

MÉMOIRES

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

BRUXELLES

TOME IX — ANNÉE 1895

SUR L'ORIGINE DE LA DOLOMIE

DANS LES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES

PAR

M. C. Klement

Aide-naturaliste au Musée Royal d'Histoire Naturelle de Bruxelles.

INTRODUCTION HISTORIQUE.

Il y a probablement peu de roches simples dont l'origine ait donné lieu à tant de discussions scientifiques que la dolomie. Depuis que *Dolomieu* (1), en 1791, eut attiré l'attention du monde savant sur cette roche, dénommée en son honneur par *Saussure* (2), un grand nombre de savants, géologues, lithologistes et chimistes, se sont occupés de cette question, et les hypothèses les plus variées ont été émises, sans qu'on eût trouvé jusqu'ici une solution complète du problème.

Le plus grand nombre de ces hypothèses, se basant surtout sur le manque de stratification et sur la rareté de fossiles bien conservés dans la roche typique, admettent pour la dolomie une formation *indirecte*, par voie de métamorphisme du calcaire déposé par l'action

(1) D. DOLOMIEU. *Journ. de Phys.*, 1791, 39, p. 3.

(2) H. B. DE SAUSSURE. *Voyage dans les Alpes*, 1796, § 1929.

des organismes. Mais quand il s'agit de savoir de quelle manière cette transformation du calcaire en dolomie s'est opérée, les opinions sont des plus divergentes.

La théorie la plus ancienne de l'action de vapeurs magnésifères d'origine volcanique, telle qu'elle a été développée par *Arduino* (1), *Heim* (2), *L. von Buch* (3), *Frapolli* (4) et *Durocher* (5), est aujourd'hui complètement abandonnée et n'a plus qu'une valeur historique. La possibilité d'une transformation partielle et peu étendue, par l'action volcanique, est cependant démontrée par l'observation suivante de *Coquand* (6) : à Rougiers (Var), le calcaire coquillier a été dolomitisé au contact du basalte jusqu'à une distance d'un mètre environ.

Un second groupe de savants admettent un apport de magnésie par voie humide, soit sous la forme de sulfate ou de chlorure, soit sous celle de bicarbonate. Ainsi, par exemple, *Dana* (7) a émis l'opinion que la magnésie fut introduite dans le calcaire par l'action de l'eau chaude renfermant de la magnésie. D'autres, tels que *de Collegno* (8), *von Alberti* (9) et surtout *Haidinger*, frappés par l'association si souvent observée de dolomie et de gypse, furent d'avis que les deux roches doivent avoir pris naissance par la même action chimique. *A. von Morlot* (10) fut le premier qui réussit à démontrer que, à une température de 200° et sous une pression de 15 atmosphères, le calcaire est décomposé par le sulfate de magnésium, avec formation de gypse et de carbonate magnésien. *Marignac* a obtenu un résultat

(1) ARDUINO. *Osservazioni chimiche sopra alcuni fossili*, Venise, 1779. — Cf. DAUBRÉE. *Ann. Mines*, 1859, **16**, p. 169, où l'on trouvera encore beaucoup d'autres renseignements intéressants sur la formation de la dolomie (pp. 173, 197 et 409).

(2) HEIM. *Geol. Beschreibung des Thüringer-Waldgebirges*, 1806, **2**, (5), p. 99.

(3) L. VON BUCH. *Sur la dolomie du Tyrol*. (*Ann. Chim. Phys.*, 1823, **23**, pp. 276 et 396, et *Leonhard, Taschenb. Min.*, 1824, pp. 251, 272 et 322.)

(4) L. FRAPOLLI. *Faits qui peuvent servir à l'histoire des dépôts de gypse, de dolomie et de sel gemme*. (*Bull. Soc. géol., France*, 1847, **4**, p. 832.)

(5) J. DUROCHER. *Production artificielle de la dolomie sous l'influence de vapeurs magnésifères*. (*Compt. rend. Acad., Paris*, 1851, **33**, p. 64.)

(6) COQUAND. *Modifications éprouvées par les calcaires au contact et au voisinage des roches ignées*. (*Bull. Soc. géol., France*, 1841, **12**, p. 340.)

(7) J. D. DANA. *On the Metamorphic changes produced by heat in the associated sedimentary deposits*. (*Amer. Journ. Sc.*, 1843, **45**, p. 120.)

(8) P. DE COLLEGNO. *Bull. Soc. géol., France*, 1835, **6**, p. 111.

(9) F. VON ALBERTI. *Beitrag zu einer Monographie des bunten Sandsteins*, 1834, p. 309.

(10) A. VON MORLOT. *Ueber Dolomit und seine künstliche Darstellung aus Kalkstein*. (*Haidinger, Naturw. Abhandl.* 1847, **1**, p. 305) et *Compt. rend. Acad., Paris*, 1848, **26**, p. 311.

analogue en opérant, dans les mêmes conditions, avec le chlorure de magnésium, et Favre (1) a fondé sur ces expériences une hypothèse sur la formation de la dolomie, qu'il a appliquée surtout aux dolomies du Tyrol; les éruptions volcaniques auraient fourni la température nécessaire. Sainte-Claire Deville (2) a obtenu un produit dolomitique par l'action du chlorure de magnésium sur des fragments de craie ou de madrépores, un peu au-dessus de 100°. Enfin M. Hoppe-Seyler (3) a étudié l'action des divers sels de magnésium, en solution diluée, sur le carbonate de calcium; il constate que par l'action du bicarbonate de magnésium ou du sulfate et du chlorure en présence de l'acide carbonique, en tube scellé et à une température de 100 à 160°, il se forme un mélange de magnésite et de dolomie; en dessous de 100°, dans aucun de ses nombreux essais, cette réaction n'a eu lieu. Il conclut à la formation de la dolomie par voie de métamorphisme sous l'influence d'éruptions volcaniques.

D'autres savants voient dans le bicarbonate de magnésium l'agent transformateur. Ce corps changerait d'abord une partie du calcaire, par double décomposition, en carbonate neutre de magnésium, qui de son côté formerait avec le calcaire restant le sel double, la dolomie; tandis que le calcium éliminé est emporté, à l'état de bicarbonate, par l'eau. On invoque pour cette opinion les nombreuses pseudomorphoses de dolomie sur calcite, qui, évidemment, se sont formées d'une manière analogue. Le point faible de cette théorie, c'est l'origine de la magnésie en quantités suffisantes pour opérer la transformation sur une grande étendue; on a dû avoir recours, à cet effet, à des hypothèses supplémentaires, telle que l'action de sources magnésiennes, chaudes ou froides. Des opinions de ce genre ont été exprimées entre autres par Jackson (4), par Nauck (5) pour les roches de la région de Wunsiedel (Bavière); par Hausmann (6) pour le gisement du Hainberg, près Göttingue, par Pfaff (7) pour les dolomies du Jura

(1) A. FAVRE. *Sur l'origine des dolomies du Tyrol.* (Bull. Soc. géol., France, 1849, 6, p. 318.)

(2) CH. SAINTE-CLAIRE DEVILLE. *Sur l'action des chlorures et des sulfates alcalins et terreux dans le métamorphisme des roches sédimentaires.* (Compt. rend., Acad., Paris, 1858, 47, p. 91.)

(3) F. HOPPE-SEYLER. *Ueber die Bildung von Dolomit.* (Zeitschr. deutsch. geol. Ges., 1875, 27, p. 495.)

(4) C. T. JACKSON. *Amer. Journ. Sc.*, 1843, 45, p. 140.

(5) E. NAUCK. *Der Speckstein von Göpfersgrün.* (Pogg. Ann., 1848, 75, p. 150.)

(6) J. F. L. HAUSMANN. *Vorkommen des Dolomits am Hainberge bei Göttingen.* (Nachr. Ges. Wissensch. Göttingen, 1853, p. 177, et *N. Jahrb. Min.*, 1854, p. 478.)

(7) F. PFAFF. *Ueber den Dolomit des fränkischen Jura und seine Bildungsweise.* (Pogg. Ann., 1851, 82, p. 491 et 1852, 87, p. 600.)

franconien, et par M. Barrois (1) pour celles du calcaire carbonifère des Asturies.

Un troisième groupe de savants partent du fait que le calcaire formé par les organismes renferme toujours une petite quantité de carbonate de magnésium : ordinairement de 0,5 à 1 p. c., mais quelquefois beaucoup plus (2). Ils expliquent alors la formation de la dolomie par la dissolution de l'excès du carbonate calcaire par les eaux atmosphériques, qui contiennent toujours une certaine quantité d'acide carbonique. Cette théorie a été appliquée d'abord par Grandjean (3) aux dolomies de la vallée de la Lahn, et généralisée ensuite par Bischof (4). Tout récemment M. Högbom (5) a suggéré que ce lessivage du calcaire magnésifère pourrait avoir eu lieu déjà pendant la suspension des particules calcaires dans l'eau de mer.

Mais un grand nombre de savants, se basant avant tout sur les caractères morphologiques de la roche, admettent pour la dolomie une formation sédimentaire *directe*, et cette opinion semble avoir gagné du terrain surtout dans ces derniers temps. Déjà en 1831 Boué (6) exprime l'opinion que de véritables dolomies sont des produits neptuniens, puisqu'elles sont coquillières et qu'elles gisent en couches horizontales sur des couches arénacées non dérangées. Plus tard, en 1854, Delanoue (7) se prononce énergiquement pour la formation directe de la plupart des dolomies.

Diverses observations viennent à l'appui de cette théorie. D'abord Moitessier (8) a vu des cristaux rhomboédriques, ayant la composition de la dolomie, se former accidentellement dans une bouteille mal bouchée d'eau minérale. D'après Girardin (9) le dépôt de la source de

(1) CH. BARROIS. *Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice*. Lille, 1882, p. 39.

(2) Voir pour la teneur en magnésie des différents organismes : DAMOUR (Bull. Soc. géol. France, 1850, 7, p. 675); FORCHHAMMER (Journ. prakt. Chem., 1850, 49, p. 52 et N. Jahrb. Min., 1852, p. 854) et HÖGBOM, (N. Jahrb. Min., 1894, 1, p. 272).

(3) GRANDJEAN. *Die Dolomite und Braunstein-Lagerstätten im unteren Lahn-Thale*. (N. Jahrb. Min., 1844, p. 543.)

(4) G. BISCHOF. *Lehrbuch der chem. u. physik. Geologie*, 1^{re} édit., 2, p. 1099; 2^{me} éd., 3, p. 52.

(5) A. G. HÖGBOM *Ueber Dolomitbildung und dolomitische Kalkorganismen*. (N. Jahrb. Min., 1894, 1, p. 262.)

(6) A. BOUÉ. *Bull. Soc. géol. France*, 1831, 1, p. 115.

(7) J. DELANOUE. *Sur la prétendue dolomitisation des calcaires*. (Compt. rend. Acad., Paris, 1854, 39, p. 492.)

(8) A. MOITESSIER. *Proc. verb. Acad. Montpellier*, 1863, p. 18.

(9) J. GIRARDIN. *Analyse de l'eau minérale de Sainte-Allyre*. (Ann. Mines, 1837, 11, p. 457).

Saint-Allyre, près Clermont, consiste principalement en carbonates de calcium et de magnésium. *Johnston* (1) cite l'exemple d'un calcaire dolomitique déposé par une source près de Neesham, sur le bord septentrional du Tees (Angleterre). *Leube* (2) mentionne de la craie dolomitique dans une formation d'eau douce à Dächingen, près Ulm. *Coquand* (3) admet une sédimentation directe pour les roches dolomitiques néocomiennes des départements des Bouches-du-Rhône, du Var et des Basses-Alpes; *S. von Waltershausen* (4) pour les dolomies des Alpes; *Liebe* (5) pour celles de la Thuringe; *St. Hunt* (6) pour celles de Québec; *Kjerulf* (7) pour celles du Døvre-Fjeld (Norvège); *von Rosen* (8) pour celles de la Livonie et de la Courlande; *M. Gumbel* (9) pour celles du Jura franconien et *MM. Doelter et Hoernes* (10) pour celles du Tyrol méridional.

On explique l'origine de ces roches tantôt par un simple dépôt formé par des eaux renfermant des bicarbonates (11), tantôt par précipitation à la suite d'une double décomposition de solutions calcareuses et magnésiennes. *Cordier* (12) et *Leymerie* (13) admettent que cette précipitation ait été opérée par les carbonates alcalins, surtout par le

(1) J. F. W. JOHNSTON. *Note on the Formation of Magnesian Limestone*. (Rep. Brit. Assoc., 1853, 2, p. 42.)

(2) G. LEUBE. *Geogn. Beschreibung der Umgegend von Ulm*, 1839, (N. Jahrb. Min., 1840, p. 371.)

(3) COQUAND, l. c., p. 343.

(4) W. SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN. *Ein Beitrag zur näheren Kenntniss des Dolomits in den Walliser Alpen*. (Pogg. Ann., 1855, 94, p. 115.)

(5) TH. LIEBE. *Der Zechstein des Fürstenthums Reuss-Gera*. (Zeitsch. deutsch. geol. Ges., 1855, 7, p. 435.)

(6) TH. STERRY HUNT. *Observations sur les roches magnésiennes du groupe de la rivière Hudson*. (Bull. Soc. géol., France, 1855, 12, p. 1029.)

(7) TH. KJERULF. *Nyt Magaz. f. Naturvid.* 1857, 9, p. 265.

(8) F. VON ROSEN, d'après ZIRKEL, *Lehrbuch der Petrographie*, 1866, 1, p. 244.

(9) W. VON GÜMBEL, d'après DOELTER et HOERNES (voir note suivante), p. 308.

(10) C. DOELTER et R. HOERNES. *Chemisch-genetische Betrachtungen über Dolomit*. (Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. Wien, 1875, 25, p. 293.)

(11) Ainsi p. e. M. A. JOHNSTONE (Transact. Geol. Soc. Edinburgh; 1890, 6, p. 99) admet que la dolomie se soit formée par le dépôt des carbonates calcique et magnésien, apportés dans la mer par les rivières, à cause de la moindre solubilité de ces carbonates dans l'eau salée. Si cette hypothèse était vraie, on devrait observer une formation continue de dolomie à l'embouchure de tous les fleuves.

(12) L. CORDIER. *De l'origine des roches calcaires qui n'appartiennent pas au sol primordial*. (Compt. rend. Acad., Paris, 1862, 54, p. 293.)

(13) A. LEYMERIE. *De l'origine et du mode de formation du calcaire et de la dolomie*. (Mém. Acad. Toulouse; 1864, p. 307) et *Éléments de minéralogie et de géologie*, 1861, p. 358.)

carbonate sodique, dans des mers chargées de chlorures de calcium et de magnésium. *Scheerer* (1), comme beaucoup d'autres des auteurs cités, est d'avis que ce sont, au contraire, des sources riches en magnésie et en acide carbonique, qui auraient précipité la chaux renfermée dans l'eau de mer, tandis que *Forchhammer* (2) admet, pour la dolomie de Faxö (Seeland), que cette précipitation a eu lieu par des sources calcareuses agissant sur les sels magnésiens de l'eau de mer. Cet auteur, ainsi que MM. *Dana* (3), *von Richthofen* (4) et *Högbom* (5), croient, en outre, que des organismes sécrétant de la magnésie, animaux ou végétaux, ont joué un grand rôle dans la formation des roches dolomitiques.

Enfin MM. *St. Hunt* (6) et *Pfaff* (7), ayant obtenu, par des essais de laboratoire, de la dolomie artificielle, ont émis des hypothèses sur la formation de cette roche. Mais je ne crois pas que les conditions de leurs expériences puissent se réaliser dans la nature; je n'entre donc pas dans les détails de ces théories.

DIFFICULTÉS DE LA QUESTION.

Des différents modes de formation de la dolomie que je viens d'exposer, l'un ou l'autre peut bien avoir eu lieu dans certains cas. Il y a, sans doute, des roches dolomitiques déposées par des sources, et d'autres formées par l'action d'eaux magnésiennes sur le calcaire. Mais ces formations ne se rencontrent que d'une manière tout à fait locale. Même la théorie de *Bischof*, qui compte probablement encore le plus d'adeptes, ne saurait s'appliquer à tous les gisements de la roche en question. Les dolomies formées par l'altération du calcaire dolomitique montrent en général un aspect tout à fait poreux (*Cargneule*) et se désagrègent même souvent complètement en grains sableux (*Cendres dolomitiques*). Pour expliquer de cette manière la formation des

(1) TH. SCHEERER : *Beiträge zur Erklärung der Dolomitbildung*, etc. (N. Jahrb. Min., 1866, p. 1.)

(2) G. FORCHHAMMER : *Beiträge zur Bildungsgeschichte des Dolomits*. (Journ. prakt. Chem., 1850, 49, p. 52; N. Jahrb. Min., 1852, p. 854; Quart. Journ. Geol. Soc. London, 1850, 6, p. 52.)

(3) J. D. DANA, *l. c.*, p. 141.

(4) F. VON RICHTHOFEN : *Geogn. Beschreibung der Umgebung von Predazxo*, etc. Gotha, 1860, p. 207.

(5) A. G. HÖGBOM, *l. c.*

(6) T. STERRY HUNT. *Am. Journ. Sc.*, 1866, 42, p. 66.

(7) F. W. PFAFF : *Beiträge zur Erklärung über die Entstehung des Magnesits und Dolomits*. (N. Jahrb. Min. Beilagebd. 9, 1894, p. 485.)

dolomies compactes; *Bischof* était forcé d'admettre une recristallisation complète de la masse poreuse en une roche massive, qui n'a été observée nulle part avec certitude, au moins sur une grande échelle. En outre, les dolomies poreuses sont généralement accompagnées de couches argileuses et ferrugineuses, souvent métallifères, qui représentent, sans aucun doute, le résidu de bancs calcaires dissous. Ces couches d'argile ferrugineuse semblent manquer, d'une manière générale, aux dolomies massives. Enfin, si l'énorme excès de carbonate de calcium dans les calcaires dolomitiques avait été enlevé par dissolution, il devrait y avoir une perte de substance et, en conséquence, un abaissement de niveau considérable, dont on ne trouve nulle trace pour les dolomies compactes.

La principale difficulté d'une explication satisfaisante de la formation de la dolomie se résume évidemment dans la question suivante : D'où viennent les énormes quantités de magnésie, nécessaires pour la transformation du calcaire en dolomie? La supposition qu'elles aient été apportées par des sources magnésiennes, provenant par exemple de la décomposition de roches volcaniques, est déjà en elle-même — abstraction faite des conditions secondaires de cette action — tellement hypothétique, qu'il est difficile de l'admettre. D'un autre côté, l'eau de mer nous fournit une source presque inépuisable de sels de magnésie, mais elle contient ce corps à l'état de sulfate et de chlorure, et comment ces sels peuvent-ils agir sur le calcaire, puisque à la température ordinaire c'est plutôt la réaction inverse qui a lieu? Car, d'après *Mitscherlich* (1), à cette température, le carbonate de magnésium est décomposé par une solution de gypse et transformé en carbonate calcique. Il est vrai que *M. St. Hunt* (2) n'a pas observé d'action d'une solution de gypse sur la dolomie en poudre; mais je me suis assuré par des essais particuliers que cette réaction a lieu, quoique d'une manière peu intense (3).

Malgré cette difficulté, divers auteurs ont formellement exprimé l'avis que la source de la magnésie des roches dolomitiques doit être cherchée dans l'eau de mer. Ainsi, par exemple, *MM. Doelter* et

(1) E. MITSCHERLICH, *Lehrbuch der Chemie*, 1835, 2, p. 129.

(2) T. STERRY HUNT, *l. c.*, p. 60.

(3) J'ai filtré lentement et à plusieurs reprises, sur de la dolomie en poudre fine, composée de 55,7 p. c. de carbonate de calcium et de 44,7 p. c. de carbonate de magnésium, une solution saturée de sulfate de calcium. Après avoir répété cette filtration dix fois, j'ai trouvé dans 100 c. c. de la solution 0,0038 gr. de magnésie (= 0,008 gr. de carbonate), et après vingt répétitions, la quantité de cette base était de 0,0067 gr. (= 0,014 gr. de carbonate).

Hoernes (1), qui cependant ne se prononcent pas sur la modalité de cette réaction; ainsi, encore, M. *Hoppe-Seyler* (2), qui invoque, pour expliquer la haute température, l'action volcanique. Mais une température de plus de 100° paraît difficilement réalisable pour l'eau de mer; en outre, on ne découvre souvent aucune trace de vulcanisme dans le voisinage des dolomies.

IMPORTANCE DE QUELQUES OBSERVATIONS ANCIENNES

Les faits qui, pour moi, sont d'une importance fondamentale pour la solution du problème qui nous occupe sont les suivants :

1° La dolomie typique, c'est-à-dire la roche massive, non stratifiée, se trouve très souvent sous la forme de récifs coralliens (3), et ce sont alors toujours les atolls qui montrent la dolomitisation la plus complète.

(1) C. DOELTER et R. HOERNES : *l. c.*, p. 332.

(2) F. HOPPE-SEYLER : *l. c.*, p. 520.

(3) Cfr. R. LANGENBECK : *Die Theorien über die Entstehung der Koralleninseln und Korallenriffe*, Leipzig, 1890, pp. 87 et suiv. Rappelons en quelques mots la manière dont les récifs coralliens se forment de nos jours, telle qu'elle a été établie surtout par les observations de C. DARWIN (*On the structure and distribution of Coral Reefs*, London, 1842) et J. D. DANA (*Corals and Coral Islands*, London, 1875). En raison des conditions toutes spéciales que nécessite la croissance des coraux, ces récifs affectent surtout deux formes : 1° la forme de remparts le long des continents ou des grandes îles, soit que ces remparts bordent directement la côte et en forment la plage : *récifs frangeant*; soit qu'ils soient séparés de la côte par un chenal plus ou moins large et plus ou moins profond : *récifs barrières*. La seconde forme des récifs coralliens est celle de véritables îles. Ces îles coralliennes, ou *atolls*, présentent toujours une forme particulière. Par suite de la croissance plus considérable des coraux vers l'extérieur des récifs, où ces organismes trouvent plus de nourriture, le bord externe de ces îles est toujours plus élevé que la partie centrale, et cette dépression intérieure est ordinairement remplie d'eau, formant ainsi un lac plus ou moins étendu, que l'on appelle la *lagune*. On peut donc dire qu'un atoll n'est autre chose qu'un récif annulaire; il peut être entouré, ou non, d'un récif barrière.

Quant aux lagunes, elles sont ordinairement en communication directe avec la mer, soit par des chenaux à travers le bord extérieur, soit par le fait que ce bord est généralement plus bas et immergé du côté opposé à la direction du vent dominant. Mais il arrive aussi que ces lagunes sont complètement fermées et sans communication avec l'océan, du moins pendant la marée basse. Dans ce cas, surtout dans les lagunes de moindre étendue, l'eau de mer peut s'y chauffer à une haute température et se concentrer à un tel degré, qu'elle commence à déposer des cristaux de sel gemme et de gypse; elle peut même s'y évaporer entièrement (DANA, *l. c.*, pp. 148 et 248).

Tel est le cas, pour ne citer que les exemples les plus connus, pour les dolomies du Zechstein de la Thuringe, décrites par *Liebe* (1). Le même cas se présente pour les célèbres dolomies triasiques du Tyrol méridional, dont l'origine corallienne a été démontrée par *von Richthofen* (2); ce savant insiste expressément sur le fait, inexplicable pour lui, que ce sont les atolls qui sont composés de dolomie, tandis que les récifs barrières sont formés de calcaire dolomitique. Il en est de même enfin des dolomies devoniennes et carbonifères de l'Ardenne, dont l'origine corallienne a été mise en évidence par *M. Dupont* (3); les affleurements que ce savant a appelés l'atoll de Roly, montrent d'une manière tout à fait marquante la dolomitisation à la partie centrale de certains récifs.

2° *Dana* (4) rapporte que l'île corallienne émergée de Metia (ou Matea), une des îles Touamotou dans l'Océan Pacifique, est composée à l'intérieur, c'est-à-dire dans la partie lagunaire, de dolomie contenant jusqu'à 38 p. c. de carbonate de magnésium, tandis que les coraux de la même île ne contiennent que des traces de cette substance. Il en conclut qu'il y a eu, dans ce cas, une introduction de magnésie dans le calcaire par l'eau de mer, probablement concentrée dans une lagune fermée; il croit que cette réaction s'est faite à la température ordinaire.

3° Déjà *Dana* (5) avait émis l'opinion que le carbonate calcique des coraux, à cause de sa dureté, n'est peut-être pas de la calcite, mais bien de l'aragonite. *Sorby* (6), à la suite de nombreuses recherches sur

La configuration des atolls devient quelquefois beaucoup plus compliquée par la réunion d'un grand nombre de petits récifs annulaires en un seul système qu'on pourrait appeler un *atoll composé*: les îles Maldives, notamment, nous en fournissent de nombreux exemples. *DANA* (*l. c.*, p. 154) les décrit comme suit: « Leur caractère propre consiste dans la présence de petits récifs annulaires à l'intérieur d'un large atoll; les petites îles qui composent le récif extérieur, ainsi que les îlots qui se trouvent à l'intérieur de la lagune, sont formés par de petits récifs annulaires, chacun ayant son propre petit lac.

(1) *TH. LIEBE*: *Chemische und geognostische Untersuchungen über den Zechstein des Orla-Thales*. (N. Jahrb. Min., 1853, p. 769), et *Das Zechsteinriff von Köstritz*. (Zeitsch. deutsch. geol. Ges., 1857, 9, p. 420.)

(2) *F. VON RICHTHOFEN*, *l. c.*, pp. 293 et suiv. Cfr. en outre *E. MOJSISOVICS VON MOJSVAR*: *Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien*. Wien, 1879, pp. 481 et suiv.

(3) *E. DUPONT*: *Les îles coralliennes de Roly et de Philippeville*. (Bull. Musée d'Hist. Nat. Belgique, 1882, 1, p. 89), et *Sur l'origine des calcaires devoniens et carbonifères de la Belgique* (Bull. Acad. Belgique, 1881, 2, p. 264 et 1883, 5, p. 211.)

(4) *J. D. DANA*: *Corals and Coral Islands*. London, 1875, p. 307.

(5) *J. D. DANA*, *l. c.*, p. 74; cfr. *B. SILLIMAN Jr.*, *Amer. Journ. Sc.*, 1846, 1, p. 191.

(6) *H. C. SORBY*, *Quart. Journ. Geol. Soc. London*, 1879, 35, Proc., p. 60.

la nature du carbonate de calcium sécrété par les différents organismes, se basant surtout sur le poids spécifique, arrive à la même conclusion. Puisque cette espèce minérale montre des propriétés tout autres que la calcite, j'ai cru pouvoir m'expliquer par ce fait l'insuccès des chimistes, quand ils ont voulu démontrer, par des expériences de laboratoire, la formation de la dolomie, en opérant sur la calcite au lieu de l'aragonite. Quelques essais préliminaires, faits avec cette dernière substance, et dont j'ai rendu compte dans ma communication du 30 octobre 1894, avaient fourni un résultat favorable : j'avais obtenu, en effet, par l'action d'une solution concentrée de sel marin, contenant du chlorure et du sulfate de magnésium, sur l'aragonite en poudre fine, un produit carbonaté renfermant des quantités considérables de magnésie. Il s'agissait donc : 1° de rechercher quelles sont les substances qui participent principalement à cette réaction nouvelle, et quelles sont les conditions les plus favorables à sa réussite, 2° de déterminer la nature exacte du produit formé, et 3° d'examiner si cette réaction peut avoir lieu sur une grande échelle dans la nature.

NOUVELLE RÉACTION DE L'ARAGONITE.

Pour résoudre le premier problème, je procédai de la manière suivante : dans un petit ballon en verre d'éna, légèrement bouché, environ 0,5 gr. d'aragonite en poudre fine furent additionnés d'à peu près 1,25 gr. de sulfate de magnésium cristallisé (c'est-à-dire de la quantité nécessaire pour sa transformation complète en carbonate magnésien) et de 10 c. c. d'une solution saturée de chlorure de sodium et chauffée ensuite, dans une étuve d'Arsonval, pendant un temps déterminé, à une température constante. Le contenu du ballon fut alors recueilli sur un filtre et lavé à l'eau chaude jusqu'à l'élimination complète du sulfate calcique qui s'était formé (1). Ce lavage, à cause du peu de solubilité de ce sulfate, dura quelquefois assez longtemps ; d'après ce qui a été dit plus haut de l'action d'une solution de gypse sur le carbonate magnésien, il n'est pas tout à fait impossible qu'une petite quantité de carbonate de calcium se soit reformée pendant cette opération, et que la teneur en magnésie trouvée soit en conséquence quelque peu inférieure à la quantité réellement formée.

Du résidu bien lavé à l'eau chaude, j'employai environ 0,2 gr.

(1) M. R. BRAUNS (*N. Jahrb. Min.*, 1894, 2, p. 257) a montré que, dans une solution saturée de sel marin, le sulfate de calcium se dépose à l'état d'anhydrite, qui au contact de l'eau, se transforme en gypse.

séché à 110°, pour le dosage de la magnésie, qui fut calculée en carbonate neutre. Des quantités qui ne donnaient qu'environ 1 mgr. ou moins de pyrophosphate, sont renseignées, dans les résultats suivants, comme *traces*. L'aragonite employée pour ces essais est la variété bien connue de Herregrund (Hongrie) en cristaux tout à fait incolores et limpides.

Il est à remarquer pour cette manière d'opérer que le volume du liquide, renfermé dans le petit ballon, bouché non hermétiquement, diminuait peu à peu, en déposant des cristaux de sel gemme, surtout quand ces essais furent faits à de hautes températures et continués pendant un temps considérable, de sorte que la concentration était quelque peu variable. Par contre, le procédé employé répond bien aux conditions de pression ordinaires. Quand il importait de travailler à une concentration tout à fait constante, les substances mises en action furent enfermées dans des tubes, scellés, en verre de Bohême.

I. Action du sulfate de magnésium sur l'aragonite; influence de la température.

1. De 50 à 55°, même après 10 jours de traitement, il ne s'était formé que des traces de carbonate de magnésie.
2. A la température de 62°, l'aragonite contenait, après un traitement de 4 jours, seulement des traces de magnésie; après 6 jours 0,2203 gr. de résidu donna 0,0037 gr. de pyrophosphate de magnésium, ce qui répond à 1,3 p. c. de carbonate.
3. A 68°, après un traitement de 48 heures, 0,2535 gr. de résidu donna 0,0034 gr. de pyrophosphate, = 1 p. c. de carbonate; après 96 heures, 0,2193 gr. de résidu donna 0,0190 gr. de pyrophosphate, = 6,6 p. c. de carbonate.
4. A 72°, après 24 heures de traitement, 0,2418 gr. de résidu donna 0,0054 gr. de pyrophosphate, = 1,7 p. c. de carbonate; après 67 heures, 0,2309 gr. de résidu donna 0,0310 gr. de pyrophosphate, = 9,8 p. c. de carbonate, et après 95 heures, 0,2626 gr. de résidu donna 0,0432 gr. de pyrophosphate, = 12,4 p. c. de carbonate.
5. A 77°, après 24 heures de traitement, 0,2165 gr. de résidu donna 0,0060 gr. de pyrophosphate, = 2,1 p. c. de carbonate; après 48 heures, 0,2289 gr. de résidu donna 0,0365 gr. de pyrophosphate, = 12,1 p. c. de carbonate, et après 72 heures, 0,2147 gr. de résidu donna 0,0423 gr. de pyrophosphate, = 14,9 p. c. de carbonate.
6. A 89°, après un traitement de 20 heures, 0,2373 gr. de résidu donna 0,0757 gr. de pyrophosphate, = 24,1 p. c. de carbonate.
7. A 90°, après 68 heures de traitement, 0,2133 gr. de résidu donna 0,1072 gr. de pyrophosphate, = 38 p. c. de carbonate, et après 140 heures, 0,2160 gr. de résidu donna 0,1085 gr. de pyrophosphate, = 38 p. c. de carbonate.
8. Pour voir si l'aragonite d'une autre provenance donne les mêmes résultats, les trois essais suivants furent faits sur un cristal d'aragonite de Bohême. A 91°, après un traitement de 48 heures, 0,2147 gr. de résidu donna 0,0981 gr. de pyrophosphate, = 34,6 p. c. de carbonate; après 96 heures, 0,2270 gr. de résidu donna 0,1230 gr. de pyrophosphate, = 41 p. c. de carbonate, et après 144 heures, 0,2265 gr. de résidu donna 0,1244 gr. de pyrophosphate, = 41,5 p. c. de carbonate.

9. L'essai suivant fut fait dans un tube scellé, plongeant dans l'eau bouillante; pour être sûr qu'à cette haute température et à la pression correspondante, la solution fût saturée de chlorure de sodium, un gramme de cette substance fut encore ajouté à l'état solide. Après avoir chauffé pendant environ 10 heures, 0,2210 gr. de résidu donna 0,0715 gr. de pyrophosphate, = **24,5** p. c. de carbonate.

Il résulte de cette série d'essais qu'à partir d'environ 60° le sulfate de magnésium, en présence d'une solution saturée de sel marin, agit sur l'aragonite en la transformant en carbonate magnésien, de telle manière que la quantité de ce carbonate augmente avec la température et la durée du traitement. Il semble, en outre, que, pour chaque température, il existe un maximum de produit formé; à 91° ce maximum est d'environ 42 p. c. de carbonate de magnésium. Il est à remarquer que ce chiffre se rapproche d'une manière frappante de la teneur en carbonate magnésien de la dolomie normale (45,7 p. c.).

II. Action du sulfate de magnésium sur l'aragonite; influence de la concentration.

10. Dans cet essai, j'ajoutai, au lieu de 10 c. c. de solution saturée de sel marin, seulement 5 c. c. de cette solution et 5 c. c. d'eau. Après 20 heures de traitement à 89°, 0,2372 gr. de résidu donna 0,0052 gr. de pyrophosphate de magnésium, = **1,7** p. c. de carbonate (cfr. essai n° 6).

11. Pour les trois essais suivants on ajouta à la quantité ordinaire d'aragonite et de sulfate de magnésium 20 c. c. de solution saturée de sel marin. Après 46 heures de traitement à 90°, 0,2309 gr. de résidu donna 0,0057 gr. de pyrophosphate, = **1,9** p. c. de carbonate; après 72 heures, 0,2328 gr. de résidu donna 0,0191 gr. de pyrophosphate, = **6,2** p. c. de carbonate, et après 96 heures, quand le volume du liquide s'était déjà considérablement réduit, 0,1903 gr. de résidu donna 0,0571 gr. de pyrophosphate, = **22,7** p. c. de carbonate (cfr. essais n° 7).

12. Pour travailler à une concentration absolument constante, les deux essais suivants furent faits dans des tubes scellés, plongés dans l'eau bouillante pendant environ 10 heures. En ajoutant aux 10 c. c. de solution saturée de sel marin 1 c. c. d'eau, 0,2333 gr. de résidu donna 0,0247 gr. de pyrophosphate, = **8** p. c. de carbonate, et en remplaçant les 10 c. c. de la solution saturée de sel marin par 5 c. c. de cette solution et 5 c. c. d'eau, 0,2100 gr. de résidu donna 0,0016 gr. de pyrophosphate, = **0,6** p. c. de carbonate (cfr. essais n° 9).

Il s'ensuit de cette seconde série d'essais que la concentration a une très grande influence sur la réaction étudiée: L'addition de 1 c. c. d'eau à 10 c. c. de la solution saturée de sel marin rabaisse, en effet, la teneur en carbonate magnésien du produit formé de 24,5 p. c. (voir n° 9) à 8 p. c., et par l'addition de 5 c. c. d'eau à 5 c. c. de solution saturée de chlorure de sodium, ce chiffre descend même jusqu'à 0,6 p. c.

13. Pour les deux essais suivants, les quantités de toutes les substances entrant en réaction furent dédoublées, c'est-à-dire on employa environ 1 gr. d'aragonite, 2,5 gr. de sulfate de magnésium cristallisé et 20 c. c. de solution de sel marin. Après 48 heures de traitement à 91°, 0,2879 gr. de résidu donna 0,0038 gr. de pyrophosphate, = 1 p. c. de carbonate, et après 96 heures, 0,3081 gr. de résidu donna 0,0047 gr. de pyrophosphate, = 1,2 p. c. de carbonate (cfr. essais n° 8).

Ce n'est donc pas la concentration seule, c'est-à-dire la quantité relative des substances employées, mais encore le volume absolu du liquide, qui est de la plus haute importance pour cette réaction, de telle sorte que, si ce volume dépasse un certain maximum, la réaction n'a plus lieu que d'une manière tout à fait insignifiante. Ce maximum sera variable suivant les circonstances; dans nos essais il est compris entre 10 et 20 c. c. Nous pouvons nous expliquer ce fait de la manière suivante: La réaction tend d'abord à établir dans la solution un certain équilibre chimique, déterminé par la masse des substances dissoutes. Si le volume du liquide est tellement réduit qu'une de ces substances — dans notre cas le sulfate de calcium — n'est plus entièrement soluble et commence à se précipiter, l'équilibre est rompu et il y aura formation nouvelle de ce corps jusqu'à ce que l'équilibre du système hétérogène entier soit atteint. Je me propose d'étudier encore de plus près, sous ce rapport, cette intéressante réaction et de voir surtout, s'il est possible d'en déterminer les lois numériques.

III. Action du sulfate de magnésium sur l'aragonite en l'absence du chlorure de sodium.

14. 0,5 gr. d'aragonite fut additionnée de 1,25 gr. de sulfate de magnésium cristallisé et de 3 c. c. d'eau et chauffée, pendant 24 heures, à 90°; on y ajouta encore 2 c. c. d'eau et chauffa de nouveau pendant le même temps; 0,2105 gr. de résidu donna alors 0,0355 gr. de pyrophosphate de magnésium, = 12,8 p. c. de carbonate.

15. Le même essai fut fait en ajoutant directement 4 c. c. d'eau et en chauffant ensuite à 90° pendant 48 heures; 0,2095 gr. de résidu donna 0,0521 gr. de pyrophosphate, = 18,8 p. c. de carbonate (cfr. essais n° 8).

Le sulfate de magnésium seul, en solution très concentrée, agit donc aussi sur l'aragonite, mais d'une manière moins considérable qu'en présence du sel marin. Celui-ci a donc dans ce cas, comme dans les essais bien connus de MM. Spring et Lucion (1) sur la déshydratation de l'hydrate de cuivre, un effet comparable à celui d'une élévation de température.

(1) W. SPRING et M. LUCION: *Sur la déshydratation, au sein de l'eau, de l'hydrate de cuivre*, etc. (Bull. Acad. Belgique, 1892, 24, p. 50.)

IV. Action du chlorure de magnésium sur l'aragonite.

Dans les essais suivants le sulfate de magnésium fut remplacé par la quantité équivalente de chlorure cristallisé (environ 1 gr.); pour le reste on opéra comme il est expliqué plus haut.

16. Après avoir chauffé le mélange, pendant 95 heures, à 72° , 0,2334 gr. de résidu donna 0,0013 gr. de pyrophosphate de magnésium, = **0,4** p. c. de carbonate (cfr. essais n° 4).

17. A 77° et après 48 heures de traitement 0,2288 gr. de résidu donna 0,0021 gr. de pyrophosphate, = **0,7** p. c. de carbonate (cfr. essais n° 5).

18. Pour voir, si même dans un volume de liquide très réduit, le chlorure de magnésium n'agit pas sur l'aragonite d'une manière un peu plus considérable, on employa au lieu de 10 c. c. seulement 3 c. c. de solution saturée de sel marin. A 91° et après un traitement de 24 heures, 0,2525 gr. de résidu donna 0,0051 gr. de pyrophosphate, = **1,5** p. c. de carbonate; et après 48 heures de traitement, 0,2545 gr. de résidu donna 0,0077 gr. de pyrophosphate, = **2,3** p. c. de carbonate (cfr. essais n° 8).

Il résulte de ces essais que l'action du chlorure de magnésium, même en solution très concentrée et de peu de volume, sur l'aragonite est incomparablement inférieure à celle du sulfate. Cela confirme ce que j'ai dit plus haut pour expliquer l'influence du volume du liquide, puisque, dans ce cas, il ne se forme point de sel peu soluble.

V. Action du sulfate de magnésium sur la calcite.

Dans ces essais l'aragonite fut remplacée par le spath d'Islande en poudre fine; on procéda, pour le reste, comme avant.

19. A 100° , après 10 heures de traitement en présence d'un excès de sel marin solide, il ne s'était formé que des traces de carbonate de magnésium (cfr. essai n° 9).

20. A environ 80° , après un traitement de 48 heures, 0,2685 gr. de résidu donna 0,0020 gr. de pyrophosphate, = **0,6** p. c. de carbonate (cfr. essais n° 5).

21. A 90° et après 48 heures de traitement, 0,2502 gr. de résidu donna 0,0054 gr. de phosphate, = **1,6** p. c. de carbonate (cfr. essais n° 8).

La calcite en poudre fine et en présence d'une solution saturée de chlorure de sodium, n'est donc pas tout à fait inattaquable par le sulfate de magnésium, mais l'action de ce corps sur la calcite est beaucoup moins énergique que sur l'aragonite.

VI. Action du sulfate de magnésium sur les coraux.

Des fragments de coraux, réduits en poudre fine, furent traités de la même manière que l'aragonite. Les coraux qui servirent à ces essais et que je dois à l'obligeance de M. *Van den Broeck*, furent rapportés de l'île de Saint-Thomas par M. Purves; ils ne contenaient que de 0,3 à 0,4 p. c. de carbonate de magnésium.

22. *Madrepora prolifera*. Après un traitement de 46 heures à 90°, 0,2226 gr. de résidu donna 0,1133 gr. de pyrophosphate de magnésium, = 38,5 p. c. de carbonate.

23. *Madrepora humilis*. A 90° et après 47 heures de traitement, 0,1954 gr. de résidu donna 0,1070 gr. de pyrophosphate, = 41,4 p. c. de carbonate.

24. *Stylophora digitata* (?). A la même température et après un traitement de 46 heures et demie, 0,2028 gr. de résidu donna 0,1124 gr. de pyrophosphate, = 41,9 p. c. de carbonate (cfr. essai n° 8).

Il s'ensuit de ces essais que le carbonate calcique des coraux se comporte, au point de vue chimique, tout à fait de la même manière que l'aragonite. Il en résulte une preuve nouvelle et décisive de l'identité de ces deux substances qui, jusqu'ici, fut plutôt soupçonnée que prouvée par la dureté et le poids spécifique.

NATURE CHIMIQUE DU PRODUIT FORMÉ.

Quant à la seconde partie de notre problème, la détermination exacte de la nature chimique du produit formé, elle présente certaines difficultés, qui proviennent surtout de ce que nous n'avons pas de moyen bien sûr pour séparer le corps nouveau de l'aragonite non altérée. Les moyens employés généralement pour la séparation des carbonates calcique et magnésien, les acides dilués, refusent dans ce cas leur service, d'autant plus que l'aragonite, comme l'a déjà démontré *G. Rose* (1), est encore moins soluble dans les acides que la calcite et se rapproche en conséquence de la dolomie. D'ailleurs aucun des carbonates magnésifères naturels, ni la dolomie, ni même la magnésite, n'est complètement insoluble dans l'acide chlorhydrique ou acétique dilués. Leur solubilité dépend plutôt de la finesse du grain de la poudre employée, de sorte que dans l'acide acétique à 8 p. c. et dans l'acide chlorhydrique à 1 p. c., à la température ordinaire et après peu de temps (5 à 10 minutes), et la dolomie et la magnésite se dissolvent en

(1) *G. ROSE : Ueber die heteromorphen Zustände der kohlen-sauren Kalkerde.* (Abhandl. K. Akad. Wiss. Berlin, 1856, p. 13.)

quantités assez considérables, comme je m'en suis assuré par des essais particuliers. Il est donc impossible de tirer des conclusions sur la nature chimique d'un carbonate magnésifère du fait qu'il est plus ou moins soluble dans les acides dilués. Mais il sera permis, en comparant la composition chimique de la partie soluble à celle de la partie insoluble, de conclure, si la substance en question est homogène ou non.

En essayant de séparer, par les acides dilués, le carbonate de magnésium formé dans les divers essais précédemment décrits, quelques grains plus gros d'aragonite non altérée résistèrent plus longtemps aux dissolvants que le carbonate nouveau, ce qui s'explique par la finesse de son grain. Sous le microscope il se montre, en effet, composé de granules excessivement petits, pour lesquels aucune forme cristalline nette ne put être observée.

J'essayai alors de produire de l'aragonite artificielle d'après le procédé de G. Rose (1), en précipitant à chaud une solution de carbonate d'ammoniaque par une solution chaude de chlorure de calcium, et j'obtins, en effet, un produit à grains très fins, qui en peu de temps était complètement soluble dans les acides dilués. Avec ce produit un certain nombre d'essais furent faits sur une échelle un peu plus considérable. Environ 5 à 10 grammes de cette aragonite artificielle furent additionnés de la quantité correspondante de sulfate de magnésium et de 20 à 50 c. c. de solution saturée de sel marin; le tout fut alors chauffé pendant 2 à 3 jours, dans une capsule en platine couverte, à 90°, lavé ensuite sur un filtre par l'eau chaude, séché et traité enfin par un excès d'acide acétique à 8 p. c. La solution acétique contenait alors, à côté et beaucoup de chaux, toujours une certaine quantité de magnésie, sur la nature de laquelle nous ne sommes point fixés. Le résidu insoluble dans l'acide acétique, dans lequel se montraient au microscope un grand nombre de petits rhomboédres à contours très nets, fut soumis à l'analyse quantitative. Il se montra formé par un carbonate de magnésium avec très peu de calcium, contenant l'acide carbonique et les bases dans la relation du sel neutre, mais renfermant en outre, même séché à 150 ou 160°, une certaine quantité d'eau. Voici la composition d'un de ces produits, avec lequel les autres concordent assez bien.

Environ 1,8 gr. de résidu insoluble dans l'acide acétique fut encore traité par l'acide chlorhydrique à 1 p. c.; de cette manière 0,918 gr. de chaux et 0,3873 gr. de magnésie entrèrent en solution. 0,5939 gr. de résidu insoluble dans l'acide chlorhy-

(1) G. ROSE, *Ueber die Bildung des Kalkpaths und Aragonits* (Pogg. Ann. 1837, 42, p. 358).

drique, séché à 110°, donna 0,2939 gr. d'acide carbonique (déterminé dans l'appareil de Ludwig), 0,0074 gr. de chaux et 0,7324 gr. de pyrophosphate de magnésium. 0,25 gr. du même résidu, chauffé au rouge dans un tube en porcelaine, donna 0,0128 gr. d'eau, qui fut recueillie sur du chlorure de calcium.

De ces données on peut calculer la composition suivante du résidu analysé :

CO ₂	49,49 p. c.
CaO	1,25 »
MgO	44,43 »
H ₂ O	5,12 »
		<hr/>
		100,29

Le produit insoluble dans les acides acétique et chlorhydrique dilués est donc formé d'un carbonate de magnésium neutre et hydraté; c'est peut-être le sel MgCO₃.H₂O, obtenu par Nørgaard (1) dans des conditions très analogues, en chauffant le carbonate de magnésium dissous dans une solution de sulfate magnésien. Il avait perdu déjà, probablement, une partie de son eau par la dessiccation, car la poudre séchée se montrait amorphe et ne laissait voir, au microscope, quelques-uns des petits rhomboèdes mentionnés qu'après avoir été traitée par l'eau. Je n'oserais pas affirmer avec certitude que ce corps est identique au carbonate obtenu par l'aragonite naturelle; du moins je n'ai jamais pu observer, dans ce dernier cas, de cristaux nettement rhomboédriques, quoique cette forme n'y soit nullement exclue. Mais de tous les essais qualitatifs que j'ai faits, il résulte assez clairement que le produit obtenu en opérant sur l'aragonite naturelle n'était pas non plus de la dolomie, mais aussi un mélange de carbonates de calcium et de magnésium.

TRANSFORMATION SECONDAIRE EN DOLOMIE.

Nous verrons plus loin à quels endroits le mélange des carbonates de calcium et de magnésium devrait se former sur une grande échelle dans la nature. Si donc à ces endroits nous trouvons à sa place de la véritable dolomie, il est évident ou que dans des conditions qui m'auraient encore échappé, ce minéral peut se former *directement*, ou que le mélange de carbonates une fois déposé peut se transformer ensuite en dolomie. Que cette transformation soit possible, les nombreuses épigiénies de dolomie le prouvent; qu'elle soit probable cela résulte des considérations suivantes.

(1) Cf. DAMMER, *Handbuch d. anorg. Chemie* II, 2, p. 444.

Il est un fait connu depuis longtemps, que la dolomie possède à un très haut degré la tendance à cristalliser et à agrandir ses cristaux une fois formés : sous l'action des eaux atmosphériques la roche se désagrège même complètement en petits grains nettement rhomboédriques. M. Renard (1) a insisté particulièrement sur cette tendance et il y a trouvé un caractère distinctif entre la calcite et la dolomie pour l'examen microscopique. Il a observé des cristaux bien formés de dolomie surtout le long de fentes et autres solutions de continuité de la roche, et il en conclut à une formation *secondaire* par voie d'infiltration. Je suis d'accord avec lui pour la formation secondaire, mais si par infiltration il entend un apport de substance étrangère, par exemple de magnésie, je crois que l'on peut expliquer le fait observé d'une autre manière : aux endroits indiqués des cristaux peuvent évidemment beaucoup mieux se développer, qu'au milieu de la roche massive.

Mais ce qui témoigne, avant tout, pour la formation de la dolomie en deux phases, ce sont les observations microscopiques que M. Loretz (2) a faites sur la structure de cette roche. Dans les échantillons examinés par lui — ils provenaient surtout du Tyrol méridional et du Zechstein allemand — il a souvent observé deux éléments différents : des cristaux de dolomie de dimensions plus considérables, enchâssés dans une sorte de pâte fondamentale à grains très fins. Il désigne ces deux constituants de la roche sous les noms d'éléments *macrocrystallin* et *microcrystallin*, et il conclut que le premier s'est formé par unecristallisation du second (*l. c.* 31, p. 774); il admet, en outre, qu'il doit y avoir eu, pendant quelque temps, une certaine *mobilité* de la masse cristalline, primitivement formée (*l. c.*, p. 771).

Qu'une transformation ultérieure des matériaux produits de prime abord ait eu lieu, cela résulte encore du fait que des organismes à test calcique, tels que crinoïdes, etc., se sont transformés, en conservant leur forme, en dolomie, ce qui ne peut avoir eu lieu que par voie d'une lente métamorphose.

Enfin le mode de formation que je viens d'indiquer, fournit l'explication des nombreuses contradictions des divers auteurs sur la nature des roches dolomitiques, qui tantôt seraient homogènes, tantôt com-

(1) A. RENARD, *Des caractères distinctifs de la dolomite et de la calcite dans les roches du calcaire carbonifère de la Belgique*. (Bull. Acad. Roy. Belgique, 1879, 47, p. 541.)

(2) H. LORETZ, *Untersuchungen über Kalk und Dolomit*. (Zeitsch. deutsch. geol. Ges. 1878, 30, p. 387 et 1879, 31, p. 756.)

posées d'un mélange de calcite et de magnésite, avec ou sans dolomie. Il est possible, en effet, que dans certains cas la transformation du mélange primitif ne se soit opérée que d'une manière restreinte, et alors la roche sera tout à fait hétérogène. Dans d'autres cas, cette transformation sera terminée; si la quantité du carbonate de magnésium était suffisante, nous aurons devant nous une dolomie normale, si non, nous trouverons une dolomie moins riche en magnésie, ou peut-être, puisque l'existence de telles combinaisons chimiques n'est pas prouvée à toute évidence, un mélange de dolomie et de calcite.

LIEUX DE FORMATION DE LA DOLOMIE.

Après avoir étudié ainsi les conditions sous lesquelles l'action du sulfate de magnésium sur l'aragonite a lieu, nous avons à nous demander si ces conditions peuvent se réaliser dans la nature, pour que la réaction puisse s'effectuer sur une grande échelle, et je n'hésite pas à répondre affirmativement à cette question. D'après ce qui précède, il faut, pour la réalisation de notre réaction, trois choses: 1° du sulfate de magnésium dans une solution saturée de sel marin, 2° de l'aragonite, et 3° une température dépassant 60°. Le sulfate de magnésium, ainsi que le chlorure de sodium, se trouvent dissous dans l'eau de mer; d'après *Forchhammer* (1), 1000 parties de cette eau renferment, en moyenne, 26,862 gr. de chlorure de sodium et 2,196 gr. de sulfate de magnésium calculé en sel anhydre. Si donc l'eau de mer peut se concentrer et agir à une haute température sur l'aragonite, nos trois conditions sont remplies; cela peut avoir lieu dans des circonstances diverses.

Le cas le plus favorable est réalisé dans les atolls à lagunes fermées. Nous avons vu plus haut que l'eau de mer peut s'y concentrer et même s'évaporer complètement. En outre, ces lagunes sont ordinairement remplies, d'après *Dana* (*l. c.*, pp. 149, 194 etc.), d'une sorte de boue formée par le détritit des coraux, c'est-à-dire d'aragonite finement pulvérisée. Il ne reste donc plus qu'à rechercher si la température y peut dépasser 60°. Des observations précises sur la température de l'eau concentrée dans les lagunes, ne semblent pas avoir été faites, mais elles ne nous sont point indispensables. Il résulte d'une des règles établies plus haut, que l'action chimique ne peut s'opérer d'une manière notable que quand le volume du liquide est déjà fortement

(1) G. FORCHHAMMER, *Philos. Transact. Roy. Soc. London*, 1865, 155, p. 203.
Cfr. J. ROTH, *Allgem. chem. Geologie*, 1, p. 493.

réduit, c'est-à-dire quand l'eau de mer aura déjà déposé une grande partie de son chlorure de sodium et formé avec celui-ci et l'aragonite détritique une sorte de boue cristalline, pour laquelle les conditions de l'insolation ne seront pas sensiblement différentes de celles du sol. Les coraux étant confinés aux tropiques, nous pouvons donc appliquer les valeurs de l'insolation y observées à notre cas. Des observations de ce genre ont été faites, entre autres, par M. *Pechuël-Loesche* (1); lors de l'expédition allemande au Loango, dans la station de Tchintchotcho (5°9' sud) en 1874, 1875 et 1876. Ce savant a trouvé que, pendant la saison chaude, l'insolation du sol dépasse ordinairement 75° (avec un maximum de 84,6°) et même à 5 centimètres de profondeur, à côté de plantes en pleine végétation, il a observé des valeurs allant jusqu'à 69°. Il sera donc permis d'en conclure que dans les lagunes, formées et entourées par la roche nue des coraux, quand l'eau s'y est évaporée presque à siccité, la température peut largement dépasser 60°. Les trois conditions susmentionnées sont donc remplies, et nous trouvons, en effet, dans ce cas, la dolomie sous sa forme la plus caractéristique, en roche massive, non stratifiée. Il est à supposer que les matériaux dolomitiques, formés dans les lagunes et non encore solidifiés, peuvent être entraînés par les vagues, pendant de grosses tempêtes par exemple, et donner ainsi lieu à la formation de dépôts dolomitiques en dehors des lagunes.

Les conditions nécessaires pour la réalisation de notre réaction peuvent encore être remplies ailleurs. D'abord des bassins fermés, où l'eau de mer se concentre, peuvent se former entre les récifs barrières et la côte; les coraux des récifs fourniront encore de l'aragonite en quantité prépondérante.

En dernier lieu, des bras de mer sur des côtes basses, peuvent se séparer du plein océan et réaliser ainsi les conditions nécessaires pour la formation de la dolomie. Car il y a encore, outre les coraux, d'autres organismes qui sécrètent de l'aragonite : ce sont, d'après *Sorby* (2), la plupart des Céphalopodes et des Gastropodes, beaucoup de bivalves, etc.; seulement ces animaux ne vivent plus en colonies presque exclusivement formées par eux, comme les coraux, mais en communauté avec des organismes à test calcique. L'aragonite ne sera donc plus fournie en quantité prépondérante, et les roches formées dans ce cas seront plutôt des calcaires dolomitiques que des dolomies.

(1) E. PECHUËL-LOESCHE, dans : *Die Loango-Expedition*, Leipzig, 1882, 3, pp. 63 et suiv.

(2) H. C. SORBY, *l. c.*, p. 60.

Les roches dolomitiques déposées en bancs lenticulaires semblent avoir pris naissance dans ces conditions. Des roches de cette nature ont été décrites, par exemple, par *Liebe* (1), dans la principauté de Reuss; cet auteur insiste particulièrement sur le fait que ces roches doivent s'être formées sur des côtes basses et dans des baies de mer tranquilles et encloses (*l. c.*, pp. 431 et 435).

Enfin on peut admettre que des dolomies, formées de l'une ou de l'autre des manières indiquées, peuvent être, après coup, détruites complètement ou partiellement, par abrasion ou par érosion, et avoir fourni ainsi des matériaux pour la formation des roches dolomitiques stratifiées.

CONCLUSIONS.

En résumé, je crois pouvoir exprimer le résultat de mes recherches comme suit : *La dolomie se forme par l'action de l'eau de mer concentrée dans des bassins fermés, et surchauffée par les rayons solaires, sur l'aragonite déposée par les organismes, de telle manière que d'abord il se produit un mélange de carbonates calcique et magnésien, qui se transforme plus tard en dolomie.* Cette transformation a peut-être lieu après la solidification de la roche, sous l'influence de l'eau d'infiltration; la contraction qui en résulterait, explique probablement l'état crevassé que l'on observe dans tant de cas. Ce mode de formation fournit en outre l'explication du fait déjà mentionné, que la dolomie est souvent accompagnée d'anhydrite ou de gypse; il fait comprendre, enfin, la composition si variable de cette roche, ainsi que l'allure si irrégulière et, pour ainsi dire capricieuse, que la dolomie affecte dans les diverses formations sédimentaires.

(1) TH. LIEBE: *Der Zechstein des Fürstenthums Reuss-Gera.* (Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 1855, 7, p. 406.)
