charbonneuses, perdant une partie de leurs éléments constitutifs, s'isolent et donnent naissance au graphite.

Il n'est guère possible d'aborder le détail des réactions chimiques qui se sont passées au sein de ces roches lors de leur transformation. C'est tout au plus si l'on peut indiquer à grands traits les conditions probables de formation pour quelques-uns des minéraux constitutifs, en supposant, comme on vient de le faire, qu'au moins leurs éléments essentiels ont été puisés dans les matières qui formaient le sédiment primitif. On peut toujours se demander si nous sommes en présence d'une recristallisation pure et simple, ou s'il s'est fait un nouvel apport de substance. Ce doute ne sera point levé aussi longtemps qu'on n'aura pas fait l'étude chimique et microscopique comparée des roches taunusiennes normales et de celles qui ont été métamorphosées. A cette première question vient s'en rattacher une autre; on se demande, en effet, quelle part a prise dans les réactions l'eau envisagée comme agent de décomposition ou comme véhicule des substances en solution. Il est bien difficile de se prononcer sur ce point; toutefois, si l'on s'en rapporte aux observations de M. Daubrée (1), il ne faudrait que des quantités d'eau très minimes pour provoquer, lorsqu'elle est secondée par une température et une pression convenables, des changements très prononcés. Ce savant ajoute que l'eau de constitution de certaines roches, celle des argiles, par exemple, que même l'eau de carrière peuvent suffire dans ces conditions, pour jouer un rôle dans les phénomènes métamorphiques. Quoi qu'il en soit, les modifications des roches que j'ai étudiées, trouvent surtout leur explication dans la propriété que possèdent les solides de se souder,

(1) DAUBRÉE, *Études et expériences synthétiques sur le métamorphisme et sur la formation des roches cristallines* (MÉM. DES SAV. ÉTR. DE L'AC. DES SCIENC., t. XVII, p. 97, 1862).

de réagir chimiquement et de prendre une texture cristalline sous l'influence de la pression, comme l'ont si bien mis en lumière les expériences de M. Spring (1).

---

Comme appendice à la description des roches amphiboliques et grenatifères, je donne les résultats de nos nouvelles observations sur deux minéraux, la *bastonite* et l'*ottrelite*, qui jouent un rôle assez important dans cette région métamorphique.

Dumont a désigné sous le nom du *bastonite* un minéral appartenant au groupe des micas; il l'a trouvé très répandu dans les roches des environs de Bastogne. D'après lui, la bastonite y caractérise d'une manière spéciale certains grès et certaines arkoses, qui ne sont autre chose qu'une modification des roches quartzeuses et feldspathiques du terrain taunusien dans la presqu'île de Bastogne. Ces roches sont appelées dans le *Mémoire sur les terrains ardennais et rhénan* (2), arkose et grès bastonifères. Elles se distinguent par la présence de lamelles métalloïdes vert sombre, quelquefois vert pâle ayant environ 1 millimètre; elles sont uniformément disséminées ou disposées par zones. Ce minéral est, en outre, extrêmement fréquent dans les filons quartzeux sillonnant en tous sens les roches de cette région, et qui indiquent à leur tour les effets métamorphiques qu'elle a subis. La bastonite en revêt toutes les fissures. Ses lamelles appliquées sur la roche atteignent quelquefois 1 centimètre; elles sont noires ou bronzées, présentent les caractères de divisibilité des micas; mais elles sont moins élastiques et moins dures. Jamais elles ne sont terminées par des contours cristallographiques; elles affectent d'habitude une forme plus ou moins circulaire.

Nous avons soumis à l'examen des lamelles de bastonite qui tapissaient un filon quartzeux d'une carrière près de la gare de Libramont. Au point de vue optique, la bastonite se comporte tout à fait comme une phlogopite altérée. Il est assez difficile d'obtenir

(1) SPRING, *Bull. de l'Acad. de Belg.*, 2<sup>e</sup> série, vol. XLIX, p. 323, 1880.

(2) *Loc. cit.*, p. 130.

par le clivage des lamelles suffisamment transparentes pour l'étude au microscope. Celles qui se prêtent à cet examen, montrent, lorsqu'on les étudie avec le condensateur en lumière convergente, une figure d'interférence qui semblerait indiquer un minéral monaxique; mais en faisant tourner la plaque on voit les deux branches d'hyperbole. On ne peut guère constater de dispersion, tout au plus une faible indication de  $\rho < \nu$ . Les axes optiques sont assez rapprochés; dans l'air, ils comportent en moyenne, de  $10^{\circ}45'$  à  $12^{\circ}54'$ ; la bissectrice, comme on peut s'en convaincre en employant la lame  $\frac{1}{4}$  d'onde, est négative. La phlogopite de Burgess en Canada donne des valeurs très voisines pour l'écartement des axes optiques; de même la jefferisite de West Chester en Pensylvanie a l'angle des axes optiques de  $11^{\circ}$  environ. Au point de vue optique donc, la bastonite se rapproche de la phlogopite et des minéraux tels que la jefferisite, la vermiculite que Tschermak considère comme des phlogopites altérées. Notre minéral possède encore avec ces derniers de profondes analogies quant aux propriétés pyrognostiques spéciales, sur lesquelles Brush s'était appuyé pour créer le groupe des vermiculites. Ce minéral chauffé dans le tube dégage de l'eau, au chalumeau il s'enfle d'une manière caractéristique, les feuillets se soulèvent et les lamelles s'exfolient, comme on l'observe pour la vermiculite et la jefferisite. Il fond en un globule vitreux magnétique. La bastonite est attaquée par l'acide chlorhydrique et par l'acide sulfurique concentrés, la silice se dégage sous forme gélatineuse. Avec la soude on obtient une faible réaction de manganèse; le borax et le sel de phosphore donnent la réaction du fer.

Ce minéral pourrait se confondre avec l'ottrélite qui se rencontre souvent aussi dans les roches schisteuses de la région métamorphique de Bastogne; l'ottrélite se distingue toutefois par sa plus grande dureté, par la difficulté du clivage perpendiculaire à l'axe, par le manque d'élasticité de ses lamelles, par sa couleur et par ses propriétés optiques. Un caractère qui permet de distinguer la bastonite de la biotite dans les lames minces, c'est le peu d'intensité de dichroïsme que possède la première. L'analyse suivante est celle de lamelles de bastonite détachées d'un filon quartzeux de Libramont.

Le poids spécifique de la bastonite, déterminé à l'aide du pycnomètre, est de 2.928.

I. 0.8419 gramme de substance séchée à  $110^{\circ}$  et fusionnée par les carbonates de soude et de potasse donna 0.3107 gr. de silice, 0.1687 gr. d'alumine, 0.2033 gr. de peroxyde de fer, 0.0080 gr. de



chaux et 0.1870 gr. de pyrophosphate de magnésie répondant à 0.06703 gr. de magnésie.

II. 0.6396 gramme de substance séchée à 110° donna 0.0446 gr. de perte au feu et attaquée par l'acide fluorhydrique 0.0336 gr. de chlorure de sodium et de potassium et 0.1010 gr. de chloroplatinate de potassium = 0.0310 gr. de chlorure de potassium = 0.0196 gr. de potasse. Par différence : 0.0026 gr. de chlorure de sodium = 0.0014 gr. de soude.

III. 0.8281 gramme de substance séchée à 110° traité en tube scellé par l'acide fluorhydrique et sulfurique fut titré par le permanganate de potasse (1 c. c. = 0.005235 gr. de protoxyde de fer). On employa pour l'oxydation 5.9 c. c., ce qui répond à 0.030886 gr. de protoxyde de fer.

[KLEMENT.]	I.	II.	III.	RELATIONS atomiques.	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	36.91	—	—	36.91	615
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	20.04	—	—	20.04	195
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	20.01	—	—	20.01	125
FeO . . . . .	—	—	3.73	3.73	52
MnO . . . . .	traces	—	—	traces	»
CaO . . . . .	0.95	—	—	0.95	17
MgO . . . . .	7.96	—	—	7.96	199
K <sub>2</sub> O . . . . .	—	3.07	—	3.07	33
Na <sub>2</sub> O . . . . .	—	0.22	—	0.22	3
H <sub>2</sub> O . . . . .	—	6.98	—	6.98	388
				<hr/> 99.87	

Les chiffres suivants indiquent la perte au feu subie par ce minéral aux différents degrés de température auxquels il fut soumis. 1.1004 gramme de substance séchée à 110°, chauffée jusqu'à 300°, perdit en 10 heures 0.0177 gramme d'eau, ce qui répond à 1.61 %/. Le poids de la substance demeura constant lorsqu'on eut atteint cette température. En la chauffant au blanc elle perdit encore 0.0586 gramme d'eau répondant à 5.33 %/.

Creuset de substance à 110° . . . . 21.4860

Id. 160° . . . . 21.4805 après 1 heure.

Id. 210° . . . . 21.4778 id.

Creuset de substance à 210°. . . .		21.4768	après 2 heures.
Id.	300°. . .	21.4698	id.
Id.	300°. . . .	21.4690	id.
Id.	300°. . . .	21.4683	id.
Chaleur rouge sombre . . . . .		21.4270	après 10 minutes.
Id.	rouge. . . . .	21.4185	id.
Id.	blanche . . . . .	21.4097	id.

Ces expériences démontrent que l'eau peut être considérée comme combinée chimiquement dans le minéral.

D'après l'analyse qui précède la composition chimique de la bastonite ne peut se rapporter à aucune espèce du groupe des micas. Elle en diffère par la grande quantité de peroxyde de fer et d'eau que ce minéral contient et surtout par le rapport atomique des bases et de l'acide, qui est plus élevé que celui répondant à un silicate normal.

En calculant l'analyse on obtient les relations atomiques suivantes :  $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3 : \text{RO} : \text{R}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O} = 615 : 320 : 260 : 36 : 388$ . Ces relations sont assez compliquées; elles se simplifient cependant, si on additionne les chiffres des atomes monobasiques et bibasiques. Elles se transforment alors en  $615 : 320 : 304 : 388$  ou  $6 : 3 : 3 : 3$ . Toutefois la quantité d'eau est un peu plus grande que celle répondant à ces chiffres, ce qui résulte probablement de ce que la substance employée pour l'analyse, malgré tout le soin mis à la bien choisir, avait subi une légère décomposition. Cette décomposition peut avoir amené d'ailleurs d'autres modifications dans la composition chimique du minéral. En tenant compte du fait que la substance dont nous nous sommes servi présentait en général un aspect non altéré, nous pensons que l'analyse présente des données assez certaines pour admettre la formule :  $\text{Si}_2\text{R}_2^{\text{III}}(\text{R}^{\text{II}}\text{R}^{\text{I}})\text{H}_2\text{O}_9$  : [ $\text{R}^{\text{III}} = \text{Al}, \text{Fe}$ .  $\text{R}^{\text{II}} = \text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mg}$ .  $\text{R} = \text{K}, \text{Na}$ ] qu'on déduit en calculant les chiffres obtenus.

Les chiffres suivants font voir la concordance entre les résultats de l'analyse et ceux obtenus pour le calcul de la formule précitée. Le calcul de l'analyse a été établi, comme nous l'avons indiqué plus haut, en réduisant le peroxyde de fer en alumine et le protoxyde de fer, la chaux, la potasse et la soude en magnésie et en ramenant la somme à 100.

	TROUVÉ et réduit :	CALCULÉ pour $\text{Si}_3\text{Al}_2\text{MgH}_2\text{O}_4$
$\text{SiO}_2$ . . . . .	41.47	42.73
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	37.02	36.61
$\text{MgO}$ . . . . .	13.67	14.25
$\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	7.84	6.41
	<hr/> 100.00	<hr/> 100.00

Malgré les différences assez notables dans la composition, la bastonite nous paraît cependant devoir se grouper avec la phlogopite, elle s'en rapproche beaucoup par les caractères physiques.

On ne possède jusqu'ici, à notre connaissance, que deux analyses de l'*ottrélite*; elles furent faites par M. Damour, en 1842, sur des échantillons recueillis à Ottrez (1). Il a obtenu les chiffres suivants comme moyenne : silice, 0.4343, alumine, 0.2426, oxyde ferreux, 0.1677, oxyde manganoux, 0.0811, eau, 0.0565. Il en déduit la formule :  $2\text{Al}\ddot{\text{Si}} + (\text{Fe}, \text{Mn})^3\ddot{\text{Si}} + \text{H}^3$ .

M. Laspeyres a fait remarquer depuis (2) que la formule de l'*ottrélite* prenait une forme beaucoup plus simple si l'on interprétait l'analyse d'après les théories modernes usitées en chimie, et partant de cette idée déjà exprimée par lui-même et par M. Rammelsberg, à savoir : que l'eau dégagée par un minéral à une chaleur intense devrait être considérée comme étant à l'état naissant ou comme résultant de la combinaison immédiate de l'hydrogène et de l'oxygène auparavant engagés dans la combinaison. Cette vue théorique est applicable à l'*ottrélite* dont l'eau ne se dégage qu'avec difficulté. Si donc on exprime en fonction de l'hydrogène l'atomicité de l'aluminium et des métaux engagés dans la combinaison, on peut la formuler par cette expression :  $6\text{SiO}_2, 2\text{Al}_2\text{O}_3, 3(\text{FeMn})\text{O}, 3\text{H}_2\text{O}$ , c'est-à-dire par six molécules d'un silicate normal  $\text{SiO}_4\text{R}_4$ . Or, Rammelsberg a indiqué une formule semblable pour le type chimique de plusieurs micas potassiques et magnésiens. D'après cela M. Laspeyres propose de considérer l'*ottrélite* comme un mica ferro-manganoux.

(1) DES CLOIZEAUX et DAMOUR, *De l'ottrélite, nouvelle espèce minérale* (ANN. DES MINES, t. II, p. 357, 1842).

(2) LASPEYRES, *Neues Jahrbuch für Miner.*, pp. 340-341, 1869.

G. Rose (1) n'admet pas qu'on puisse ainsi associer l'ottrélite au mica, en s'appuyant sur les relations que ces deux minéraux pourraient avoir au point de vue chimique. Le clivage, objecte-t-il, est beaucoup plus difficile à obtenir pour l'ottrélite que pour les micas, elle est aussi plus dure que ceux-ci, n'est point élastique ni flexible. M. Laspeyres (2), répondant aux objections soulevées par Rose, allègue la grande inégalité que l'on observe souvent entre des minéraux très voisins et même entre les échantillons du même minéral relativement aux propriétés, telles que la flexibilité, le clivage ou la dureté, etc. Nous renvoyons à la note sur l'ottrélite (3) pour les indications relatives à ce point et pour les caractères physiques de ce minéral.

La formule déduite par M. Laspeyres des analyses de M. Damour a été jusqu'ici considérée comme l'expression exacte de la composition de l'ottrélite (4). Observons toutefois que M. Damour n'a pas déterminé le protoxyde de fer qui se trouve dans le minéral : que c'est principalement d'après la couleur de sa poussière et les proportions données pour l'analyse qu'on a supposé que c'était le fer à l'état de protoxyde qui entre dans la constitution du minéral. Or les analyses qui suivent montrent que le peroxyde de fer joue un rôle, quoique subordonné, dans la composition de l'ottrélite.

Les échantillons analysés donnent de l'eau dans le tube, sont assez difficilement fusibles en un globule vitreux noir et magnétique. L'ottrélite se décompose sous l'action de l'acide chlorhydrique ou sulfurique concentré avec formation de silice gélatineuse. On obtient avec la soude la réaction du manganèse; avec le borax et le sel de phosphore la réaction du fer.

Les analyses suivantes sont celles de l'ottrélite de Serpont (I), de l'ottrélite de Lierneux (II), de l'ottrélite d'Ottrez (III).

(1) ROSE, *Zeitschrift der deutsch. geol. Gesell.*, vol. XXI, p. 488, 1869.

(2) LASPEYRES, *Neues Jahrb. für Miner.*, p. 163, 1873.

(3) RENARD et DE LA VALLÉE, *Note sur l'ottrélite* (ANN. DE LA SOC. GÉOL. DE BELG., t. VI, Mém., p. 51).

(4) NAUMANN-ZIRKEL, *Elem. der Miner.*, p. 576, 1881. — GROTH, *Tabellarische Uebersicht der Min.*, p. 96.

## I.

Le poids spécifique, déterminé à l'aide du pycnomètre, est de 3.266.

I. 0.8470 gramme de substance séchée à 110°, fusionnée par les carbonates de soude et de potasse d'après la méthode indiquée par Sipöcz, donna 0.0495 gr. d'eau, 0.3528 gr. de silice, 0.2496 gr. d'alumine, 0.2023 gr. de peroxyde de fer, 0.0085 gr. d'oxyde de manganèse ( $Mn_3O_4$ ) répondant à 0.0079 gr. de protoxyde de manganèse et 0.0370 gr. de pyrophosphate de magnésie répondant à 0.01333 gr. de magnésie.

II. 0.7527 gramme de substance séchée à 110°, traitée en tube scellé par l'acide fluorhydrique, et sulfurique fut titré par le caméléon (1 c. c. = 0.005235 gr. de protoxyde de fer). On employa pour l'oxydation 25.7 c. c., ce qui répond à 0.13454 gr. de protoxyde de fer.

[KLEMENT.]	I.	II.	RELATIONS atomiques.	
$SiO_2$ . . . . .	41.65	—	41.65	694
$Al_2O_3$ . . . . .	29.47	—	29.47	287
$Fe_2O_3$ . . . . .	4.02	—	4.02	25
$FeO$ . . . . .	—	17.87	17.87	248
$MnO$ . . . . .	0.93	—	0.93	13
$MgO$ . . . . .	1.57	—	1.57	39
$H_2O$ . . . . .	5.84	—	5.84	324
			<hr/>	
			101.35	

## II.

Le poids spécifique, déterminé à l'aide du pycnomètre, est de 3.266.

I. 0.8040 gramme de substance séchée à 110°, fusionnée par les carbonates de soude et de potasse, donna 0.3260 gr. de silice,

0.2476 gr. l'alumine, 0.1380 gr. de peroxyde de fer, 0.0563 gr. d'oxyde de manganèse ( $Mn_3O_4$ ) répondant à 0.05236 gr. de protoxyde de manganèse, 0.0036 gr. de chaux et 0.0289 gr. de pyrophosphate de magnésie répondant à 0.01041 gr. de magnésie.

II. 0.7438 gramme de substance séchée à  $110^\circ$ , traitée en tube scellé par l'acide fluorhydrique et sulfurique, fut titré par le caméléon (1 c. c. = 0.005235 gr. de protoxyde de fer). On employa 17.7 c. c., ce qui répond à 0.09266 gr. de protoxyde de fer.

[RENARD.]	I.	II.	RELATIONS atomiques.	
$SiO_2$ . . . . .	40.55	—	40.55	676
$Al_2O_3$ . . . . .	30.80	—	30.80	300
$Fe_2O$ . . . . .	3.32	—	3.82	21
$FeO$ . . . . .	—	12.46	12.46	173
$MnO$ . . . . .	6.51	—	6.51	92
$CaO$ . . . . .	1.29	—	1.29	32
$MgO$ . . . . .	0.45	—	0.45	8
$H_2O$ (1) . . . . .	?	—	?	
			<hr/> 95.83	

### III.

I. 0.7559 gramme de substance séchée à  $110^\circ$ , fusionnée avec les carbonates de soude et de potasse d'après la méthode indiquée par Sipöcz, donna 0.0383 gr. d'eau, 0.3211 gr. de silice, 0.2214 gr. d'alumine, 0.1266 gr. de peroxyde de fer, 0.0496 gr. d'oxyde de manganèse ( $Mn_3O_4$ ), répondant à 0.04613 gr. de protoxyde de manganèse, et 0.0430 gr. de pyrophosphate de magnésie répondant à 0.0155 gr. de magnésie.

II. 0.6829 gramme de substance séchée à  $110^\circ$ , traitée en tube scellé par l'acide fluorhydrique et sulfurique, fut titré par le camé-

(1) La détermination de l'eau n'a pas réussi par suite d'un accident à l'appareil, et la substance manquait pour faire un nouvel essai.

léon (1 c. c. = 0.005235 gr. FeO). On employa pour l'oxydation 15.8 c. c., ce qui répond à 0.08271 gr. de protoxyde de fer.

[KLEMENT.]	I.	II.	RELATIONS atomiques.	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	42.48	—	42.48	708
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	29.29	—	29.29	285
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3.30	—	3.30	21
FeO . . . . .	—	12.11	12.11	168
MnO . . . . .	6.10	—	6.10	86
CaO . . . . .	traces	—	traces	—
MgO . . . . .	2.05	—	2.05	51
H <sub>2</sub> O . . . . .	5.07	—	5.07	282
				<hr/>
				100.40

Les relations atomiques de SiO<sub>2</sub> : R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : RO : H<sub>2</sub>O peuvent s'exprimer par les chiffres 7 : 3 : 3 : 3. L'analyse de l'ottrélite de Lierneux (II) n'accuse pas cependant une teneur en silice assez élevée pour être rendue par 7. Si l'on tient compte en outre que ce minéral renferme toujours de nombreuses veinules de quartz, on serait amené à admettre que les relations vraies sont 6 : 3 : 3 : 3 = 2 : 1 : 1 : 1 et la formule de l'ottrélite serait 2SiO<sub>2</sub>, R<sub>2</sub><sup>III</sup>O<sub>3</sub>, R<sup>II</sup>O, H<sub>2</sub>O [R<sup>III</sup> = Fe, Al. R<sup>II</sup> = Fe, Mn, Ca, Mg].

---





PLANCHE I.

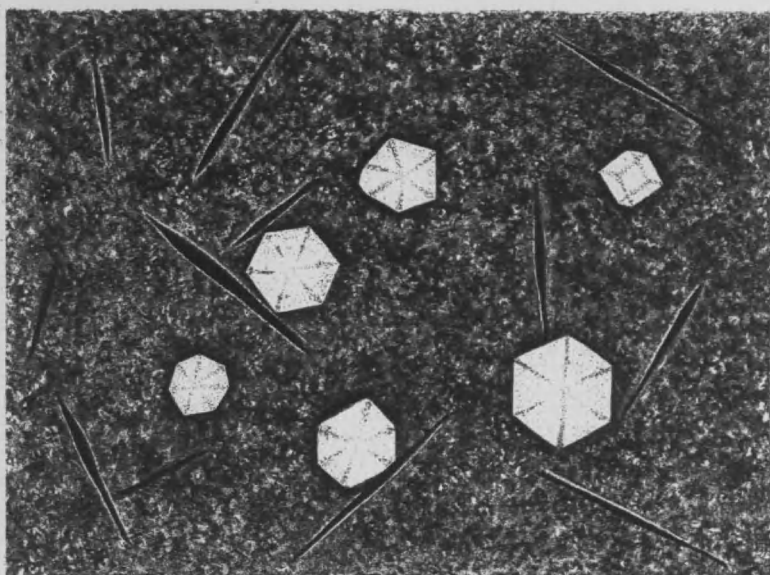
## EXPLICATION DE LA PLANCHE I.

---

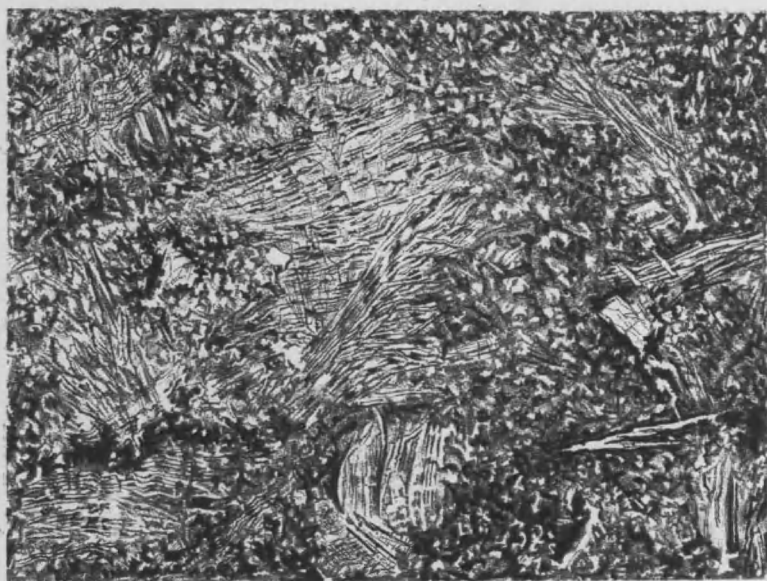
FIG. 1. — *Roche grenatifère d'Isle-la-Hesse, près de Bastogne.* — La masse fondamentale est imprégnée de substances charbonneuses; les grains de quartz qui la composent, s'y présentent sous la forme de sections irrégulières, incolores. Les sections noires, opaques, fusiformes, entourées d'une légère zone de mica blanc et de quartz, sont des lamelles de graphite taillées perpendiculairement. Les grandes sections incolores, à contours réguliers, appartiennent au grenat; elles sont caractérisées par des files d'inclusions disposées suivant les axes cristallographiques (voir pp. 16 et suiv.).  $\frac{1}{20}$ , lumière ordinaire.

FIG. 2. — *Roche amphibolique de Bastogne.* — Cette figure représente le minéral amphibolique tel qu'il fut décrit page 21. Dans cette roche, la masse fondamentale est, comme celle de la lame mince représentée par la figure 1, formée essentiellement de grains de quartz et de matière charbonneuse. Les plages composées de lamelles ou de fibres plus ou moins ondulées, disposées irrégulièrement et à contours vagues, pénétrées de graphite, appartiennent au minéral amphibolique dont le développement normal aurait été arrêté par la résistance du milieu où il cristallisait. La teinte de ces plages dans les lames minces est vert-jaunâtre très pâle.  $\frac{1}{40}$ , lumière ordinaire.

---



1



2

V. Lefebvre, del.

Lith. G. Severéyns.



PLANCHE II.

## EXPLICATION DE LA PLANCHE II.

---

FIG. 1. — *Roche amphibolique d'Ourt.* — La lame mince figurée fut taillée de l'échantillon dont l'analyse est indiquée à la page 24; la description microscopique se trouve aux pages 25 et 26. La masse fondamentale incolore est formée de grains de quartz aux contours irréguliers et vagues; ce minéral paraît pailleté de lamelles micacées. Les sections vertes, disposées en gerbes et composées de fibres entrelacées, sont de l'amphiboie; elles sont parsemées de points aux bords estompés, qui absorbent fortement la lumière (voir p. 25). Les sections hexagonales incolores appartiennent au grenat; ce minéral est rare dans cette roche. Les nombreuses inclusions irrégulières qu'il renferme sont du quartz.  $\frac{1}{20}$ , lumière ordinaire.

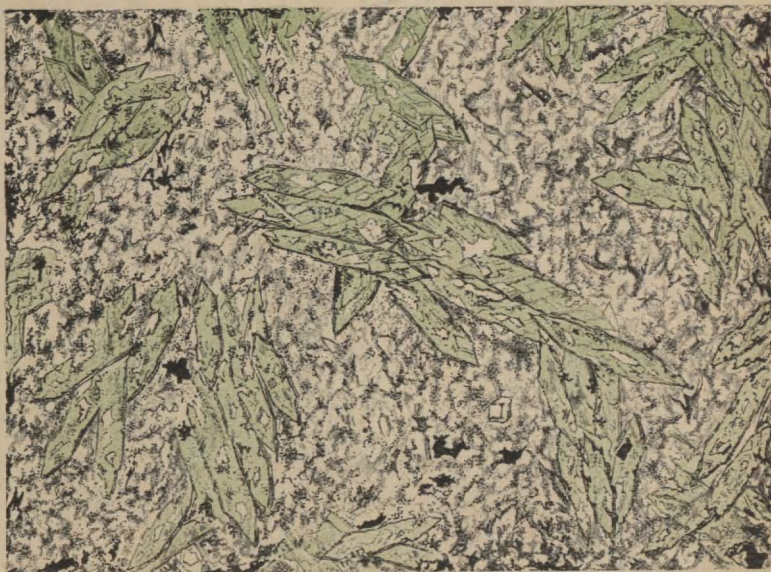
FIG. 2. — *Roche amphibolique de Libramont.* — La figure représente une plage d'une lame mince taillée dans un fragment de roche quartzeuse noire, pailletée d'amphibole, recueilli sur la route de Libramont à Recogne. La masse fondamentale est formée de quartz et de mailles de graphite. L'amphibole s'y montre sous la forme de lamelles dont les caractères ont été décrits aux pages 20 et 21.  $\frac{1}{40}$ , lumière ordinaire.

---





1



2

V Lefebvre, del.

Lith. G. Severeys





### PLANCHE III.

### EXPLICATION DE LA PLANCHE III.

---

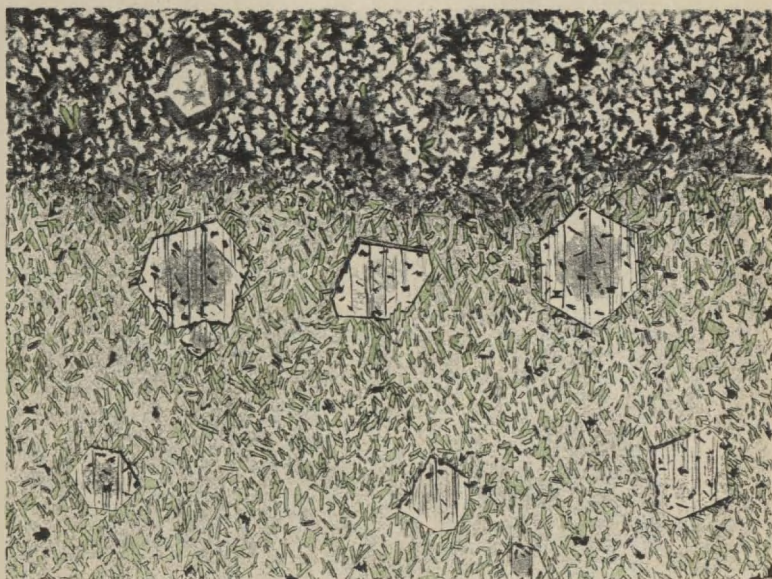
FIG. 1. — *Roche amphibolique de Saint-Pierre*. — La préparation microscopique représentée par cette figure montre, à droite vers le haut du dessin, une plage où les substances charbonneuses se sont concentrées avec filonnets primaires. La partie moins foncée inférieure à gauche, possède essentiellement la même composition que la zone noire. Les sections vertes en gerbes sont de l'amphibole, celles de forme hexagonale et incolores appartiennent au grenat (voir pour la description de cette figure page 29).  $\frac{1}{40}$ , lumière ordinaire.

FIG. 2. — *Phyllade grenatifère de Bastogne*. — L'échantillon figuré est formé d'une zone phylladeuse, qui occupe le bas de la figure, et d'une zone quartzeuse plus foncée à la partie supérieure du dessin. Dans la zone phylladeuse les grenats sont traversés par des fissures parallèles, attribuées à des actions mécaniques postérieures au métamorphisme qui a formé ces minéraux. Les petites lamelles vertes, répandues dans la masse fondamentale, ont été reproduites avec une teinte trop foncée et des contours trop prononcés (voir pour la description de cette figure page 28).  $\frac{1}{20}$ , lumière ordinaire.

---



1



2

V. Lefebvre, del.

Lith. C. Severens