

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1929

Présidence de M. F. HALET, président.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est lu et adopté.

Le Président annonce que M. LUCIEN CAYEUX, professeur au Collège de France, membre de l'Institut, membre honoraire de la Société, a été nommé docteur *honoris causa* de l'Université de Louvain, et lui adresse les félicitations de la Société.

Il proclame membre effectif :

M. PAUL DUMON, ingénieur à Hyon-lez-Mons, présenté par MM. E. Maillieux et F. Mathieu.

Le Secrétaire général annonce qu'un *Congrès national des Sciences* est organisé pour 1930 par la Fédération des Sociétés scientifiques belges et sous les auspices de la Commission nationale du Centenaire. Ce Congrès est placé sous le haut patronage de S. M. le Roi et sous la présidence d'honneur de M. le Prof^r J. Bordet, président du Comité national de Recherches.

Le Congrès, qui aura lieu à Bruxelles du 29 juin au 2 juillet 1930, a pour objet de mettre en évidence l'état actuel de la recherche scientifique dans le pays et de montrer la part prise par les Belges au développement des Sciences mathématiques, physiques, chimiques, naturelles et médicales. D'accord avec les Associations d'ingénieurs, une section de Sciences appliquées n'a pas été prévue pour ne pas nuire au succès des Congrès du même ordre qui auront lieu à l'occasion de l'Exposition de Liège.

Les langues officielles du Congrès sont le français et le flamand. Les communications seront publiées dans la langue choisie par l'auteur.

Le Congrès comprend les sections suivantes, dont l'organisation a été confiée aux Sociétés nationales cultivant la discipline correspondante.

1. Mathématiques (Société mathématique de Belgique) ⁽¹⁾;
2. Physique (Société belge de Physique);
3. Chimie (Société chimique de Belgique);
4. Astronomie (Société d'Astronomie d'Anvers et Société belge d'Astronomie);

(1) Les noms placés entre parenthèses sont ceux des Sociétés organisatrices.

5. Géophysique et Géodésie (Société belge d'Astronomie);
6. Géologie (Société belge de Géologie et Société géologique de Belgique);
7. Botanique (Société royale de Botanique de Belgique);
8. Zoologie (Société royale zoologique de Belgique); Sous-section Entomologie (Société entomologique de Belgique);
9. Biologie générale (Société belge de Biologie);
10. Anthropologie (Société d'Anthropologie de Bruxelles);
11. Sciences médicales (Société royale de Médecine de Gand, Société médico-chirurgicale de Liège, Cercle médical d'Anvers, Société médico-chirurgicale du Brabant, Société Clinique des Hôpitaux de Bruxelles, Sections médicales de la Société scientifique de Bruxelles et de la Société royale des Sciences médicales et naturelles de Bruxelles);
12. Hygiène.

Les sections pourront se subdiviser en sous-sections; plusieurs sections pourront se réunir pour entendre des communications d'intérêt commun.

Les communications doivent constituer des travaux inédits et de nature purement scientifique.

Le Congrès comprend des membres d'honneur, des membres effectifs et des membres adhérents.

Les membres effectifs payent une cotisation de 100 francs; les membres adhérents, une cotisation de 50 francs. Les membres d'honneur et les membres effectifs reçoivent seuls les comptes rendus du Congrès.

On adhère au Congrès en versant la cotisation au compte chèques postaux n° 271892 avec indication : Congrès national des Sciences, Bruxelles 1930.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

- 8211 *Byran, K.* Change in plant associations by change in ground water level. 1928, extr. in-8° de 5 pages.
- 8212 *Byran, K.* Glacial climate in non-glaciated regions. New Haven, 1928, extr. in-8° de 4 pages.
- 8213 *Byran, K.* Problems involted in the Geologic examination of sites for Dams. 1929, extr. in-8° de 10 pages.
- 8214 *Byran, K.* Flood-water farming. New-York, 1929, extr. in-8° de 14 pages et 9 figures.
- 8215 *Byran, K.* Solution-facetted limestone pebbles. New Haven, 1929, extr. in-8° de 16 pages et 5 figures.

Communications des membres :

Le Métamorphisme des régions de Bastogne et de Vielsalm,

par X. STAINIER,

Professeur à l'Université de Gand.

Posé en 1848 par A. Dumont, le problème de l'origine du métamorphisme de certaines régions ardennaises attend encore une solution ralliant toutes les adhésions. Au cours de ce long intervalle, les idées ont évolué, des hypothèses nouvelles ont jailli et, à la suite de vives discussions, deux théories restent en présence, pour expliquer le métamorphisme si spécial des régions dont nous parlons. Pour les uns on aurait là un cas de métamorphisme de contact pneumatolytique, pour d'autres ce serait du dynamométamorphisme de profondeur. Le dynamométamorphisme tout court, tel qu'on avait voulu l'appliquer à la région de Bastogne, n'a plus guère de partisans, chez nous, pas plus qu'ailleurs. Ce dynamométamorphisme a eu une vogue aussi courte que brillante, mais on s'est vite rendu compte que, dans ses estimations il avait totalement négligé un facteur capital, c'est le facteur Temps. Si, dans les déformations de l'écorce terrestre, la grandeur des masses mises en mouvement est bien capable de produire des pressions énormes et des températures élevées, c'est à condition que les mouvements ne se produisent pas avec une lenteur tellement grande que la chaleur produite n'ait le temps de se dissiper au fur et à mesure de sa production. Or on est bien certain, maintenant, que les déformatoins de l'écorce, les chaînes de montagnes, par exemple, se forment avec une lenteur excessive, grâce à laquelle, d'ailleurs, les masses en mouvement n'ont pas été complètement broyées et ont pu s'adapter plus ou moins aux nouvelles conditions qui leur étaient offertes ⁽¹⁾. C'est ainsi que l'on peut s'expliquer que, dans le Houiller belge, plissé à

(1) Pour l'histoire résumée des théories du métamorphisme voir : TEALL (69, p. LXXI). (Les chiffres en caractères gras renvoient à la bibliographie.)

l'extrême, lors du ridement hercynien, une matière aussi sensible à l'action de la chaleur que le charbon, ne montre que des modifications infimes et accidentelles, au voisinage des dérangements les plus importants.

Aussi, dès l'apparition des théories dynamométamorphiques, leurs partisans firent appel à des facteurs auxiliaires : la pression statique provenant du poids des sédiments accumulés et la chaleur d'origine géothermique à laquelle sont soumises les roches que les plissements ou les affaissements amènent en profondeur (métamorphisme de profondeur).

Mais si, pour certains, l'action combinée de ces deux facteurs semble suffire largement pour expliquer le métamorphisme le plus intense, cela n'empêche que Van Hise (72) et Clarence King (48) ont cité des cas où l'accumulation de plus de 15 kilomètres de sédiments ne déterminait aucune transformation notable ou spéciale. Et l'on ne voit pas comment des actions mécaniques, incapables de produire de la chaleur pour la raison signalée plus haut, pourraient aider à la cristallisation. Les expériences de Spring (1), si souvent invoquées à cet égard, n'ont en effet jamais porté sur les silicates de métamorphisme, les seuls qui soient en cause ici, et ne sont donc pas pertinentes. Ce que l'on voit toujours aisément, c'est comment le dynamométamorphisme a déformé ou brisé les cristaux préexistants, mais son rôle créateur reste encore à prouver par des faits incontestables.

D'autre part, le progrès des connaissances sur la genèse des roches éruptives profondes, notamment l'étude des séparations magmatiques et des phénomènes pneumatolytiques qui accompagnent les éruptions (2), ces progrès, dis-je, ont permis aux partisans du métamorphisme de contact de mieux préciser et expliquer l'action des roches éruptives sur les roches encaissantes.

Depuis l'époque déjà lointaine (1908-1910) où se sont produites les discussions les plus importantes, l'état des lieux n'a plus permis aucune étude nouvelle sur le terrain et il ne semble pas qu'il y ait quelque chose à espérer de ce côté, pour la région de Bastogne. Dans celle de Vielsalm, au contraire, de nombreux travaux ont paru, fruits de recherches sur le terrain ou

(1) Voir d'ailleurs les sages réserves qu'a exprimées Prinz (64) concernant l'application en géologie des expériences de Spring.

(2) Dans ce domaine les progrès sont surtout dus à J. Vogt et à Spurr.

d'observations pétrographiques. Ces études ont eu au moins comme résultat d'accentuer encore la ressemblance affirmée dès 1908 par M. Lohest (38, p. 403) entre les phénomènes métamorphiques des deux régions qui nous occupent, ressemblance telle que toute théorie qui vise à expliquer le métamorphisme d'une région doit aussi tenir compte de l'autre.

Pour la région de Bastogne, aucune étude n'a encore été publiée sur les riches matériaux que j'ai recueillis lors de mes levés de la région. Je les avais d'abord passés à A. Renard, qui est mort sans avoir pu même débiller les échantillons que je lui avais fournis et que j'ai retrouvés lors de mon arrivée à Gand. Plus tard, je les avais transmis à W. Prinz, qui en avait entrepris l'étude avec enthousiasme. Comme en fait foi la correspondance qu'il entretenait avec moi et avec J. Cornet, à ce sujet, l'étude pétrographique des roches métamorphiques que je lui avais remises l'avait convaincu qu'elles dénotaient un cas typique de métamorphisme de contact. Mais voulant avoir tous ses appaisements, il s'était décidé à soumettre ces roches et leurs préparations à un maître incontesté en fait de métamorphisme, le Prof^r Weinschenk de Munich. Celui-ci ayant été complètement d'accord avec lui, il était occupé à rédiger un travail d'ensemble quand une mort inopinée vint le surprendre en plein travail. Sa famille m'a restitué les échantillons m'appartenant et m'a fait don des notes manuscrites prises par Prinz ainsi que du mémoire qu'il avait commencé à rédiger. De plus j'ai acquis, pour l'Université de Gand, les nombreuses préparations qu'il avait fait exécuter des roches de Bastogne. Malheureusement le mémoire est dans un état trop embryonnaire pour pouvoir être publié, même partiellement.

Pour fournir, dans la discussion, des données décisives nouvelles que nous ne pouvons trouver, nous venons de le montrer, ni sur le terrain ni dans le laboratoire, il m'a semblé qu'il y avait cependant quelque chose à faire. Les discussions anciennes ont montré que plusieurs de ceux qui y ont pris part ne connaissaient pas grand'chose de la bibliographie cependant si touffue des cas de métamorphisme de contact, à en juger par l'obstination avec laquelle ils se sont cramponnés à des arguments dont l'inanité n'a cessé d'être démontrée depuis près d'un siècle. J'ai, durant les vingt dernières années, saisi toutes les occasions de lire ce que l'on avait écrit à ce sujet. Ces lectures, en élargissant le cadre de mes connaissances, ont fortifié mes convictions dans les idées que j'ai émises jadis.

Je voudrais extraire de ces lectures quelques-uns des faits signalés qui me semblent les plus propres à élucider le problème du métamorphisme de l'Ardenne. En même temps je voudrais résumer l'impression que j'ai retirée de l'étude des faits et des idées émises depuis les dernières discussions auxquelles j'ai pris part, en 1908. Tel est le programme du travail que je livre maintenant à la publicité. Il comprendra, naturellement, deux parties d'après ce que nous venons de dire.

1^{re} PARTIE. — LE MÉTAMORPHISME DE CONTACT A L'ÉTRANGER.

Je ne puis pas songer à traiter l'ensemble de la question, même sommairement et même en me contentant de citer les titres des ouvrages traitant du sujet. Je dois me borner à l'examen des régions les plus instructives pour notre sujet.

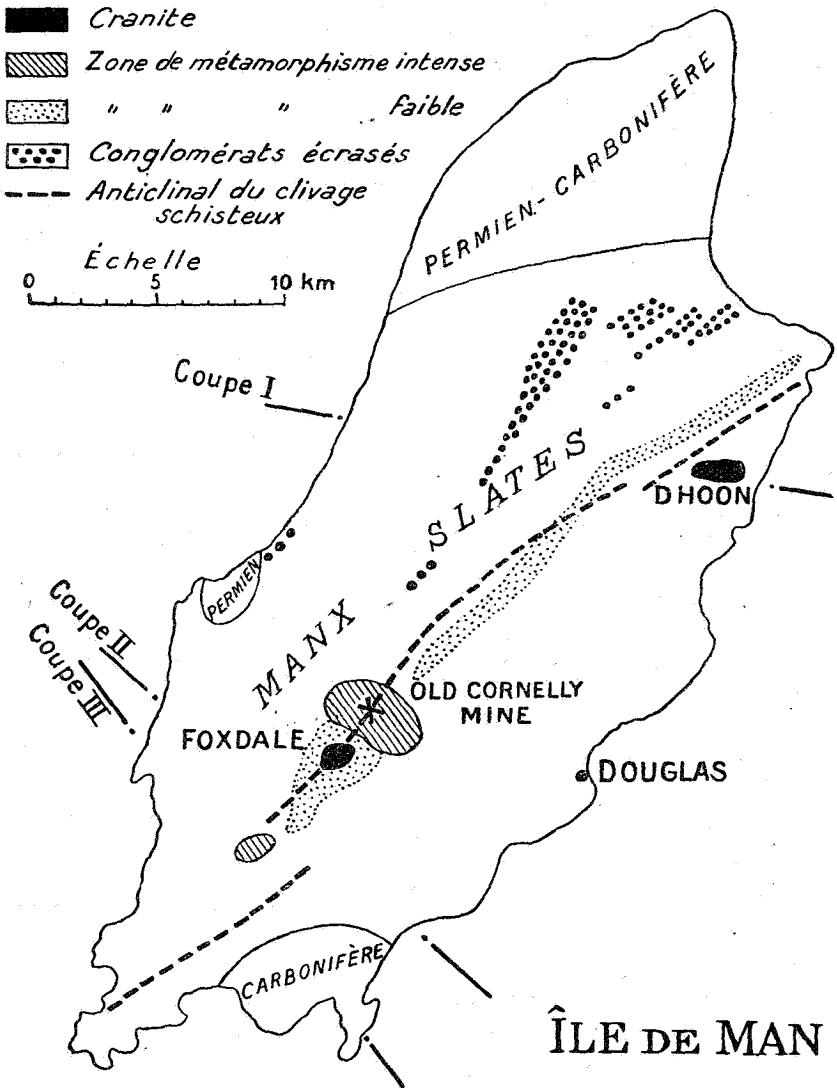
A. — *L'île de Man.*

La lecture de ce qui a paru sur la géologie de cette intéressante île de la mer d'Irlande m'a convaincu que de tous les cas de métamorphisme de l'étranger que j'ai étudiés, et ils sont nombreux, celui de l'île de Man est de très loin le plus instructif, car c'est celui qui ressemble le plus à celui de l'Ardenne, et là les facilités naturelles permettent d'aller plus loin dans l'observation. La ressemblance des deux cas est, on peut l'affirmer, des plus frappantes et les différences elles-mêmes sont instructives.

Fort heureusement l'île a été l'objet d'une description détaillée et des plus remarquables, lors du levé de la Carte géologique, par un membre distingué du Geological Survey : G. Lamplugh. Celui-ci a condensé ses observations dans un mémoire explicatif (53) bourré de faits et abondamment illustré qui permet de se faire une excellente idée de cet intéressant coin de l'Angleterre. A l'époque où son travail a paru (1903), on était dans tout l'enthousiasme des théories dynamométamorphiques, jeunes encore alors. M. Lamplugh, que ses études antérieures n'avaient pas préparé à une tâche aussi difficile que celle de débrouiller une tectonique aussi compliquée que celle de l'île de Man et d'élucider des problèmes de métamorphisme, attribue les faits remarquables qu'il a découverts au dynamométamorphisme. Mais l'insuffisance de cet agent ne lui échappe pas et il fait nettement appel au métamorphisme de profondeur.

Plus heureuse que l'Ardenne, l'île de Man possède les massifs granitiques que réclament incessamment les saint Thomas de la Géologie belge, et il ne nous sera pas difficile de montrer que le métamorphisme de l'île est un métamorphisme de contact. Quant aux preuves de cette affirmation, nous les trouverons aisément dans le travail de M. Lamplugh lui-même. Disons aussi que les analogies entre les faits qu'il avait découverts et ceux de l'Ardenne ne lui avaient pas échappé, car il avait eu son attention attirée sur ce point par Miss C. Raisin, une pétrographe anglaise, familiarisée avec l'Ardenne. Mais à cette époque, il lui aurait été fort difficile de se renseigner sur le côté tectonique des gisements métamorphiques de l'Ardenne, dont la représentation graphique était alors encore fort rudimentaire. Aussi, il passe légèrement sur la comparaison et il n'en tire aucun parti. Nous allons maintenant extraire du travail de M. Lamplugh les faits qui nous intéressent, en montrant leurs ressemblances ou différences avec ceux que nous avons reconnus en Ardenne.

Structure générale de l'île. — L'île de Man est un fragment d'un pli calédonien qui jadis unissait l'Irlande au Westmoreland. L'axe du pli est constitué par les phyllades de Manx, dont la base a fourni des débris douteux rapportés au *Dictyonema sociale* et qui seraient donc du Cambrien, synchronique de notre Salmien, et peut-être d'une partie du Silurien. A en juger d'après trois grandes coupes transversales et par la coupe schématique qu'en donne Lamplugh (fig. 32), la tectonique du pli serait extraordinaire. Au lieu d'un grand anticlinorium admis précédemment, on aurait là deux voûtes isoclines affrontées déversées, celle du Sud vers le Nord et l'autre vers le Sud. Entre les deux s'étendrait un étroit synclinal. Mais les roches sont extrêmement bouleversées et traversées de nombreux joints de clivage; aussi l'allure des roches est très difficile à déterminer. L'absence de fossiles et la monotonie des roches compliquent encore l'étude de la tectonique. En tous cas les nombreuses coupes figurées par l'auteur indiquent des plissements très serrés, fortement déversés, très souvent fortement redressés. A cet égard, la différence avec les allures de l'anticlinal de Bastogne que j'ai figurées dans mon travail (68) et avec celles de la région de Vielsalm déduites des travaux de Forir et Lohest (60), d'Anten (9) et de Corin (22), la différence, dis-je, est profonde et capitale. Les grandes ondulations avec



voûtes et bassins aplatis, les faibles pentes font totalement défaut dans l'île.

Émergée lors du ridement calédonien, l'île, comme la plus grande partie du centre de l'Angleterre, fut de nouveau submergée durant le Dinantien supérieur, dont les calcaires et le conglomérat de base reposent en discordance sur les deux flancs de l'axe calédonien et en lambeaux isolés sur cet axe. La suite de l'histoire géologique de l'île est difficile à reconstituer, mais ne présente d'ailleurs plus d'intérêt direct avec notre sujet. Le plissement hercynien a affecté l'île, car le Houiller y fait défaut. Mais on peut se demander si le soulèvement est contemporain du nôtre et s'il n'est pas plus ancien (début du Westphalien?). La voûte isoclinale déversée vers le Nord, comme les voûtes hercyniennes, n'est certainement pas hercynienne, mais bien antérieure, car le Dinantien qui la recouvre en discordance de stratification a une tout autre allure.

Lithologie des phyllades de Manx. — Pour les raisons indiquées plus haut, il est aussi difficile d'établir l'échelle stratigraphique et d'évaluer l'épaisseur des assises que de déterminer leurs allures. L'auteur donne à l'ensemble une épaisseur de 500 à 700 mètres (p. 116), en admettant cela comme un minimum qui pourrait être largement dépassé. L'ensemble est formé de deux types extrêmes : des phyllades argileux et des grès, avec toutes les roches intermédiaires : quartzophyllades, psammites, dalles (flags), le tout de couleur noir-bleu foncé. A certains niveaux, l'une ou l'autre roche prédomine, ce qui a permis à l'auteur d'établir quelques divisions d'ailleurs peu marquées et sujettes à des variations latérales. Somme toute, les roches, d'après les descriptions macroscopiques et microscopiques, ressemblent fort à celles de notre Salmien de Vielsalm et aussi à celles du Dévonien inférieur de Bastogne. Fait intéressant, il y a parfois des nodules un peu dolomitiques.

Granite. — Au voisinage de l'axe calédonien, deux importantes masses de granite affleurent et une troisième a été reconnue par les puits d'une mine. L'un de ces massifs, celui de Dhoon, émet de nombreuses et longues apophyses sous forme de dykes de microgranite, que leur ressemblance avec les formations semblables des Cornouailles a fait appeler « Elvans ». Ils s'insinuent dans les roches parallèlement à la

direction générale de l'axe du grand pli calédonien, soit à l'Est-Nord-Est. L'autre massif, plus important, est aussi accompagné de dykes de même nature, ayant l'allure des précédents, mais marchant au Sud du granite sans y pénétrer. Comme dans notre Siluro-Cambrien, de nombreux dykes de roches basiques vertes plus anciennes sont connus.

Filons de quartz. — De nombreux et parfois puissants filons de quartz traversent les phyllades et les granites et leur direction est généralement à angle droit avec celle des elvans. Ils sont surtout abondants au voisinage du granite. Ils ont donné lieu à de nombreuses descriptions par l'auteur (53, p. 320), Lomas (61), Harker (43), Hunt (42), et à d'intéressantes discussions sur leur origine. Celles-ci sont de la plus haute importance pour notre sujet. On les observe en minces filons ou en masses lenticulaires plus épaisses. Ils contiennent souvent des minéraux accessoires : mica jaune, chlorite, tourmaline, feldspath, ilménite.

Clivages. — Les phyllades de Manx offrent un magnifique champ d'étude du clivage schisteux, d'après les nombreux exemples que l'auteur en figure. Il y a un fait important qui différencie la région, sous ce rapport, de l'Ardenne. Alors que chez nous, dans la région de Bastogne, le clivage reste parallèle à lui-même et fort incliné, sur presque tout l'anticlinal de Bastogne, dans les phyllades de Manx, les joints de clivage dessinent les deux flancs d'une voûte, chaque flanc inclinant dans le même sens que les couches des anticlinaux déversés qui bordent le synclinorium central. Dans celui-ci la voûte des clivages se manifeste encore par le fort aplatissement des joints de clivage, dont l'inclinaison tombe parfois à 15°-30°. Ce fait, de même que l'existence des deux anticlinaux déversés en sens inverse, démontre que les phyllades ont été soumis à deux poussées probablement successives, dirigées en sens inverse, fait qui n'a certainement jamais été reconnu chez nous.

Conglomérats écrasés. — L'île présente encore un autre phénomène inconnu chez nous, c'est la présence, en certaines zones limitées, de conglomérats écrasés (mylonites ou conglomérats de friction). Comme beaucoup de faits cités ci-dessus, ces conglomérats témoignent à l'évidence que les phyllades de Manx ont été soumis à des actions tectoniques autrement fortes et

compliquées que la région de Bastogne. A cet égard, la région de Vielsalm se rapproche davantage de l'île de Man.

L'auteur signale (p. 71) que, malgré les pressions dynamiques violentes que ces conglomérats ont subies, ils ne présentent aucune trace de métamorphisme autre que les roches qui ont conservé leur stratification. Si l'on examine la carte (p. 84), où l'auteur a représenté l'extension de ces conglomérats et les coupes transversales de la planche II, on voit que les écrasements ne se sont pas produits en des points capitaux des plis, mais sur un des flancs de l'anticlinal Nord (voir fig., ci-après). Rien dans ces documents ne permet de deviner pourquoi, en ce point, la pression s'est traduite là par des écrasements, alors qu'ailleurs elle manifestait ses effets par des plissements, des failles, des étirements et du clivage.

Métamorphisme. — M. Lamplugh a eu le grand mérite d'appeler l'attention sur le cas intéressant de métamorphisme qu'offre l'île. Il a figuré l'extension des divers types de métamorphisme qu'il distingue sur une carte, qu'il importe de reproduire pour l'intelligence de tout ce qui suit (voir fig.). Il distingue trois espèces de métamorphisme : 1° le métamorphisme de contact avec le granite; 2° le métamorphisme régional peu prononcé; 3° le métamorphisme régional intense.

Disons d'abord que l'auteur se déclare incapable de reconnaître, au microscope, les effets du métamorphisme de contact et de les distinguer de ceux du dynamométamorphisme. Après une pareille déclaration, rien d'étonnant à ce que les phénomènes de contact, qu'il signale, soient à peu près nuls. Il ne donne même aucun détail sur les caractères physiques macroscopiques des roches immédiatement en contact avec la roche éruptive, se bornant à signaler qu'au voisinage des dykes ou elvans, la roche est comme recuite, près des dykes les plus importants. Il indique que, au voisinage du granite de Dhoon, l'auréole métamorphique n'est que de quelques mètres et encore peu sensible, à vrai dire, dans des roches siliceuses peu réceptives. Quant à l'auréole du granite de Foxdale, plus importante, dans des roches phylladeuses, elle n'est pas non plus très distincte et elle se limite à un petit nombre de centaines de pieds. La marche à suivre pour une étude d'auréole métamorphique avait cependant été clairement indiquée à l'auteur par les innombrables travaux sur le même sujet, où l'on voit les pétrographes, qui, par l'étude de roches et de

plaques minces, partant des roches inaltérées et se rapprochant graduellement de la roche éruptive, ont ainsi mis en évidence les effets de l'arrivée de cette roche.

Lamplugh (pp. 106 et suiv.) n'a rien essayé de pareil. Il se borne surtout à des affirmations, le plus souvent sans aucune démonstration, si pas contraires à l'évidence. Ainsi, dans une des rares plaques minces qu'il décrit, au contact direct du granite de Foxdale, il signale la présence d'une couche de schiste micacé grenatifère (p. 107). A un mille de là, il y a une zone de métamorphisme intense (voir notre fig.), caractérisée par la présence de la même roche métamorphique. Lamplugh lui attribue une origine dynamique et pourtant il signale qu'un puits de mine creusé au milieu de cette zone a rencontré, à 300 à 400 pieds de profondeur, une masse granitique inconnue, la troisième de l'île. Nous reviendrons sur ce fait capital, s'il en fut, pour notre sujet.

Lamplugh passe ensuite à l'étude du métamorphisme régional peu intense. Il figure son extension sur la carte que nous reproduisons (fig.). Il la montre dessinant une zone très mince, très allongée, courant parallèlement et au Sud de l'axe stratigraphique des phyllades de Manx. Ses bords, dit-il (p. 108), ne sont pas nets, mais elle se fond insensiblement dans la masse. L'altération diminue et disparaît à l'extrémité Nord-Est de la zone et les circonstances empêchent d'étudier la façon dont la zone se termine à l'autre extrémité Sud-Ouest. Dans la zone l'altération varie de place en place et le métamorphisme paraît n'être qu'une intensification locale du développement de séricite qui caractérise tous les phyllades. La zone est confinée dans l'assise intermédiaire, comme position et comme roches entre les phyllades de Barrule au-dessus et les grès de Lonan au-dessous. Après la déclaration que le métamorphisme de cette zone est si peu prononcé, on s'étonne de voir signaler la présence générale, dans les roches de la zone, même parfois à l'œil nu, des minéraux les plus métamorphiques : grenat, tourmaline, biotite brune, chloritoïde, etc.

A cette description, il n'est pas difficile de reconnaître l'identité complète de cette zone avec celle que, à la suite de Gosselet, j'ai appelée (68, p. 29) zone de métamorphisme général, pour ne pas préjuger de son origine comme dans le terme de métamorphisme régional. L'identité entre les zones de métamorphisme général de l'île de Man et de Vielsalm est encore plus frappante que celle que je signale ici avec la zone de Bastogne,

si on laisse de côté la forme de la zone de Vielsalm. Quant aux différences dans les minéraux métamorphiques, elles tiennent aux différences originelles de composition chimique des roches affectées par le métamorphisme.

Lamplugh passe ensuite à la description du métamorphisme intense régional. D'après ce qu'il en dit, on voit qu'il s'agit aussi de ce que, avec Gosselet, nous avons appelé le métamorphisme sporadique. Ce n'est pas tout à fait le sporadisme si parfait de Bastogne avec ses nodules si nettement délimités, peut-être uniques au monde, car jamais je n'en ai vu figurer de pareils, mais c'est bien le métamorphisme sporadique de Vielsalm, plus diffus mais aussi plus étendu, tel qu'il est décrit par les auteurs belges (voir la bibliographie). Lamplugh, sur sa carte (voir notre fig. 1), le montre comme formant, à cheval sur la zone peu intense, deux expansions grossièrement circulaires, de dimension différente et placées symétriquement des deux côtés du massif de Foxdale. Dans son texte, il décrit encore en plus, sans les faire figurer sur sa carte, sans doute parce qu'ils sont beaucoup plus limités, d'autres massifs, notamment celui du Snaefell. Il décrit aussi des cas de sporadisme encore plus restreints, presque identiques à ceux de Bastogne (p. 140), en parlant d'amas (patches) lenticulaires de grenats concentrés autour d'un schiste siliceux altéré et tacheté. Il signale aussi, aux épontes de filons de quartz, un développement de grenats, fait que je n'ai jamais vu, du moins macroscopiquement, à Bastogne, mais qui rappelle le métamorphisme signalé par F. Corin (23) autour de filons de quartz de Vielsalm.

Tel qu'il décrit son métamorphisme intense, il a essentiellement produit un schiste ou phyllite à muscovite ou à biotite, parfois les deux réunis, avec aiguilles de tourmaline parfois et le plus souvent des concentrations (augen ou knots) de grenat. La chlorite est fréquente.

Lamplugh (p. 10, note infrapaginale) signale la ressemblance du métamorphisme qu'il décrit avec celui de Bastogne, étudié par Miss C. Raisin.

Boudinage des roches. — M. Lohest a proposé ce terme plus expressif qu'élégant (38, p. 371) pour désigner une structure de certains bancs, surtout de grès, dont j'ai figuré de nombreux exemples dans mon travail (68). Les figures du travail de Lamplugh montrent plusieurs exemples sinon identiques, du moins très semblables, de pareille structure dans les phyl-

lades de l'île de Man. J'ai notamment vu de nombreux exemples, dans la région de Bastogne, de l'allure des roches qu'il représente dans sa figure 5. Sa figure 17 montre une allure absolument identique à celle de ma figure 5 (68). Sa figure 24 rappelle aussi une structure voisine du boudinage M. Lamplugh, habitué, lors de ses études antérieures, aux allures tranquilles des terrains secondaires et autres plus récents, a été visiblement très impressionné par les bouleversements tectoniques des phyllades de Manx, et de là, à leur attribuer la cause du métamorphisme de l'île, il n'y avait qu'un pas, qu'il a franchi. Cependant à divers endroits il manifeste des doutes, il admet que le problème n'est pas résolu ou bien que le métamorphisme de profondeur ou celui de contact ont pu jouer un rôle dans la production des phénomènes. Nous nous sommes longuement étendu dans l'exposé des belles observations de Lamplugh pour montrer la similitude frappante existant entre la constitution géologique de l'île de Man et celle des régions métamorphiques de l'Ardenne. Comme nous espérons pouvoir prouver que le métamorphisme de l'île de Man est d'origine plutonienne, nous pourrons, par comparaison, en tirer la preuve que le métamorphisme ardennais a aussi la même origine.

Dans le développement de son argumentation en faveur du dynamométamorphisme, il est aisé de voir que l'auteur a été influencé, d'un côté, par une connaissance trop sommaire des phénomènes du métamorphisme de contact et, de l'autre, par des coïncidences entre le métamorphisme et les accidents tectoniques, vagues ou imprécises ou parfois dénuées de l'influence qu'il leur attribue. A tous ces égards, il y a une analogie frappante entre la façon dont Lamplugh a défendu la thèse dynamométamorphique et celle dont, après lui, des géologues belges ont soutenu la même thèse, pour l'Ardenne.

Nous allons maintenant essayer de montrer, point par point, par où pêche l'argumentation, et chemin faisant nous appliquerons notre raisonnement aux points similaires de la controverse qui divise les géologues belges.

I. *Métamorphisme de profondeur.* — Rien dans l'histoire géologique de l'île n'autorise à croire que les phyllades de Manx aient jamais été recouverts d'épaisseur de terrains capables de développer un degré géothermique efficace. C'est à la base des phyllades qu'on a recueilli les fossiles du Cambrien le plus

élevé (Salmien). Le reste pourrait donc être cambrien ou silurien. Lamplugh n'attribue que 500 à 700 mètres minimum à l'ensemble (p. 116) et la zone métamorphique est au milieu de la série. Dans le Westmoreland, le Silurien est tellement plissé et bouleversé qu'on ne peut apprécier sa puissance, mais elle ne paraît pas considérable. Or, avant la fin du Silurien, le plissement calédonien avait déjà émergé l'île et arrêté la sédimentation. L'émersion dura jusqu'au Dinantien supérieur. L'histoire de l'anticlinal de premier ordre qui sépare le bassin houiller du Cumberland de celui du Lancashire montre qu'un soulèvement préhercynien n'a probablement pas manqué bientôt d'émerger cet anticlinal (dont fait partie l'île) et n'a pas permis le dépôt de couches houillères épaisses et continues. Donc, partie du Silurien et du Dinantien, voilà le total de ce que l'on peut accumuler de sédiments. C'est évidemment trop peu pour jouer un rôle de premier plan dans le métamorphisme.

En Ardenne, les chiffres que l'on a alignés sont autrement imposants. Se basant sur les coupes annexées à son travail (39, p. 116), P. Fourmarier a attribué au métamorphisme de profondeur une grande part dans le métamorphisme. Ces coupes montrent, en effet, des épaisseurs de sédiments allant au delà de 10 kilomètres. Ce chiffre est un maximum. On a reconnu depuis qu'il faut rajeunir l'âge des roches d'une partie de la zone métamorphique. De plus, en Ardenne, par suite de l'existence de nombreux plissements et de clivages troublants, il est très difficile d'apprécier la véritable allure des couches, les points d'observation étant de plus rares et nombreux. Il est facile alors de surévaluer les épaisseurs des couches. On conçoit difficilement que durant tout le Dévonien, les facies lithologiques n'indiquant, dans la zone métamorphique, nullement des conditions bathyales, il ait pu s'y accumuler pareille épaisseur de sédiments. Dans les grands géosynclinaux, là où plus tard s'édifient les grandes chaînes de montagnes, le facies arénacé, indice de profondeurs faibles, n'acquiert jamais une prépondérance comme celle qu'il a eue dans le Dévonien, au-dessus de l'anticlinal de l'Ardenne. Comme le dit M. Fourmarier, dans son travail précité, c'est plus au Sud que se trouvait l'axe de ce géosynclinal. Mais, une objection plus grave peut être faite à la théorie du métamorphisme de profondeur. C'est que, d'après son origine, il doit être absolument régional, étendu. Il ne peut pas cesser de produire ses effets localement,

brusquement. Il ne peut pas être sélectif. A conditions égales, il ne peut pas, sans motif explicable, produire des effets très différents. Holzapfel a déjà fait valoir cette grave objection (65, p. 321). Vu son importance, il est utile de la développer. Autour de l'anticlinal minuscule de Serpont, on ne peut raisonnablement supposer que l'épaisseur des sédiments aurait varié, à faible distance, d'une façon appréciable. Alors pourquoi le métamorphisme spécial qui nous occupe est-il à peu près nul au Nord et à l'Ouest du massif de Serpont? Comme j'ai pu m'en assurer depuis la publication de mon travail (68), les effets du métamorphisme disparaissent au Nord du massif susdit bien plus brusquement que ne le feraient croire les tracés de la carte annexée à mon travail et qui, pour ce point, étaient basés sur les levés de la feuille de Bras faits par Malaise. A très petite distance de Remagne, le point le plus métamorphique de la région, et dans des roches de même âge, toute trace de métamorphisme a disparu, alors que la couverture sédimentaire devait être aussi épaisse.

Même observation pour le métamorphisme de Vielsalm. Ce n'est pas dans l'axe de la voûte du massif cambrien de Stavelot, dans les terrains dévilliens ou reviniens, les plus inférieurs et les plus profondément enfouis, que le métamorphisme est le plus accentué. C'est au sommet du Salmien, donc au sommet du Cambrien, que se produit le maximum de transformation. Mais les partisans belges du métamorphisme de profondeur font appel, pour les tirer de cette difficulté, au concours du dynamométamorphisme, de même que M. Lamplugh, partisan du dynamométamorphisme, avait fait appel aux influences de profondeur. Ainsi, M. Fourmarier, constatant que les allures sont plus régulières dans la région de Bastogne qu'ailleurs, dit : « Si l'allure générale des couches, dans ces régions, est restée régulière, les efforts géodynamiques s'y sont fait sentir comme ailleurs; mais, ne pouvant se traduire par une déformation de l'allure des couches, ils se sont manifestés par une transformation de la composition minéralogique de celles-ci ». Gosselet, dans son grand ouvrage *L'Ardenne*, avait déjà largement utilisé cet argument ou d'autres de même genre, pour justifier le dynamométamorphisme. Même en supposant que ce mécanisme puisse servir à justifier la théorie que l'on invoque, et nous montrerons plus loin qu'il n'en est rien, on peut se demander pourquoi le métamorphisme ne s'observe, le long de l'anticlinal principal de l'Ardenne, que dans la

région de Bastogne. Cet anticlinal se prolonge, en effet, avec la même allure, bien loin vers l'Ouest, jusqu'au massif cambrien de Rocroi. La couverture de sédiments n'a pas dû être moindre là qu'autour du massif de Serpont, au contraire. Et pourtant, là, le métamorphisme spécial de Bastogne fait totalement défaut, aussi bien sur le flanc Sud de l'anticlinal qu'ailleurs. On est ainsi fatalement conduit à admettre l'existence, sous les régions de Bastogne et de Vielsalm, de quelque chose manquant ailleurs. Ce quelque chose, pour nous, c'est un grand batholite de roche granitique dont les dimensions seraient en rapport avec celles de la zone métamorphique et qui, dans cette hypothèse, n'aurait pas plus d'extension que le massif de granite de Dartmoor, dans le Devonshire.

Invisibilité du granite. — Lamplugh n'a pas eu recours, pour défendre sa thèse, à l'argument dont Lohest a fait largement usage. Il n'a pas, comme lui, prétendu qu'il ne serait pas conforme à la science moderne de faire appel à des causes mystérieuses, profondes, dans l'espèce, à un granite que personne n'a vu, pour expliquer des faits embarrassants. Dans l'île de Man, le granite est visible et, d'ailleurs, l'Angleterre offre tant d'exemples instructifs de métamorphisme de contact que le scepticisme n'y est guère de mise. Dans les mémoires du Service géologique sur les Cornouailles, par exemple, il est courant de voir les géologues faire appel à l'intervention de massifs éruptifs invisibles pour expliquer la présence de zones métamorphiques. Les géologues anglais ont pour cela de bonnes raisons. Une des plus instructives est le cas du granite de Skiddaw. Dans le Siluro-Cambrien du Westmoreland, une remarquable zone métamorphique de près de 6 milles de diamètre aurait pu exercer la sagacité des géologues si l'érosion de trois petites vallées n'avait pas mis à nu, au fond, trois petits massifs de granite, dont les allures dénotent qu'ils font partie d'une même masse de près de 4 milles au moins de diamètre et à surface sensiblement horizontale, recouverte d'une mince couche de roches sédimentaires ou de tufs volcaniques.

Métamorphisme de contact. — Comme Lohest et d'autres, Lamplugh fait grand état de la faible auréole qui entoure le granite de Dhoon. Celle qui entoure le granite de Foxdale est plus importante, mais néanmoins insignifiante si on la compare, comme extension et comme intensité, à l'auréole du gra-

nite de Skiddaw dont nous venons de parler. Lamplugh aurait pu allonger beaucoup cette liste en y ajoutant des termes vers le bas et vers le haut, et cela lui aurait montré qu'autour des massifs de granite il a tous les termes possibles entre zéro et des auréoles énormes et intenses. Par conséquent, il aurait pu en déduire, non pas que le métamorphisme de contact n'existe pas dans l'île ou est négligeable, mais qu'il faut examiner s'il ne peut pas exister dans l'île d'autres types d'éruptions plus puissantes que les deux qui sont visibles, types qui seraient cachés en profondeur. Cette conduite lui était d'autant plus indiquée que la découverte d'une troisième masse, par un puits de mine, citée plus haut (p. 121), juste sous la zone la plus métamorphique de l'île, lui montrait la solution du problème. Tous les auteurs qui ont décrit les phénomènes de contact des granites sont unanimes à déclarer que seules les grandes masses, les batholites, comme on les appelle maintenant, sont capables de produire de grandes auréoles, et encore ces batholites n'opèrent pas partout de même. Lorsque leurs flancs sont raides et voisins de la verticale (comme dans le petit massif de Dhoon), ils ne produisent sur les roches avoisinantes qu'une action très faible. Le contraire a lieu au sommet de la masse éruptive sur les parois horizontales (comme dans le granite de Skiddaw), ou faiblement inclinées. Le granite de Foxdale, qui a les flancs moins raides que celui de Dhoon, a eu, aussi, une auréole plus accentuée. Quant à la troisième masse granitique découverte par un puits de mine, son sommet se montre avec une auréole métamorphique intense. Si nous comparons l'île de Man à la région de Skiddaw, la conclusion est facile à tirer. Les trois massifs granitiques ne sont que des apophyses ou des protubérances d'un grand batholite profond à caractère laccolithique. Le caractère d'apophyses des deux massifs de Dhoon et de Foxdale est encore prouvé par leur forme allongée suivant la direction des couches (très allongée pour le granite de Dhoon, peu pour celui de Foxdale). Il est difficile de comprendre comment Lamplugh n'a pas été impressionné par ces faits, surtout lorsqu'on voit par quels pauvres arguments (p. 112) il cherche à annihiler l'appui si considérable qu'apporte au métamorphisme de contact la rencontre du granite dans le puits de la mine Old Cornelly, sous les roches les plus métamorphiques de l'île. Naturellement, parmi ces arguments figure l'absence de métamorphisme du granite de Dhoon, absence qui ne prouve rien et qui est conforme à la règle, comme nous

venons de le montrer. En Belgique aussi, on a voulu tirer le même argument contre l'origine plutonienne du métamorphisme de Bastogne, de l'absence ou de la faiblesse du métamorphisme autour des granites de La Helle et de Lammersdorf, alors que ces granites sont des apophyses du type aplitique, qui jamais ne produisent de métamorphisme de contact. Mais, précisément, l'allure d'apophyses pour ces granites ardennais montre qu'ils doivent se rattacher, en profondeur, à un batholite important dont la zone métamorphique constitue l'auréole permettant de déterminer l'extension de la roche éruptive sous-jacente.

Coïncidences du métamorphisme avec la tectonique. — C'est dans certaines de ces coïncidences que Lamplugh, comme Lohest, Fourmarier, Gosselet et d'autres, a voulu rechercher la cause du métamorphisme.

Remarquons d'abord que la voûte de Bastogne est assez régulière; le synclinal de Vielsalm l'est beaucoup moins, et quant au synclinal de l'île de Man, il ne l'est pas du tout. Malgré ces profondes différences tectoniques, le métamorphisme est le même et il aurait la même origine. Voyons de plus près le cas de l'île de Man.

D'après Lamplugh, la zone métamorphique serait confinée dans l'assise intermédiaire et serait parallèle, au Sud, à l'axe stratigraphique central de l'île (53, p. 108). Plus loin (p. 114) il ajoute qu'en examinant les coupes transversales de l'île, qu'il a figurées sur sa planche II, on constate que la zone métamorphique gît près du centre du synclinorium, c'est-à-dire là où les roches ont été enterrées le plus profondément et là où les roches les plus plastiques ont été le plus serrées et chiffonnées.

Nous avons, dans ces affirmations, un bel exemple des coïncidences vagues, ou mêmes inexistantes, dont les dynamométamorphistes se contentent pour étayer leurs hypothèses, car dans tout ce que Lamplugh énonce là, il n'y a rien de fondé. En effet, ce n'est pas dans l'assise intermédiaire que les roches ont été le plus profondément enterrées : c'est évidemment dans l'assise inférieure. Ce n'est pas non plus dans cette assise que sont les roches les plus plastiques : c'est, d'après ses dires, dans l'assise supérieure des phyllades de Barrule. En représentant, sur ses coupes de la planche II, la position de la zone métamorphique d'après sa carte (fig. 29), que nous reproduisons

dans notre figure, on voit que cette zone métamorphique n'est pas près du centre du synclinorium. Sur la coupe n° 1, la zone est à plus de 1,000 mètres au Nord du centre du synclinorium. Sur la coupe n° 2, la zone arrive au bord Ouest du synclinorium et elle atteint le centre de celui-ci dans la coupe n° 3. Mais la lecture du travail de M. Lamplugh montre un fait au moins singulier : c'est qu'il s'est établi dans son esprit une confusion entre le centre du synclinorium tel qu'il le représente sur ses coupes et ce qu'il appelle, indifféremment, axe stratigraphique ou axe structural (tectonique des Belges) (53, p. 108). Ces deux axes, dont le dernier passe par le sommet d'une voûte ou le fond du bassin, tandis que l'autre passe par le pli contenant les roches les plus récentes ou les plus anciennes, coïncident presque toujours, mais les coupes de Lamplugh, si elles sont exactes, montrent que ce n'est pas le cas. Aussi, il est inexact de dire, comme il le fait (p. 119), que le centre du synclinorium est rendu manifeste, sur ses coupes, par la teinte foncée qu'il attribue aux couches les plus élevées. Il est aisé de voir sur ses coupes que le pli contenant les couches les plus élevées est un repli secondaire du flanc de la voûte qui borde au Nord le synclinorium. Le centre de celui-ci reste toujours bien à l'Est, sur les coupes. Mais peu importe, la zone métamorphique ne coïncide ni avec le centre du synclinorium, ni avec l'axe du pli contenant les couches les plus élevées (axe stratigraphique); la zone court obliquement entre les deux.

M. Lamplugh a aussi voulu tirer argument (p. 108) du fait que la zone de conglomérats écrasés dont il a signalé l'existence ferait pendant d'un côté de l'axe structural de l'île avec la zone métamorphique de l'autre. La coïncidence, dit-il ne peut être fortuite. Là où le poids des sédiments était moindre, les mouvements différentiels auxquels les roches ont été soumises ont pu amener leur écrasement, alors que dans la zone métamorphique, cet écrasement, rendu impossible, a été remplacé par du métamorphisme spécial.

Tenant compte de l'observation faite au paragraphe précédent, les deux zones, que l'auteur compare, sont placées du même côté de l'axe structural, sur le même flanc d'un anticlinal couché, mais de part et d'autre d'un pli secondaire de ce flanc. La coupe montre qu'il n'y a pas l'ombre d'une raison pour que le poids des sédiments soit plus fort dans un cas que dans l'autre. La carte de l'auteur (voir notre fig.) montre que la

symétrie qu'il invoque n'existe pas. Dans le Nord-Est de l'île, la zone de conglomérats écrasés va en s'élargissant énormément vers le Nord-Est. Le métamorphisme fait juste le contraire. Dans le Sud-Ouest de l'île, pour faire pendant à la zone du métamorphisme le plus intense, il n'y a absolument aucune trace de conglomérats écrasés. Encore une fois, il nous semble que l'auteur s'est surtout contenté de mots au lieu de faits précis passés au crible d'une sévère critique.

Les dynamométamorphistes ont fréquemment fait appel à l'influence qu'auraient eue certaines allures des terrains, sous l'action des pressions tectoniques, pour déterminer l'apparition de minéraux nouveaux ou de textures particulières. Gosselet, notamment, a fait fréquemment appel à de pareils facteurs. Les allures excessivement plissées et redressées de l'île de Man ne se prêtant pas à fournir des allures faiblement inclinées et peu plissées auxquelles on fait surtout appel, Lamplugh a eu recours au clivage schisteux. Il a reconnu que les plans de clivage dessinent un anticlinal discontinu, et naturellement au sommet de cet anticlinal les joints de clivage sont plats ou peu inclinés. Il déclare (p. 114) que la zone métamorphique coïncide avec cette région de faible pente du clivage, ce qui suggère, dit-il, une relation entre le clivage et le métamorphisme. Ce ne doit pas être une relation de cause à effet, car en maintes occasions il déclare que le clivage est plus ancien que le métamorphisme. Quant à la relation de fait, elle est, comme les autres, imprécise. Sa carte (fig. 29) le montre bien, car tantôt l'anticlinal en question est au Nord, tantôt il est au Sud de la zone métamorphique. A côté de l'anticlinal principal on en voit d'autres, secondaires, au Sud, sans aucune trace de métamorphisme. Pourquoi cette différence?

On sait que l'île, comme toutes les régions à massifs granitiques, est exceptionnellement riche en puissants et nombreux filons de quartz; Harker en a comparé quelques-uns, qu'il a vus, à des filons de greïsen (45, p. 143). Ce seraient donc des filons alliés aux roches granitiques. On sait l'importance qu'a acquise l'étude des filons de quartz de Bastogne dans l'explication du métamorphisme. Elle n'est pas moindre dans l'île, et Lomas (61) a insisté sur le caractère granitique des filons qu'il décrit de l'île, en montrant que là, comme ailleurs, ils représentent le résidu ultime acide des séparations magmatiques des éruptions granitiques. Lamplugh nie cette relation. Il dit (p. 320) qu'il n'a pas constaté de passage graduel des

filons aux elvans et au granite. Quand nous parlerons des filons de quartz de Bastogne, nous montrerons que ce passage graduel peut faire défaut et pourquoi. Cependant, en décrivant (p. 315) un dyke d'elvan, il dit qu'il présente à ses espontes des filonnets de quartz avec gros grenats. Il considère, comme Lohest, pour l'Ardenne, que ces filons sont des ségrégations de la roche encaissante (53, p. 320). Cependant (p. 51), il dit qu'on rencontre fréquemment dans les phyllades de Barrule, qui sont des phyllades argileux homogènes (p. 49), de nombreux filons de quartz pouvant atteindre 5 à 6 pieds d'épaisseur, habituellement d'allure lenticulaire (comme ceux de Bastogne donc) et renfermant les minéraux accessoires que nous avons cités plus haut. On le voit, il va plus loin que Lohest, car celui-ci n'admet la formation de ségrégations comme possible que dans les roches à silice libre (grès, quartzite), tandis que Lamplugh fait sortir ces masses épaisses de quartz de roches argileuses. Les minéraux métamorphiques de l'île sont les plus caractéristiques du métamorphisme de contact évident : grenat, tourmaline, ilménite, biotite brune. Comme le prouvent les plaques minces dont Lamplugh donne la description, ces minéraux, et surtout ceux qui sont aciculaires ou lamellaires, sont orientés en tous sens, indépendants de la schistosité sédimentaire ou de clivage, souvent postérieurs au clivage, comme il le reconnaît. Mais alors, cela exclut l'intervention du dynamométamorphisme dans leur formation. Par définition, il n'y a pas de vrai dynamométamorphisme sans mouvement. Dans les roches argileuses, schisteuses ou phylladeuses, le mouvement accompagné de pression, c'est du laminage, et celui-ci détermine immédiatement l'orientation de tous les minéraux lamellaires ou aciculaires.

Enfin, nous terminerons l'exposé des travaux de Lamplugh par un point de détail qui a son intérêt (p. 110); il décrit un phyllade métamorphique grenatifère affecté de nombreux plissements. Des aiguilles d'ilménite traversent ces plis sans en être affectées. Un fait semblable, fréquemment décrit au contact des roches éruptives, est bien de nature à montrer l'indépendance de la formation de certains cristaux d'avec les phénomènes tectoniques, ici évidemment antérieurs.

D'après tout ce que nous avons dit, il ne paraît pas douteux que le métamorphisme de l'île est d'origine surtout plutonienne et dû probablement à un batholite situé sous la zone de métamorphisme intense avec apophyses plus ou moins puissantes : Foxdale, Dhoon, Old Cornelly.

B. — *Nouvelle-Angleterre.*

Il existe une grande région dont l'étude comparative est de nature à éclairer le problème qui nous occupe. C'est l'extrémité Nord-Est des Apalaches, dans les États de la Nouvelle-Angleterre. On le sait, l'histoire géologique des Apalaches présente avec celle de la Haute-Belgique quantité de points communs. Mais ce qui est petit et peu visible chez nous, là-bas, la Nature, toujours généreuse pour les États-Unis, l'a fait grandiose et éclatant. D'un autre côté, après avoir produit, dans les Apalaches, une chaîne ancienne de premier ordre, elle ne l'a pas morcelée et ensevelie en grande partie sous des dépôts plus récents. Aussi son étude est bien plus aisée, car l'érosion y a mis à nu la structure profonde de la chaîne, tout en en conservant de respectables témoins de ses sommets. Cela nous permet de voir que la portion centrale de la chaîne présente, au point de vue métamorphique, des différences considérables avec la portion du Nord-Est. Depuis longtemps, notamment, la différence des charbons et des roches a attiré l'attention sur le sujet et l'on a constaté que lorsqu'on s'avance dans la chaîne, du Sud-Ouest au Nord-Est, tout devient de plus en plus métamorphique. Comme J. Stevenson l'a montré pour les charbons, le dynamométamorphisme ne peut être invoqué pour expliquer la différence. De même on constate que les régions extrêmement cristallines du Nord-Est ne sont pas plus plissées ni bouleversées que celles des régions pensylvaniennes, qui ne montrent aucun métamorphisme spécial. J. Barrell (11, p. 3) a aussi montré que le métamorphisme de profondeur n'est pas la cause de la différence, car dans la partie pensylvanienne de la chaîne, des terrains fortement plissés et qui ont été recouverts d'énormes couches de sédiments, comparables à celles de l'Ardenne, dans cette partie, ne montrent aucun métamorphisme particulier. Au contraire, dans la Nouvelle-Angleterre, des couches qui n'ont pas été ensevelies à forte profondeur montrent un métamorphisme, pour des couches carbonifériennes, par exemple, très comparable à celui de l'Ardenne qui nous occupe. La cause de la différence, comme de nombreux auteurs l'avaient dit avant lui, doit être recherchée dans l'étonnant développement de roches éruptives variées et surtout des grands massifs, qu'il appelle, avec raison, des batholites orogéniques. Un grand nombre de ceux-ci sont visi-

bles, mais, comme il le montre dans son travail, il en est beaucoup d'autres dont la présence, en profondeur, peut être soupçonnée par l'influence qu'ils ont exercée sur les terrains avoisinants. Ceux qui pensent, comme Lohest, qu'il est archaïque, de nos jours, de faire appel à l'influence de roches éruptives invisibles liront avec fruit le beau travail de Barrell, pour voir ce que vaut cette appréciation.

L'échelle gigantesque suivant laquelle le métamorphisme s'est produit dans la Nouvelle-Angleterre ne permet pas toujours de le comparer avec celui de l'Ardenne, si l'on envisage les couches paléozoïques anciennes qui étaient voisines de puissants batholites et, de ce fait, soumises à une intense transformation. Mais il existe des régions secondaires où des massifs plus restreints, agissant sur des terrains plus récents, ont produit un métamorphisme qui me paraît, par de nombreux points communs, pouvoir être comparé avec celui de l'Ardenne. La comparaison ne peut pas être poursuivie aussi loin qu'on le voudrait, car nous n'avons encore que les grandes lignes des phénomènes. Devant l'immensité de la tâche qui leur incombe, nos confrères américains n'ont pas encore eu le loisir de nous fournir d'études détaillées, accompagnées de coupes minutieuses, de cartes et de schémas qui nous permettraient d'avoir une idée adéquate de ce qui s'observe là-bas. Mais la lecture de ce qui a déjà été publié sur cet intéressant coin des États-Unis me laisse l'impression que c'est là que nous pourrions trouver les faits les plus instructifs pour notre thèse. Comme chez nous, les terrains primaires ont dû subir l'influence de deux grands ridements de l'écorce, dans cette région. Le plus récent, contemporain de notre plissement hercynien, l'autre plus ancien (pré-silurien) que notre plissement calédonien. De part et d'autre, l'échelle stratigraphique du Paléozoïque est la même et les sédiments fort semblables. Les petits batholites présentent aussi, d'après Clapp (16, p. 15), la forme de massifs allongés, suivant la direction générale des couches et intrusifs, dans les couches plissées, généralement le long des anticlinaux, donc tout comme ceux de l'île de Man et ceux que nous soupçonnons sous nos deux régions métamorphiques de l'Ardenne.

Nous ne pouvons nous étendre sur ce sujet ni résumer ce que de nombreux auteurs ont publié, mais on trouvera de nombreux détails, malheureusement trop sommaires, sur les nombreux cas de métamorphisme que présentent, dans les États de

Massachusetts et de Rhode-Island, les terrains cambriens, ordoviciens et carbonifériens, d'après Emerson (35). Dans les deux premiers, l'identité de constitution lithologique et la présence de roches manganésifères ont permis le développement, comme dans notre Cambrien, d'ottrélite, de spessartine et même d'une roche aussi spéciale que notre coticule (35, p. 43). La description qu'il en donne ne laisse pas de doute, et pour compléter la ressemblance, on trouve dans la même localité des filons de quartz avec oligiste spéculaire et d'autres avec rhodonite et rhodochrosite. Le Carboniférien de la région a une composition lithologique qui rappelle celle de notre Dévonien inférieur de Bastogne : conglomérats et arkose à la base, phyllades, quartzites, schistes avec couches de combustible graphitoïde bien connu. Aussi on y trouve un métamorphisme semblable à celui de Bastogne. Abondance de roches grenatifères, passant même au gneiss au voisinage immédiat des grandes masses de granite. De plus, dans ce système, comme dans les précédents, le calcaire n'est pas si rare que dans l'Ardenne; aussi la liaison des silicates de métamorphisme calciques avec ces calcaires est-elle évidente et elle nous autorise à admettre la même liaison en Belgique. C'est ainsi que l'on voit des lits avec actinote ou hornblende (remplaçant sans doute des calcaires dolomitiques) et des lentilles ou nodules ronds hornblendifères, qui représentent probablement le cas le plus semblable à celui des célèbres nodules de Bastogne. L'absence de figures ne permet pas de juger du degré de ressemblance (35, pp. 58, 60, 62, 74). Il y a de nombreuses roches grenatifères ou avec biotite orientée en tous sens, et dans les roches phylliteuses, l'ottrélite apparaît comme accessoire. Il y a de nombreux massifs granitiques d'âges divers, dont les uns sont certainement carbonifères ou post-carbonifères.

2° PARTIE. — LE MÉTAMORPHISME ARDENNAIS.

Après cet essai de comparaison générale du métamorphisme de certaines régions de l'étranger avec celui de l'Ardenne, nous allons maintenant, par une étude de détail de certains points du métamorphisme de l'Ardenne, essayer d'élucider à nouveau les problèmes de leur origine qui n'ont pas fait l'objet des discussions de 1908 ou antérieures et nous nous bornerons à examiner les points nouveaux soulevés depuis lors ou ceux que des études plus complètes nous permettent de traiter avec plus de fruit.

A. — *Coïncidence du métamorphisme avec la tectonique.*

Nous avons déjà plus haut dit que le métamorphisme de profondeur ne montre nullement les coïncidences rigoureuses auxquelles on devrait s'attendre si ce facteur avait joué un rôle prépondérant dans l'affaire. Un simple coup d'œil jeté sur la Carte géologique annexée à mon mémoire (68) montre ⁽¹⁾ que la coïncidence du métamorphisme avec la tectonique n'existe que très localement et ne peut donc non plus être invoquée comme un argument en faveur des idées de dynamométamorphisme. En effet, la zone métamorphique ne coïncide avec l'anticlinal principal de l'Ardenne qu'à son extrémité orientale, là où le métamorphisme est le plus faible. L'axe de la zone qui marque la position des points où la transformation des roches a été la plus intense est entièrement sur le flanc Sud de l'anticlinal et il n'est pas même parallèle à l'axe de cet anticlinal. Il fait avec lui un angle très marqué. S'il y a une certaine concordance entre la localisation de la zone métamorphique et l'anticlinal, c'est que les batholites granitiques, comme celui dont nous admettons l'existence en Ardenne, ont une tendance si marquée à se localiser sous les anticlinaux principaux, que d'aucuns avaient même été tentés de considérer la formation de l'anticlinal comme due à l'intrusion de puissants massifs laccolithiques.

B. — *Absence d'auréoles concentriques dans la région de Vielsalm.*

M. L. de Dorlodot, qui a consacré un travail au métamorphisme de cette région (27, pp. 191-192), invoque, pour écarter l'hypothèse d'une origine plutonienne pour ce métamorphisme, l'argument aussi inévitable qu'insignifiant de l'absence de métamorphisme autour des granites de Lammersdorf et même autour du gîte minuscule d'une roche bien différente, la diabase de Challes. Il dit aussi que l'absence, dans la région de Vielsalm, d'auréoles concentriques de métamorphisme décroissant, prouve l'absence de masses granitiques et de phénomènes de contact. Nous ne savons ce qu'il faut penser

(1) Voir comment Lohest lui-même montre le défaut de coïncidence (56, p. 24, *mém.*).

du fait même de cette absence. Il est hautement à regretter que dans les nombreux travaux consacrés à l'étude du métamorphisme de cette région on n'ait jamais pris la peine de figurer, sur une Carte géologique et tectonique, l'extension des facies métamorphiques de la région. Nous saurions alors ce qu'il faut penser de la question de fait soulevée par M. de Dorlodot. Mais le fait avancé, fût-il réel, qu'il n'aurait pas la portée que lui attribue l'auteur. Quand, autour d'un massif granitique affleurant, on constate la présence d'auréoles concentriques de transformations, la chose n'est pas étonnante. La surface du sol, dans ce cas, nous fournit une coupe horizontale transversale du massif et de ses auréoles. Quand le massif est caché à forte profondeur, la même coupe horizontale n'est plus transversale à tout l'ensemble formé par la roche éruptive et ses auréoles. Les circonstances peuvent très bien faire que la coupe horizontale en question ne coupe que deux ou même une des auréoles et encore très tangentiellement. Pour reconnaître toutes les auréoles et la roche éruptive, c'est une coupe verticale qu'il faudrait alors et d'autant plus profonde que le massif éruptif serait lui-même plus profond.

C. — *Grenats isotropes et anisotropes.*

S'il est un minéral caractéristique des roches de contact granitique, c'est bien le grenat. On peut dire que ce minéral ne fait jamais défaut autour des massifs granitiques importants, chaque fois que les roches de contact renferment les éléments chimiques nécessaires à la formation de ce minéral et de ses variétés, le calcaire, notamment, pour les grenats calciques. Cela étant on pourrait considérer sa présence abondante dans les deux régions qui nous occupent comme un indice certain de la présence du granite, en profondeur. C'est ce que fait M. Holzapfel (65, p. 326). Mais la localisation du grenat dans les roches de contact n'est pas considérée par tout le monde comme exclusive. Il y a des grenats dans des roches non métamorphiques et surtout dans certains schistes cristallins, des Alpes notamment. Pour ces derniers, on a beau jeu de leur attribuer une origine dynamique et de profondeur, car on ne voit, à proximité, aucune roche éruptive capable d'expliquer le métamorphisme intense de ces roches. Mais, depuis que l'on sait que ces roches ont été entraînées bien loin de leur lieu d'origine par les puissants chevauchements dont les massifs

empilés constituent les Alpes, l'origine du métamorphisme de ces roches est redevenue mystérieuse.

Aussi, certains ont voulu trouver dans les propriétés optiques des grenats, étudiés en section mince, un critérium de leur origine. On sait, en effet, qu'il y a des grenats parfaitement isotropes et d'autres anisotropes, qui présentent des phénomènes de double réfraction et dont la structure intime, complexe, est décelée par la présence d'inclusions, souvent foncées, délimitant les individus dont ils sont constitués. Signalés d'abord par Klein, ils ont reçu, de M. Lacroix, le nom de Pyrénéite, à cause des gisements qu'il en a décrits et provenant des Pyrénées. M. Buttgenbach, à la suite d'une étude des grenats de Bastogne (13), qui lui a fait reconnaître, parmi ces minéraux, les deux variétés ci-dessus indiquées, a cru pouvoir utiliser une remarque faite par Brögger touchant l'origine de ces variétés. D'après Brögger, les grenats isotropes caractériseraient les roches du métamorphisme dit régional, que l'on considère généralement comme produit par des agents dynamiques et géothermiques, tandis que les grenats anisotropes auraient cristallisé par pneumatolyse ou par métamorphisme de contact. Dans ces conditions, Buttgenbach se demande s'il ne faut pas attribuer à ces deux variétés de grenat de Bastogne une origine différente, comme le pense Brögger. Que celui-ci ait, bien à tort, généralisé une observation locale, c'est ce qui ressort des citations suivantes que nous pourrions multiplier. On a signalé la présence de grenats isotropes dans des auréoles de contact incontestables des massifs granitiques suivants : autour du massif de Shap en Cumberland (cf. Hutchings, 47, p. 460; Harker et Marr, 46, p. 363); autour des granites des Pyrénées (cf. Lacroix, 50); autour du granite de Skiddaw (cf. Rastall, 67, p. 133).

Mais il y a un fait encore plus significatif : On constate fréquemment que les minéraux des auréoles de contact sont périmorphes. Les zones d'accroissement indiquent que le cristal s'est formé en plusieurs fois. La tourmaline et le grenat sont souvent dans ce cas. Or, pour le dernier, j'ai vu signaler le fait curieux que les couches concentriques sont alternativement isotropes et anisotropes. Dans les auréoles du granite de Shap, Harker et Marr (46, p. 363) ont reconnu non seulement la présence de grenats isotropes, comme nous le disions plus haut, mais aussi de grenats du type pyrénéite et même de grenats périmorphes à couches tantôt isotropes, tantôt anisotropes.

Dans les auréoles de granites chinois, T. Loo a observé (62) des grenats périmorphes semblables. Wichmann en a aussi décrit de pareils (73, p. 749) de la Saxe.

Dans l'état de nos connaissances il n'est donc pas encore possible de se baser sur l'examen microscopique du grenat pour décider de son origine.

D. — *Filons de quartz de Vielsalm.*

Lohest, a longuement insisté sur la similitude du métamorphisme de Bastogne et de Vielsalm et je partage complètement son avis: Holzapfel a prétendu que les filons de quartz des deux régions diffèrent en ce que ceux de Vielsalm ne renferment pas de feldspath et de mica, mais bien de la pyrophyllite, de la chlorite et de l'oligiste. Il a été incomplètement renseigné. Il y a longtemps que l'on sait que les filons de quartz et de dewalquite de la région de Salm-Château renferment aussi du feldspath (65, p. 329). Lohest et Cesàro, entre autres, ont signalé la présence de feldspath où l'on a même pu reconnaître l'orthose et l'albite (14). Quant aux autres différences citées par Holzapfel, elles sont purement locales. Quand, dans la région de Bastogne, apparaissent des roches semblables à celles des environs de Vielsalm, immédiatement on y voit l'ottrélite en masse (gisements bien connus de Séviscôurt et de Serpont), et dans les filons se développent, comme à Salm-Château, de l'oligiste spéculaire, des minerais de cuivre (voir 68, p. 77).

E. — *Boudinage.*

Dans mon travail (68), j'ai signalé, pour la première fois, la curieuse allure que présentent les bancs de grès de la région de Bastogne, allure que Lohest a proposé d'appeler boudinage. Lohest ayant signalé, plus tard, la même allure (38, p. 410) dans les roches métamorphiques de Vielsalm (1), on pourrait croire qu'il y a connexion entre cette allure et les causes qui ont déterminé le métamorphisme. Voici ce qu'il faut penser de cette connexion: Le boudinage typique existe en dehors de la zone transformée et même avec son accompagnement si spécial de veines de quartz fusiformes. La coupe de la figure 2 de mon

(1) Le bel exemple de boudinage, figuré par Anten (8, p. 105), montre à l'évidence l'identité du boudinage de Vielsalm avec celui de Bastogne, et l'on peut donc en tirer les mêmes déductions.

travail a été prise dans des roches ne montrant, à l'œil nu, aucune trace de métamorphisme spécial, mais situées non loin de la limite de la zone transformée. J'ai constaté que cette allure a été reconnue ailleurs, dans l'île de Man, notamment, ce qui fortifierait l'idée de connexion. Mais l'allure s'observe aussi en des régions où l'on ne remarque pas de métamorphisme spécial. A vrai dire, cependant, les cas que j'ai vus décrits sont tous dans des roches anciennes métamorphiques au point d'arriver au développement de phyllades et de quartzites. Dans ces cas, le boudinage, tout en étant semblable à celui de Bastogne, n'est pas identique. A. Harker a cité plusieurs exemples de boudinage dans divers pays, et de ces cas, il ressort que partout le phénomène est localisé dans les terrains où des bancs durs ou compacts sont intercalés dans des roches phylladeuses ou schisteuses, le tout ayant été soumis à la compression ou au refoulement. Par une série de figures prises sur le terrain, il essaie de montrer que de petits plis isoclinaux « en S », produits par refoulement d'un banc dur, pourraient donner lieu ensuite à des renflements et à des rétrécissements. Je pense, au contraire, que les choses se sont passées juste dans la direction opposée. Les bancs soumis au refoulement ont d'abord commencé à se renfler, puis, sous l'influence d'une compression tangentielle légèrement différente sur les deux joints des bancs durs, le renflement s'est petit à petit transformé en un pli isoclinal. Ce qui prouve bien qu'il en est ainsi, c'est que si la pression avait continué à se faire sentir, les plis isoclinaux se seraient rompus et de petites failles de refoulement inverses auraient séparé les divers plis du banc. On pourrait ainsi ajouter une cinquième figure à celles que donne Harker (44). Cette figure on la voit admirablement fournie par la coupe C de la planche XVI d'un travail où Fearnside représente l'allure des couches siluro-cambriennes des North-Wales. Les bancs durs des Tremadoc slates y présentent l'allure finale que je signale avec petites failles, dont l'auteur ne dit malheureusement rien (36), ce qui fait que nous ignorons si les failles ont un remplissage cristallin. Le fait est peu probable, car une faille de refoulement, impliquant une forte compression latérale, exclut l'idée de faille béante pouvant se remplir après coup de cristaux.

Aussi les boudinages signalés par Harker me paraissent, en dernière analyse, n'avoir avec ceux de Bastogne qu'une ressemblance d'allure et non d'origine. De nombreuses observations

que j'ai pu faire, depuis 1907, notamment dans des échantillons de sondages au diamant, m'ont montré que le boudinage est un phénomène beaucoup plus complexe qu'on ne pourrait le croire de prime abord. Il y a plusieurs sortes de boudinage. La question vaut la peine d'être étudiée dans un travail à part. Disons seulement ici que le boudinage de Bastogne a des caractères propres et que par ces caractères il est lié, non pas aux causes qui ont produit le métamorphisme, mais aux effets de ces causes.

Mais il y a un point que nous devons traiter, car il touche de très près à l'importante question de l'origine des filons de quartz de la région, ainsi que de celle de Vielsalm : c'est celui des relations du boudinage avec les failles et les filons quartzeux. J'ai déjà traité ce problème (68, p. 15), mais à une époque où les filons n'avaient pas acquis l'intérêt qu'ils présentent maintenant. De plus, beaucoup d'idées que j'ai émises alors sont à revoir ou à modifier. Actuellement, de mes observations personnelles et des faits signalés ailleurs, je puis déduire la règle suivante : Il peut y avoir des filons de quartz fusiformes ou non, sans boudinage, mais il n'y a pas de boudinage sans filons de quartz ou tout au moins sans fissure ou cassure. Pour expliquer cette connexion, nous allons exposer quelques faits que nous suggèrent les particularités du boudinage et des filons quartzeux :

1° Dans la région de Bastogne, la seule dont je parle ici, les filons quartzeux qui ne remplissent pas des failles sont antérieurs au grand ridement qui a affecté la région. Les coupes de notre travail et quantité d'autres que nous possédons, celles étudiées lors de l'excursion de la Société géologique (38), montrent, en effet, à l'évidence, que les filons ont été couchés, coupés et faillés par ce ridement et qu'ils lui sont donc antérieurs, de même qu'au clivage schisteux résultant de ce ridement. La même remarque peut être faite pour le boudinage, mais de façon moins probante.

2° Les filons se sont formés probablement au moment où toutes les roches étaient dans des conditions très semblables, cas qui n'est réalisé que lorsqu'elles sont dans leur position originelle ou à peu près, c'est-à-dire horizontale. Nous avons observé des filons absolument identiques de forme et de gisement dans des roches présentant toutes les transitions possibles entre l'horizontale et la verticale. Il n'est pas possible que dans des conditions aussi diverses on obtiendrait une pareille simili-

tude de caractères; donc cette similitude était acquise avant la production des pentes si diverses.

3° Si les roches étaient horizontales, il est à présumer qu'elles n'étaient que peu ou pas cohérentes. On peut alors se demander si les fissures, fusiformes ou non, préexistaient au moment du remplissage quartzeux. Je me rappelle avoir vu souvent figurer des bancs de grès avec filons quartzeux analogues, comme allure, à ceux de Bastogne. Il est probable que des causes très variées peuvent les produire. Mais il est absolument certain que les filons de quartz perpendiculaires aux bancs sont infiniment plus rares que les filons ramifiés, si fréquents dans les grès et les quartzites. De plus, nous pouvons dire que ces filons perpendiculaires sont, à Bastogne, d'une abondance absolument insolite. En lisant les descriptions des phénomènes de contact, on est frappé de voir l'abondance des filons de quartz autour des massifs éruptifs et combien souvent ils affectent l'allure lenticulaire, comme d'ailleurs aussi, les apophyses pegmatiques ou aplitiques des roches granitiques.

4° Il existe, dans les terrains non métamorphiques, des bancs de quartzite ou de grès, mais dans aucun, que je sache, on n'observe de veines ou filons de quartz. Cependant, comme composition, comme texture et comme dureté, certains grès du Tertiaire belge supportent la comparaison avec des grès primaires sillonnés de veines de quartz.

J'ignore si la formation de ces veines de quartz a été étudiée de près; aussi j'en suis réduit à mon expérience personnelle, et voici ce que je pense: Les sables qui donnent naissance au grès étant les roches les plus poreuses sont aussi les plus gorgés d'eau. Quand ces sables se transforment, par voie chimique, en grès, ils ne se dessèchent pas rapidement et ne sont donc pas fissurés, donc pas veinés de quartz. Les sables qui se transforment par métamorphisme proprement dit, quel qu'il soit, sont toujours soumis à la pression et à la chaleur, parfois aux deux, donc doivent se dessécher rapidement. Logiquement il me semble que dans le cas d'un métamorphisme lent et progressif, comme le métamorphisme régional (statique ou dynamique), les fissures doivent prendre l'allure ramifiée. Si la fissuration est due au métamorphisme lui-même (écrasement, commencement de formation de brèche, etc.), l'allure ramifiée s'explique encore mieux. Mais la formation de fissures non ramifiées, comme celles de Bastogne, doit exiger des conditions

différentes. Je pense que des bâillements de roches cohérentes, comme ceux auxquels j'ai fait appel dans mon travail (68), ne sont pas admissibles et en tous cas seraient inaptes à jouer le rôle que je leur attribuais. Une forte et assez rapide dessiccation d'un banc horizontal me paraît pouvoir produire des fentes nettes et surtout fusiformes. Dans les bancs ou nodules qui se dessèchent, la fissure produite, telles les fentes des septaria, est plus large au centre que près des bords, donc fusiforme. Si la roche est soumise à une forte pression de haut en bas, sur un banc horizontal, évidemment, les seules fentes qui aient chance de ne pas se refermer par pression, au fur et à mesure de leur production, sont les fentes verticales. Ces fentes ont pu rester béantes un temps plus ou moins long. La preuve c'est que nous avons une de ces fentes encore béante (68, p. 15). Quant à la cause qui aurait produit ces fentes, nous n'en voyons pas qui réponde mieux à toutes les particularités du phénomène que la dessiccation puissante et peut-être rapide due à l'approche d'une puissante éruption avec ses phénomènes pneumatolytiques concomitants. Ceux-ci seuls peuvent, nous le montrerons au chapitre suivant, expliquer la nature du remplissage des veines. Ils peuvent aussi expliquer les faits suivants : A diverses reprises, Lohest a soutenu que les veines de quartz sont confinées dans les bancs de grès et ne se prolongent pas dans les roches schisteuses encaissantes et, de plus, que l'épaisseur des veines est proportionnelle à celle des bancs de grès qui les renferment. Le plus puissant filon de quartz de l'Ardenne se trouve dans la région de Bastogne, à Mousny (Ortho), dans les phyllades du Hunsrückien supérieur. Il a au moins 10 mètres d'épaisseur. Cela suffit pour montrer que la seconde partie de ces assertions n'est pas fondée. Quant à la première, il suffit d'examiner les figures de coupes locales jointes à mon travail pour voir quelle est aussi inexacte, et je possède nombre de coupes inédites semblables. Les figures 4, 20 et surtout 19 sont concluantes. Ces veines de quartz traversant des roches argileuses à Bastogne, comme dans l'île de Man et quantité d'autres régions, la théorie de l'exsudation des parois est impuissante à les expliquer. Par contre, on conçoit que les émanations pneumatolytiques avec leurs agents catalyseurs ont pu les produire. Et l'on conçoit très bien que ces émanations aient choisi, pour se répandre, les bancs les plus perméables, les bancs siliceux d'où, après en avoir rempli leurs fissures, ils se sont plus ou moins insinués dans des roches différentes, dont par un processus de digestion, bien connu

dans les phénomènes exogènes des éruptions, ils ont absorbé les matériaux des parois des ouvertures qu'elles se créaient. Et voilà pourquoi, à côté du quartz et d'autres minéraux d'origine interne, on trouve dans ces filons ou veines des minéraux locaux (en Ardenne, notamment, des minéraux manganésifères). Par la formation de filons de quartz résistants et transversaux, la continuité des bancs a été rompue et ils se sont ainsi morcelés en une série de compartiments, quand, plus tard, sous l'influence de poussées tangentielles, dont tant de coupes de notre travail montrent l'existence, ces compartiments se sont bombés. Quand la pression tangentielle était égale sur les deux joints, le bombement des joints se faisait en sens inverse et il en résultait une forme cylindrique, boudinée (fig. 19, 68). Quand la pression était beaucoup plus forte sur un joint, celui-ci était seul refoulé (même figure, mais cette fois sur le banc supérieur). Quand les pressions ont été très inégales, sur les deux joints, les filons et les boudins se sont couchés et finalement des ruptures, des failles se sont produites et dans la masse plus plastique des roches argileuses, les boudins avec leur filon de quartz adhérent à chacun, ont joué comme dans la figure 8. Dans cette coupe, où le boudinage est peu accusé, il semble que c'est parce que la pression tangentielle n'a pas pu se détendre par le boudinage que les compartiments du banc de grès se sont rompus. Peut-être la rupture se produit-elle quand les grès sont trop consolidés pour se bomber. Des études systématiques de détail pourraient seules résoudre toutes ces questions intéressantes.

Par ces phénomènes de rupture on passe au remplissage de failles par du quartz, cas dont nous avons figuré plusieurs exemples. Ces failles sont ou directes ou normales. Elles sont évidemment postérieures, mais le sont-elles de beaucoup? Je ne le sais. Il se pourrait aussi que leur remplissage fût différent. Mon attention n'a pas été attirée sur ce point, qu'il ne faudra pas oublier dans des études futures.

Comme nous le disions plus haut, donc, le boudinage a, avec le métamorphisme, la relation d'un effet avec sa cause et non le contraire.

F. — *Filons de quartz de Bastogne et de Vielsalm.*

On sait l'intérêt qu'a pris la question des veines de quartz de ces deux régions, pour élucider l'origine de leur métamorphisme, depuis que J. Cornet (24) a proposé de les considérer

comme d'origine éruptive. Cette opinion fut immédiatement adoptée par Holzapfel (38, 65) et Prinz (63), et je n'ai pas hésité à m'y rallier. Lohest a longuement combattu cette idée (59) et il persiste à attribuer à ces filons le mode de formation par exsudation des parois. Non seulement le quartz des filons se serait déposé de cette façon, mais même les minéraux extraordinaires de ces filons auraient pu avoir la même origine, grâce aux conditions particulières de température et de pression, qu'il considère comme les causes du métamorphisme. Pour défendre sa thèse, il a exposé quantité de faits que tout le monde connaît bien et dont la plupart se sont certainement produits dans des conditions tout autres et qui ne sont donc pas pertinents. Personne ne songe plus maintenant à nier la possibilité de dissolution et de circulation, même sans l'appoint de conditions extraordinaires, de beaucoup de minéraux, les silicates de métamorphisme notamment. Mais la possibilité d'un fait ne prouve pas son existence. Aussi, Holzapfel a eu facile de montrer que rien ne prouve les exsudations de substances cristallines hors des parois encaissant les filons quartzeux (65, p. 323). Aux arguments qu'il a fait valoir, je puis encore ajouter les suivants : Si, dans les grès et les quartzites on peut encore concevoir la lixiviation de silice, la chose devient inadmissible pour les filons nombreux encaissés dans les schistes et phyllades, pour le filon puissant de Mousny, par exemple. De plus, en certains endroits, les bancs de grès sont tellement lardés de filons quartzeux que ceux-ci forment près de la moitié de la masse des bancs. Une pareille extraction de matière, hors des roches encaissantes, ne pourrait manquer de se manifester par des tassements et autres phénomènes faciles à concevoir, dont on ne voit pas trace dans les épontes des filons. Quand de gros filons sont intercalés dans des roches siliceuses impures ou argileuses, la lixiviation des parois aurait dû laisser, dans ces roches impures, un abondant résidu insoluble plus pauvre en silice libre et facile à voir. Jamais on n'a vu la moindre trace de pareil fait et jamais on n'a pu, pour les régions que nous étudions, fournir la moindre preuve de la réalité d'une lixiviation des parois. Celles-ci se montrent toujours, à l'œil nu du moins, comme identiques, quelle que soit leur distance par rapport aux filons.

Bien plus, les recherches poursuivies depuis peu d'années par MM. De Rauw (29) et Corin (23, 21, 18) ont singulièrement augmenté nos connaissances sur les filons de la région de Viel-

salm. Tout d'abord, ces recherches ont augmenté la liste des minéraux extraordinaires de ces filons et elles ont confirmé la présence d'un minéral, l'andalousite, le satellite le plus caractéristique et le plus fréquent des auréoles granitiques. De plus, on a montré que, loin d'avoir soutiré la silice de leurs parois, certains de ces filons ont métamorphosé celles-ci en y produisant une faible auréole à aspect de cornéenne, comme celle de certains filons de pegmatite et de quartz éruptif. On ne saurait trop apprécier la contribution à nos connaissances apportée par ces découvertes (1).

Je ne saisis pas la portée de l'observation faite, jadis, par Lohest (38, p. 413), concernant la différence qui existerait entre les régions où le Salmien supérieur est métamorphique et celles où il ne l'est pas, au point de vue du gisement des minéraux manganésifères. Ceux-ci, dit-il, seraient en filons dans le premier cas et ne le seraient pas dans l'autre, dans le bassin de la Lienne inférieure. Mais en tous cas, voici un fait certain : En 1896-1897, j'ai dirigé des recherches de manganèse sur toute la bordure méridionale du massif de Stavelot. Dans toute cette région on rencontre des gîtes de manganèse filoniens, aussi bien dans les zones les plus métamorphiques (Salm-Château-Bihain) que dans celles qui le sont moins (Malempré-Odeigne), et dans celles qui ne le sont guère (Dochamps). Aux affleurements, les minerais sont oxydés (Wad, psilomélane) dans du quartz filonien. En profondeur, le minerai est silicaté (carpholite ou rhodonite). (Recherches encore inédites.)

(1) La description toute récente de nouveaux filons de dewalquite par F. Corin (21, p. 140) est des plus démonstrative. En effet, ces filons envoient dans la roche encaissante des apophyses sous forme de filonets remplis de dewalquite, de mica, de feldspath et de quartz. Les esportes des filons sont ainsi métamorphosés en une roche plus cristalline, non clivable, renfermant des cristaux isolés de dewalquite et de biotite brune, minéral signalé pour la première fois dans le Salmien métamorphique. Il y a aussi le long du filon une zone foncée. On est donc là loin d'un filon qui aurait emprunté son remplissage à la lixiviation de ses parois. C'est lui, au contraire, qui injecte ses éléments dans ses esportes, tout comme une apophyse éruptive.

Le filon de Regné (23), avec sa petite auréole de cornéenne, n'est pas moins instructif.

A. Doyen a insisté avec raison sur l'importance de la présence abondante de tourmaline et d'apatite dans les filons de quartz qu'il a étudiés (33), ainsi que dans leurs esportes. Ces minéraux fluorés et borés sont, en effet, caractéristiques des émanations pneumatolytiques des granites.

Revenons maintenant à la question de fond, à savoir si les filons sont éruptifs ou non. A. Ledoux a jadis annoncé (54) qu'il ne connaissait pas d'exemple de relations entre les filons de quartz et les granites. L'ignorance d'un fait n'a jamais pu passer pour une preuve de la non-existence de ce fait et je pourrais faire étalage d'érudition en citant tous les faits, connus depuis longtemps, où cette relation a été observée, dans des travaux devenus classiques. (On peut citer, en Angleterre : Cl. Sorby, Lomas, A. H. Hunt; en Amérique : T. S. Hunt, E. S. Bastin, Spurr.) On trouvera d'ailleurs une étude complète de la question, avec une bibliographie étendue, dans le beau travail de Baumgärtel (10).

Le problème de l'origine des filons de quartz dits éruptifs est intimement lié à celui de l'origine des filons de pegmatite. Vu la liaison de ces pegmatites avec les gîtes métallifères, le problème a été fréquemment étudié. En consultant les historiques de la question publiés par Elsdén (34), Finlayson (37), Lahee (52), et les travaux classiques de Vogt et de Spurr, on pourra se faire une idée de l'état de la question et des phases par lesquelles elle a passé. Il fut un temps où, à la suite de T. S. Hunt, l'origine purement aqueuse des pegmatites, le jus des granites, comme on les appelait, était opinion courante. Les idées de Lohest n'ont donc pas le mérite de la nouveauté. Actuellement, on ne doute plus que les pegmatites représentent un des stades de la concentration magmatique des grands batholites de granites. Dans ce stade, déjà, on peut observer quantités de faits que Lohest considère comme des preuves d'origine purement aqueuse : Allure lenticulaire des pegmatites, structure zonaire (banded structure), influence des roches encaissantes, etc. Un métamorphisme faible et peu étendu accompagne parfois ces roches qui ne sont pas les derniers produits de la consolidation du granite. Par consolidation progressive des éléments les plus basiques, les plus infusibles ou les plus lourds, la roche devient de plus en plus acide et finalement passe au quartz presque pur, puis au quartz pur. Ce sont ces trois derniers stades qui sont visibles en Ardenne : Des pegmatites déjà riches en quartz, dans les zones du métamorphisme le plus intense; avec elles des filons de quartz pur mais encore très vitreux; en dehors des zones métamorphiques, mais dans leur voisinage immédiat, les nombreux et puissants filons de quartz laiteux de la région de Bastogne (Mousny) et des environs de Vielsalm (Bovigny, cf. Lohest, 56, p. 17, *Mém.*), filons

manganésifères précités. Lohest avait fini par reconnaître qu'il y avait, à Bastogne, de vrais filons (59, p. 280) en rapport avec des phénomènes volcaniques de l'Eifel comme ceux du Bleyberg! Ils sont bien loin les volcans de l'Eifel, et dire que Lohest considère comme archaïque l'idée d'admettre l'existence d'une roche éruptive directement sous la région, à 1 ou 2 kilomètres, probablement moins.

Nous terminerons ce chapitre par une dernière observation. Le fait que des veines de quartz ne présenteraient aucune transition avec la pegmatite ne saurait, à lui seul, être invoqué comme preuve que ce quartz n'est pas en relation avec une roche éruptive. On observe, en effet, très fréquemment, que des apophyses de pegmatite ou d'aplite dont l'origine éruptive n'est plus niée présentent aussi ce défaut de transition avec le granite qui leur a donné naissance, et il est facile de concevoir pourquoi on trouve beaucoup plus de filons sans transition que d'autres. Les massifs granitiques en voie de consolidation et de transformation magmatique passent successivement par les états suivants : 1° l'état granitique durant lequel le massif émet des apophyses de vrai granite. Ce cas est fort rare, car les apophyses sont soumises à des conditions très différentes de celles qui sont nécessaires pour la production de la texture granitique. 2° L'état pegmatite et aplitique souvent concomitants et enchevêtrés. Si les apophyses se maintiennent dans des conditions convenables, elles gardent la même composition et la même texture, fait très fréquent, général. Mais si, en chemin, elles se refroidissent ou continuent leur évolution magmatique, elles passeront graduellement au quartz, tantôt à l'extrémité des apophyses, tantôt au centre de celles-ci. Les deux cas sont visibles en Ardenne et ailleurs. 3° Quand la transformation du massif granitique est arrivée près de sa fin, il n'émet plus que du quartz dont les transitions, peu visibles, peuvent mener d'un quartz éruptif à un stade final filonien presque impossible à distinguer d'un gîte de ségrégation.

G. — *Métamorphisme de la région de Vielsalm.*

Il ne fait pas de doute pour moi que le métamorphisme de cette région est plus intense et plus caractéristique du contact que celui de Bastogne. Il est incontestable depuis longtemps que le métamorphisme général (régional) est bien plus intense; cela saute aux yeux. Si à certains égards, au point de vue des gîtes de métamorphisme sporadique, Bastogne paraît plus frap-

pant; cela ne tient pas à l'intensité de la cause du métamorphisme, mais à des circonstances locales dont nous parlerons plus loin. Les études pétrographiques poursuivies depuis 1908 sur la région de Vielsalm n'ont fait que confirmer de plus en plus les preuves de l'abondance et de l'intensité des transformations et aussi leur ressemblance avec les phénomènes de contact. Je citerai particulièrement les exemples, trop nombreux pour être cités (voir la bibliographie), où l'on a montré l'abondance des nœuds de matière plus ou moins cristallisée avec concentration plus ou moins marquée de pigments métalliques ou autres, nœuds qui sont si éminemment caractéristiques des auréoles de contact (Knoten ou Augen, des Allemands; Spots, des Anglais). Fréquemment ces nœuds sont formés de grenats et qui plus est d'andalousite, comme l'ont montré Anten et Corin, c'est-à-dire du minéral éminemment caractéristique des auréoles granitiques et de celles-là seulement. Quant aux cas de métamorphisme produits par les filons de quartz et signalés par F. Corin (23), ils sont absolument décisifs. On comprend difficilement alors comment les géologues liégeois persistent à nier l'origine éruptive du métamorphisme de Bastogne. Il n'est pas difficile cependant de voir une lente évolution se produire dans leurs idées. Nous avons rappelé, plus haut, que Lohest admettait une relation entre certains filons de quartz et les phénomènes volcaniques. Lohest a aussi abandonné l'idée d'une connexion étroite et parallèle du métamorphisme avec la tectonique. Nous avons déjà, plus haut, p. 135, montré cette absence de parallélisme pour la région de Bastogne. Elle est si frappante que Lohest a jugé utile de la mettre en vedette par une carte (56, p. 24, fig. 4, *Mém.*). Aussi, pour expliquer le côté dynamique de ses concepts, il doit invoquer l'absence de parallélisme, cette fois. C'est par trop élastique. D'ailleurs, s'il n'y a plus concordance entre le métamorphisme et la tectonique, il faut renoncer à invoquer le métamorphisme de profondeur, car, pour une petite région limitée ce métamorphisme de profondeur ne peut pas ne pas concorder avec la tectonique (1).

(1) M. Anten renonce à faire intervenir la chaleur du métamorphisme de profondeur pour expliquer le métamorphisme (6, p. 94). Elle a dû, dit-il, être sensiblement la même et de même durée pour toute la région, le manteau de terrain surincombant paraissant avoir été uniforme sur toute la région.

Les progrès de la locomotion ayant rendu plus aisé le chemin de Damas, nous ne devons pas désespérer d'un accord final.

Dans le massif de Stavelot, d'ailleurs, l'application des théories du métamorphisme de profondeur est particulièrement laborieuse. On a voulu expliquer la différence entre le métamorphisme du Salmien de la Lienne, où il est insignifiant, et celui de Vielsalm, par toutes sortes de raisons fort spécieuses. Ce qui prouve bien que ce n'est pas le facteur de profondeur qui joue un rôle prépondérant, c'est que dans la digitation salmienne de Dochamps, située à côté de celle de Vielsalm et absolument dans les mêmes conditions de profondeur, le métamorphisme spécial fait défaut.

Il y a un autre fait qui a fortement impressionné Lohest (56, p. 15) et Anten (9, p. 31), bien à tort : c'est que le métamorphisme de Vielsalm est stratique, c'est-à-dire spécial à chaque niveau de terrains. Ce fait serait inexplicable dans le métamorphisme de contact, mais s'expliquerait très bien dans le métamorphisme de profondeur. Les cristaux ne se seraient alors formés que dans les strates où préexistaient les matières capables de fournir les éléments nécessaires à la formation des divers cristaux. En niant que cette explication soit valable pour le métamorphisme de contact, ces deux géologues ignorent donc qu'elle a été fournie pour de nombreux cas où le métamorphisme de contact a montré la même sélection par couches. Il semblerait résulter de certaines analyses publiées par Anten, notamment, qu'il tire des conclusions, de l'absence d'alcalis dans des roches métamorphiques, contre leur origine pluto-nienne. Il semblerait, dis-je, qu'il suppose qu'il y a toujours apport de matières étrangères dans les cas de contact. Toute la littérature concernant ces phénomènes de contact proteste contre cette nécessité. Il y a des cas où il y a apport et d'autres où l'on a prouvé qu'il n'y en avait absolument pas.

Enfin, pour finir, je rencontrerai une objection qu'on s'étonne de trouver sous la plume d'un géologue : Pour Lohest, s'il existait du granite sous la région de Vielsalm, il ne devrait pas exister sous le Salmien de cette région, mais sous la voûte devillienne, centrale de Hourt (56, p. 17). Cette observation aurait du fondement si le granite était un terrain sédimentaire plus ancien que le Devillien, car, alors, sa place serait sous le Devillien, à Hourt; mais le granite étant une roche intrusive, par définition peut faire éruption n'importe où, tout en ayant une certaine propension à se trouver au voisinage de l'axe des anticlinaux.

H. — *Sporadisme dans le métamorphisme de l'Ardenne.*

Dans tous les exemples de métamorphisme de contact qui ont été décrits, on mentionne la présence de concentrations locales soit par couches ou par bancs, soit par petits nœuds ou taches, de minéraux de néoformation ou de pigments de la roche. Mais des exemples de nodules, comme nous les avons appelés, aussi volumineux, à limite aussi nette et à remplissage aussi différent de celui de la roche encaissante, que ceux que j'ai décrits et surtout figurés de Bastogne, sont rarissimes. Peut-être cela ne tient-il qu'au défaut de figuration des concentrations signalées ailleurs.

A la suite d'une étude que j'ai faite de ces cas de sporadisme, je suis persuadé que l'origine de la localisation extrême, dans le cas de Bastogne et d'autres régions, doit être recherchée dans un fait sur lequel Lohest a attiré l'attention à propos du gisement du coticule. D'après lui, des silicates de métamorphisme se formeraient surtout là où existait primitivement du calcaire, en bancs minces dans le cas du coticule de Vielsalm, en nodules dans le cas des nodules de Bastogne. J'ai, en effet, pu constater que la même suggestion a été émise, à l'étranger, et son fondement prouvé, dans des cas de concentration analogues, dans des auréoles métamorphiques. Voyons quelques cas.

Dans l'assise inférieure des phyllades de Manx, d'après Lamplugh (53, pp. 34 et 96), il y a des nodules de calcaire dolomitiques. Par métamorphisme sélectif, il s'y développe du grenat, de l'épidote, de la zoizite et du sphène. Ce fait est une analogie de plus entre Bastogne et l'île de Man. J. W. Sollas (66) signale que dans les schistes ordoviciens, au voisinage du granite de Carrickmines, il y a une couche d'un demi-pouce d'épaisseur de cornéenne grenatifère grise, dense, avec 12 % de MnO. Il signale sa ressemblance avec le coticule de Belgique. Harker et Marr (46, p. 369) ont constaté, dans les calcaires de l'auréole du Shap granite, des nids ovoïdes possédant une croûte formée de plagioclases avec pyroxène, oxyde de fer et noyau d'idocrase. Voulant rechercher la cause de cette localisation, ils ont constaté, dans les calcaires siluriens de Coniston environnants, mais à distance du granite, la présence de taches claires formées de dolomie presque pure. Dans le même cas, des nodules calcaires aplatis des Stockdale shales ont un noyau de calcaire cristallin (calicite) et une croûte formée de pyroxène et autres silicates. Cet exemple est extrêmement instructif, car il montre

que l'hypothèse de Lohest doit être amendée. Ce n'est pas en calcaire que les bancs ou nodules devaient être originellement constitués, mais en dolomie. En effet, beaucoup de silicates de métamorphisme sont surtout magnésiens. Ceux de l'Ardenne sont surtout dans ce cas, et voilà qui explique pourquoi, d'après les analyses, publiées par Renard et autres, du coticule, cette roche est si pauvre en calcaire. Le calcaire des fossiles paraît peu réceptif du métamorphisme, car dans les cas classiques de roches métamorphiques avec fossiles et grenats, andalousite, etc., les cristaux sont à côté des fossiles, mais ceux-ci ne sont pas métamorphosés. L'objection que j'avais cru pouvoir faire à l'idée de Lohest n'était donc pas fondée. Rastall (67, p. 132) signale la présence, près du granite de Skiddaw, d'une bande de roche actinotifère, probablement due au métamorphisme d'un banc calcaire ou dolomitique interstratifié dans les phyllades. Kilroe a décrit ⁽¹⁾, dans les roches métamorphiques du comté de Donegal des nodules grenatifères aussi nettement délimités, et même plus que ceux de Bastogne. Ils peuvent avoir 2 pieds de diamètre et sont plongés dans du schiste très micacé. La région porte l'empreinte de poussées énormes qui ont laminé et étiré non seulement le granite, mais les roches métamorphiques à nodules. Aussi, ceux-ci sont curieusement crevassés. Des bancs de quartzite intercalés dans des schistes ont été tronçonnés, comme à Bastogne. Mais, par suite des poussées tangentielles, les joints séparant les tronçons sont fortement couchés et il se forme ainsi un boudinage très particulier (68, p. 16, fig. 4). Plus loin (p. 22), il signale des masses noduleuses de roche hornblendifère, fortement étirées, dans des schistes micacés. Il paraît donc là y avoir un métamorphisme comparable à celui de Bastogne. Ces faits sont à ajouter à ceux que j'ai déjà signalés dans mon travail antérieur.

I. — *Age du métamorphisme de l'Ardenne.*

Ce que j'en ai dit dans mon travail doit être considéré comme non avenu. Le granite de Bastogne a dû faire éruption après le dépôt du Dévonien inférieur qu'il a transformé. Nous avons donné, dans notre travail (68), de nombreuses preuves que les filons de quartz, derniers épanchements de ce granite, ont été

(1) *Geol. surv. of Ireland.* Mém. explic. des feuilles, 22, 23, 30, 31. Co Donegal.

affectés par une poussée tangentielle qui ne peut être que la poussée hercynienne. Cela étant, nous avons les limites d'âge du granite dont l'âge exact ne peut encore, pour le moment, être déterminé. Je ne vois aucun inconvénient à supposer, comme Holzapfel, que ce granite serait carbonifère comme beaucoup de massifs du Nord-Ouest de l'Europe. La grande ressemblance entre le métamorphisme de Bastogne et celui de Vielsalm est une présomption que les deux roches éruptives qui les ont produits sont contemporaines, mais ce n'est pas une preuve décisive. D'ailleurs, pour Vielsalm, la question est beaucoup plus complexe, on l'a déjà dit. Un fait est certain. La base du Gedinien qui repose en discordance sur le Salmien métamorphique est aussi métamorphique. Gosselet y a trouvé des roches à biotite (41). Lohest et De Rauw y ont trouvé des roches ottrélitifères. De Rauw a découvert un filon de quartz tourmalinifère, comme celui de Remagne, dans l'arkose de la base du Gedinnien (28). Il y a donc là un métamorphisme post-Gedinnien. Mais d'un autre côté Gosselet a, jadis, découvert dans le poudingue de base du Gedinnien un caillou de coticule (41).

Pareil fait est considéré unanimement comme une preuve que ces roches étaient déjà métamorphiques au moment où la mer gedinnienne les a arrachées au terrain salmien sous-jacent. Dans ce cas il y aurait à Vielsalm deux métamorphismes d'âge différent. Gosselet voyait dans ce fait une preuve que le métamorphisme de la région ne pouvait être d'origine granitique. Deux éruptions d'âge différent, pour expliquer un phénomène, cela lui paraissait une complication inadmissible. Dans quantité de régions paléozoïques, on sait cependant qu'il y a eu deux phases d'éruptions granitiques d'âge très différent. Mais y a-t-il eu réellement deux éruptions à Vielsalm? M. Anten (9, p. 30) répond négativement. Pour lui, la rareté des cailloux de coticule dans la base du Gedinnien serait la preuve que cette roche était encore à l'état peu métamorphique d'un schiste ordinaire lorsqu'elle a été arrachée de son gisement par les flots de la mer dévonienne. Il voit une preuve de cette affirmation dans l'extrême rareté des cailloux de coticule dans le Gedinnien.

L'argument me paraît peu convaincant si l'on tient compte de la proportion infime de coticule dans la masse du terrain salmien. Il admet donc que le coticule a été métamorphosé alors qu'il était enclavé dans la base du Gedinnien, pendant que

les phyllades voisins devenaient otréilitifères, dans cette base du Gedinnien. On a d'ailleurs constaté (Corin, 19) que les cailloux de phyllade salmien enclavés dans le poudingue gedinnien de Malempré sont identiques à la roche que l'on voit, en place originelle, à peu de distance. On a toujours admis que des cailloux roulés devaient déjà avoir un certain métamorphisme et surtout une certaine dureté pour pouvoir être roulés. Mais jusqu'où allait ce métamorphisme? Toute la question est là. Théoriquement il ne me semble pas impossible d'admettre la thèse de M. Anten, surtout dans le cas d'un métamorphisme de contact où les roches ne sont pas soumises à des déformations qui risqueraient fort de modifier des cailloux bien autrement que les roches en masse. Le principal argument en faveur de l'antériorité du métamorphisme du Cambrien par rapport à celui du Gedinnien paraît résider dans l'unique caillou de coticule découvert, jadis, par Gosselet. Or, récemment, les pétrographes liégeois, Corin, Anten, nous ont fait connaître l'existence, dans le Salmien, à un pas du Gedinnien, d'un pseudo-coticule à caractères extérieurs semblables à ceux du vrai coticule. Je ne sache pas qu'une étude pétrographique ait été faite du caillou de Gosselet. Aussi, tout compte fait, il me semble prudent, jusqu'à plus ample information, d'admettre qu'il n'y a eu, dans la région de Vielsalm, qu'un métamorphisme post-Gedinnien, comme celui de Bastogne.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANTEN, J., Sur la présence du cuivre natif dans le Salmien supérieur et sur une variété particulière de coticule qu'il accompagne. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XLI, *Bull.*, p. 115.)
2. — Contribution à l'étude du Salmien métamorphique dans la région de Recht. (*Id.*, t. XXXIX, *Mém.*, p. 397.)
3. — Sur la présence de la pholérite du massif de Serpont. (*Id.*, t. XLIX, *Bull.*, p. 62.)
4. — Un charriage dans le Sud du massif de Stavelot. (*Id.*, t. XLIX, *Bull.*, p. 148.)
5. — Note sur le métamorphisme d'un phyllade salmien au contact de l'arkose gedinnienne. (*Id.*, t. XXXVIII, *Bull.*, p. 113.)
6. — Note sur une roche particulière du Salmien inférieur. (*Id.*, t. XLVIII, *Bull.*, p. 93.)
7. — A propos des noyaux du phyllade à coticule. (*Id.*, t. XLVIII, *Bull.*, p. 197.)
8. — Sur le métamorphisme d'un pyllade oligistifère salmien. (*Id.*, t. XLIX, *Bull.*, p. 104.)

9. ANTEN, J., Le Salmien métamorphique du Sud du massif de Stavelot. (*Mém. in-4° de l'Acad. roy. de Belg.*, 1923.)
10. BAUMGAERTEL, B.-G.-I., Eruptive Quàrtz-Gänge in der Umgebung des Voigtländisch-westerzgebirgischen Granitmassive. (*Zeitschr. d. deutschen geol. Ges.*, t. LXIII, p. 175.)
11. BARRELL, J., Relations of subjacent igneous invasions to regional metam. (*Amer. journ. of science*, 5^e sér., v. I, pp. 1, 174, 255.)
12. BONNEY, T., Quartz dykes near Foxdale. (*Geol. Magazine*, 1903, p. 138.)
13. BUTTGENBACH, R., Les grenats de Bastogne et de Salm-Château. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XLV, *Bull.*, p. 23.)
14. CESARO, G., Présentation de Quartz de Vielsalm. (*Id.*, t. XXXVII, *Bull.*, p. 117.)
15. — Zircon du schiste métamorphique de Remagne. (*Id.*, t. XXXVII, *Bull.*, p. 87.)
16. CLAPP, Ch., Geology of the igneous rocks of Essex Co Massachusetts. (*U.-S. Geol. Survey Bull.*, n° 704, 1921.)
17. CORIN, F., Sur la présence de coticule au Nord du défilé de la Salm. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XLVIII, *Bull.*, p. 198.)
18. — Un nouveau gîte de Dewalquite à Salm-Château. (*Id.*, t. LII, *Bull.*, p. 27.)
19. — Sur le métamorphisme d'un poudingue gedinnien entre Baneux et Malempré. (*Id.*, t. LI, *Bull.*, p. 100.)
20. — Contribution à l'étude de la Dewalquite. (*Id.*, t. LI, *Bull.*, p. 100.)
21. — Sur quelques roches aimantifères à l'Est de Vielsalm. (*Id.*, t. LI, *Bull.*, p. 67.)
- 21bis. — La bordure gedinnienne métamorphique du massif de Stavelot. (*Id.*, t. LII, *Bull.*, p. 127.)
22. — Compte rendu de l'excursion de la Société géologique à Vielsalm. (*Id.*, t. L, *Bull.*, p. 292.)
23. — Un nouveau filon d'andalousite à Regné. (*Id.*, t. LIII, *Bull.*, p. 16.)
- 23bis. — Contribution à l'étude du Salmien. (*Id.*, t. LI, *Bull.*, p. 30.)
24. CORNET, J., Sur l'origine de filons quartzeux de Bastogne. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXII, p.-v., p. 305.)
25. COSYNS, G., La tourmaline de Remagne. (*Id.*, t. XXXVI, p.-v., p. 172.)
26. DANNENBERG et HOLZAPFEL, Les granites des environs d'Aix-la-Chapelle. (*Id.*, t. XXII, p.-v., p. 513.)
27. DE DORLODOT, L., Contribution à l'étude du métamorphisme du massif de Stavelot. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXVII, *Mém.*, p. 145.)
28. DE RAUW, Un filon de quartz tourmalinifère à Petit-Thier. (*Id.*, t. XXXIX, *Bull.*, p. 179.)
29. — Note sur la salmite, le rutile et la tourmaline d'Otré. (*Id.*, t. XXXVIII, *Bull.*, p. 209.)
30. — Phyllade otréolitifère de Séviscourt. (*Id.*, t. XLI, *Bull.*, p. 315.)
31. DE RAUW et LOHEST, Une couche de phyllade otréolitifère interstratifiée dans l'arkose de Salm-Château. (*Id.*, t. XXXVII, *Mém.*, p. 109.)

32. DE RAUW, Un gîte filonien de manganèse en Ardenne. (*Id.*, t. XXXV, *Mém.*, p. 13.)
33. DOYEN, A., Note pétrographique concernant les filons quartzeux de Bastogne (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXVII, p.-v., p. 170.)
34. ELSDEN, Origin of pegmatite veins. (*Geol. Magazine*, 1904, p. 308.)
35. EMERSON, C.-K., Geology of Massachusetts and Rhode Island. (*U.-S. geol. Survey Bull.*, n° 597, 1917.)
36. FEARNSIDES, W., On the Tremadoc slates of S.-E. Carnarvonshire. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, 1910, p. 142.)
37. FINLAYSON, Ore bearing pegmatites. (*Geol. Magazine*, 1910, p. 19.)
38. FOURMARIER-LOHEST et STAINIER, Compte rendu de l'excursion de la Société géologique à Vielsalm et à Bastogne. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXV, *Bull.*, p. 351.)
39. FOURMARIER, P., La tectonique de l'Ardenne. (*Id.*, t. XXXIV, *Mém.*, p. 15.)
40. GOSSELET, J., Etudes sur l'origine de l'ottrélite. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XV, p. 202.)
41. — Sur la présence de coticule dans le poudingue de Salm-Château et de la biotite dans les schistes qui accompagnent l'arkose gedinienne. (*Id.*, t. XV, p. 104.)
42. HUNT, A.-R., Vein-quartz and sands. (*Geol. Magazine*, 1903, p. 212.)
43. HARKER, A. Granite and quartz veins. (*Id.*, 1903, p. 95.)
44. — On local thickening of beds by folding. (*Id.*, 1889, p. 69.)
45. HARKER, A. The Grainsgill greisen. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LI, p. 139.)
46. HARKER et MARR. Supplementary notes on the metamorphic rocks surrounding the Shap granite. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XLIX, p. 359.)
47. HUTCHINGS, W. Contact metamorphoses of the Shap granite. (*Geol. Magazine*, 1891, p. 460.)
48. KING, Cl., Report on the expedition along the 40th. Parallel. (Geology, t. I, p. 167.)
49. KLEMENT, S., Analysen einiger Mineralien und Gesteine aus Belgien. (*Tschermack's min. u. petrog. Mitth.*, t. VIII, 1881.)
50. LACROIX, A., Les granites des Pyrénées et leurs phénomènes de contact. (*Bull. serv. de la carte géol. de France*, v. 10, b. n° 64; vol. 11, b. n° 71.)
51. LEGRAYE, A propos d'une note de M. Quirke sur le boudinage de Bastogne. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XLVII, *Bull.*, p. 188.)
52. LAHEE, Metamorphism and geological structure of the Narragansett Peninsula. (*Amer. Journ. of Science*, 4^e sér., t. 34, 1912.)
53. LAMPLUGH, G.-W., The geology of the Isle of Man. (*Mem. of the Geol. Survey*, London, 1903.)
54. LEDOUX. *Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXVII, p.-v., p. 178.

55. LOHEST, M., A propos de la présence du Zircon à Remagne. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXVII, *Bull.*, p. 89.)
56. — Sur le métamorphisme de la zone de Salm-Château. (*Id.*, t. XXXVIII, *Mém.*, p. 11.)
57. — Un échantillon de quartz de Vielsalm. (*Id.*, t. XXXVII, *Bull.*, p. 117.)
58. — Excursion aux régions métamorphiques de l'Ardenne. (*Livre-guide des excurs. du XIII^e Congr. géol. int.* Exc. A. 3.)
59. — De l'origine des veines des terrains primaires de Belgique. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXVI, *Bull.*, pp. 200, 245 et 275.)
60. LOHEST et FORIR, Stratigraphie du massif cambrien de Stavelot. (*Id.*, t. XXVbis, *Mémoires in-4^e*, 1900.)
61. LOMAS, J., Quartz dykes near Foxdale. (*Geol. Magazine*, 1903, p. 34.)
62. Loo, T., On the optical anomalies of some garnets produced by contact-metamorphism. (*Bull. geol. Survey of China*, 1920, n^o 2, p. 87.)
63. PRINZ, W., Les micas des filons granitiques de Bastogne. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, 1909, *Bull.*, p. 129.)
64. — La déformation de phyllades ardennais n'est pas attribuable au flux des solides. (*Id.*, 1905, *mém.*, p. 449.)
65. — Compte rendu d'un travail de Holzapfel sur les régions métam. de l'Ardenne. (*Id.*, 1909, p.-v., p. 320.)
66. QUIRKE, T., Boudinage an unusual structural phenomenon. (*Bull. geol. Soc. of Amer.*, t. XXXIV, p. 649.)
67. RASTALL, R., The Skiddaw granite and its metamorphism. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, 1910, p. 116.)
- 67bis. SOLLAS, J.-W., On a fragment of garnet hornfels. (*Sc. proc. of the roy. Soc. of Dublin*, t. VII [n. sér.], p. 48.)
68. STAINIER, X., Sur l'origine et le mode de gisement des roches métamorphiques de Bastogne. (*Mém. in-4^e Acad. roy. de Belgique*, 1907.)
69. TEALL, J., Anniversary adress of the President. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, 1902, p. 1.)
70. VAN WERVEKE, L., Ueber Ottrelithgesteine von Ottrez und Vielsalm. (*Neues Jahrb. f. Min.*, 1885, t. I, Abh., p. 227.)
71. — Rutil im Ottrelithschiefer von Ottrez und im Wetzschiefer der Ardennen. (*Id.*, 1880, t. 2, p. 281.)
72. VAN HISE, *Ann. rep. of the dir. of the geol. Survey U.-S.*, 1888-89, p. 457.
73. WICHMANN, *Zeits. d. deutsch. geol. Ges.*, t. XXVII, 1875, p. 749.
74. ZIRKEL, Die Phyllit von Recht im Hohen Venn. (*Verh. nat. Ver. f. pr. Rheinl.*, t. XXXI, *Verh.*, p. 83.)