

NOTICE

SUR

LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LA MÉTÉORITE

DE SAINT-DENIS-WESTREM (FLANDRE ORIENTALE);

PAR

C. KLEMENT,

Chimiste au Musée royal d'histoire naturelle.

Cette météorite, tombée le 7 juin 1855 au milieu d'un champ près de Saint-Denis-Westrem, à une lieue de Gand, fut d'abord examinée par M. Duprez (1), qui en donna une description sommaire dans le *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*; il en déterminait le poids spécifique, qu'il trouva égal à 3,293 à 14° C. M. St. Meunier (2) la classe dans son 31^e type, la Lucéite. Récemment M. Prinz (3) a examiné cet aérolithe au point de vue lithologique.

Les fragments soumis à l'analyse, d'un poids total d'environ 3 grammes, appartenaient entièrement à la partie intérieure de la masse météorique; ils étaient blancs grisâtres, très poreux, d'aspect grenu et assez friables. M. Prinz décrit cette masse intérieure comme suit : « Dans la cassure fraîche, on voit partout briller des particules de fer nickelifère, ayant l'éclat d'argent; elles dépassent rarement 1 millimètre; souvent elles sont entourées de taches brunes. La pyrite magnétique est répandue sous forme d'une fine poussière bronzée dans toute la masse; celle-ci contient

(1) DUPREZ, *Sur l'aérolithe tombé à Saint-Denis-Westrem* (BULL. ACAD. BELG., 1855, t. II, p. 54).

(2) STAN. MEUNIER, *Météorites* (ENCYCLOPÉDIE CHIMIQUE DE FREMY), p. 209.

(3) PRINZ, *Les météorites tombées en Belgique et les météorites en général* (CIEL ET TERRE, t. V, 1885, pp. 479 et suiv.).

encore, comme élément discernable à l'œil nu, des globules grisâtres ou chondres, inégalement répartis et formés ordinairement d'enstatite. La pâte dans laquelle tous ces éléments sont enchâssés est constituée par des grains si ténus qu'il est impossible par ce simple examen d'en fixer la nature. » Au microscope M. Prinz y reconnaît l'olivine et l'enstatite; il signale en outre la présence « d'une matière amorphe, parfaitement translucide, incolore et remplissant tous les intervalles. Ce ciment incolore est souvent traversé par des veines analogues à celles qu'on voit dans des objets de verre mal fabriqués; à la lumière polarisée il se résout en un agrégat cristallin présentant de-ci de-là des fragments de croix noires ou des bandes sombres diversement contournées. Beaucoup plus rarement de petites parties, d'ailleurs physiquement semblables aux autres, montrent des stries analogues à celles des feldspaths tricliniques. »

On sait les difficultés qui se présentent quand il s'agit d'établir la composition exacte et complète d'une pierre météorique : elles ont été signalées déjà par Berzelius, qui le premier a tracé la marche à suivre pour ce genre d'analyses; elles subsistent encore en grande partie aujourd'hui, malgré les travaux importants d'un grand nombre de savants qui ont perfectionné dans l'un ou l'autre sens les méthodes suivies par le célèbre chimiste suédois. Ces difficultés proviennent surtout du grand nombre d'espèces minéralogiques entrant dans la composition des météorites et de la variabilité avec laquelle ces espèces peuvent être mélangées. Afin d'arriver à une connaissance exacte de ces pierres, il faut en effet envisager leur composition sous un triple point de vue. Nous devons d'abord doser les éléments, métaux et métalloïdes, contenus dans la substance à analyser; examiner ensuite quelles combinaisons primaires (oxydes, sulfures, etc.) ces éléments forment ou, en d'autres termes, déterminer le degré d'oxydation, de sulfuration, etc., des métaux; enfin nous devons rechercher quelles combinaisons secondaires (silicates, etc.) ont été formées par les combinaisons du premier degré. Les deux premiers points nous fournissent la *composition chimique* proprement dite, le troisième ce qu'on désigne généralement sous le nom de *composition minéralogique* d'une météorite.

Les méthodes que nous avons à notre disposition pour séparer et doser les éléments constitutifs des météorites, quoique susceptibles encore de perfectionnements, sont en général assez dévelop-

pées pour établir avec exactitude la composition centésimale, même d'un très petit fragment de substance. Mais dès qu'il s'agit d'établir le deuxième point (combinaisons primaires), les difficultés commencent, les problèmes à résoudre étant ici d'une extrême complication : le fer, par exemple, qui joue dans les météorites le rôle principal, peut s'y trouver à l'état de métal, de sulfure, de phosphore, de protoxyde et de peroxyde, et une méthode qui nous permettrait de déterminer le métal en question dans ces divers états nous fait absolument défaut. Mais, si l'on pouvait même surmonter entièrement les difficultés de cette espèce, on ne serait guère plus avancé quant à la connaissance exacte de la constitution des météorites. Celles-ci, en effet, sont formées par un mélange, en proportions très variables, de divers minéraux qui ne diffèrent souvent, au point de vue de leur composition, que par les quantités relatives des bases et des acides qu'ils renferment. Ici donc de nouvelles difficultés se présentent, quand il s'agit d'établir quelles sont les espèces minéralogiques qui composent une météorite.

Le moyen le plus sûr pour arriver à un résultat certain serait d'isoler toutes les espèces minéralogiques et de soumettre chacune d'elles à une analyse particulière. Mais ce moyen de séparation mécanique n'est malheureusement applicable que dans des cas spéciaux très rares, où l'on peut extraire de la masse entière certains minéraux s'y trouvant en individus assez grands et dans des conditions assez favorables de pureté. C'est ainsi qu'on est parvenu à isoler, à l'aide de la loupe, quelques minéraux de certaines météorites, surtout des silicates comme le péridot, l'enstatite, la bronzite, le pyroxène, la Maskelynite, etc., et d'en établir la composition exacte ; ou, à l'aide de l'aimant, on a pu séparer, dans quelques cas spéciaux, certaines espèces magnétiques et les soumettre à l'analyse chimique.

Le plus souvent, cependant, les minéraux constitutifs des météorites sont réduits à des dimensions si minimes ou s'y trouvent si intimement mélangés entre eux que par ces moyens mécaniques on n'arrive pas à une séparation satisfaisante. On doit alors avoir recours à des moyens chimiques, en traitant la substance convenablement préparée, consécutivement par des dissolvants qui, dans des conditions déterminées, attaquent seulement certaines parties, tandis que d'autres ne sont pas altérées. Enfin, on peut encore combiner les deux modes de séparation : après avoir au préalable, par des moyens mécaniques, divisé la substance en plusieurs

parties, on traite chacune d'elles, de la manière susdite, par des moyens chimiques. Il faut reconnaître cependant que, malgré les progrès réalisés déjà sous ce rapport, les deux modes de séparation sont également entachés de certains défauts, qui ne permettent pas d'arriver toujours à un résultat absolument certain. En effet, si par exemple on traite par l'aimant la météorite réduite en poudre fine, les parties magnétiques d'une part retiennent toujours des quantités notables de particules non magnétiques, soit par adhérence ou par inclusion; d'autre part on ne parvient jamais, même par des essais répétés, à extraire par l'aimant tous les grains magnétiques. De même en traitant la poudre d'une météorite par un dissolvant quelconque, acide ou solution saline, on arrivera rarement à dissoudre complètement la partie soluble sans attaquer plus ou moins les particules dont on veut éviter la dissolution. Il existe, en effet, très peu de substances qui ne soient pas quelque peu attaquées quand on les traite par un liquide quelconque et surtout par les acides.

Berzelius (1), dont la méthode, quant aux grandes lignes, reste encore applicable pour ce genre d'analyses, traita d'abord la poudre par l'aimant et attaqua ensuite séparément les deux parties ainsi obtenues par l'acide chlorhydrique. De cette manière il divisa de nouveau la partie non magnétique en deux portions : l'une soluble, sauf une certaine quantité de silice qui se précipita et qui fut dissoute par le carbonate de sodium, l'autre insoluble qu'il attaqua par les carbonates de baryum ou de sodium ou par l'acide fluorhydrique. Il précipita le fer par le succinate d'ammonium et sépara le nickel et le cobalt par l'ammoniaque et la potasse. Pour obtenir une séparation plus parfaite que celle qu'on peut opérer par l'aimant Wöhler avait proposé de dissoudre les parties métalliques par le bichlorure de cuivre, qui laisse inattaqués les silicates et le sulfure de fer. Ce dernier corps cependant est un peu attaqué, surtout si la solution cuivrique n'est pas tout à fait neutre. Pour obvier à cet inconvénient M. Rammelsberg (2) a recommandé de substituer au bichlorure de cuivre le bichlorure de mercure, dont l'usage a été préconisé aussi pour l'analyse de la fonte, du fer et de l'acier par M. Bous-

(1) BERZELIUS, *Ueber Meteorsteine* (POGG. ANNALEN, t. XXXIII).

(2) Cf. RAMMELSBURG, *Beiträge zur Kenntniss der Meteoriten* (MONATSBER. D. KÖN. PREUSS. ACAD. D. WISSENSCH. BERLIN, Juin 1870).

singault (1). Mais encore ce réactif, comme l'a démontré M. Rammeisberg lui-même, n'est pas sans action sur les silicates. Pour la séparation du fer d'avec le nickel et le cobalt cet auteur recommande l'emploi du carbonate de baryum.

Il arrive souvent que les parties métalliques des météorites, sous l'influence de l'air et de l'humidité, s'oxydent, surtout à la surface, que l'on voit alors recouverte de taches de couleurs de rouille. Pour ramener ces parties oxydées à leur état primitif M. von Baumhauer (2) propose de chauffer au rouge faible la substance pulvérisée dans un courant d'hydrogène sec; dans ces conditions les oxydes métalliques sont réduits, tandis que, d'après cet auteur, ni les silicates ni les sulfures ne sont altérés. Il procède à la séparation du fer d'avec le nickel et le cobalt par des précipitations répétées, à chaud et à froid, par l'ammoniaque (3).

La méthode suivie pour l'analyse de la météorite en question est, à quelques modifications près, celle indiquée par M. von Baumhauer. Cette marche a été surtout adoptée eu égard à la petite quantité de substance qui était à notre disposition, toutes les déterminations ayant dû être faites en conséquence sur une seule prise d'essai. Pour la même raison on n'a pu étendre les recherches aux corps qui ne se trouvent d'ordinaire dans les météorites qu'en quantités minimales, comme le cuivre, l'étain, le phosphore, etc. Cette analyse a été exécutée de la manière suivante : A l'aide de l'aimant on extrait de la substance grossièrement pulvérisée toutes les particules qui restent attachées au barreau; ce traitement est répété une seconde fois après avoir plus finement broyé le résidu de la première opération. La masse extraite par l'aimant est alors lavée par l'eau en la frottant entre les doigts et les parois du vase jusqu'à ce que l'eau de lavage reste claire; la poudre résultant de l'évaporation de cette eau est réunie à la partie non magnétique et soumise avec elle à un broyage en règle.

La partie magnétique séchée à 110° C. est chauffée dans un cou-

(1) BOUSSINGAULT, *Dosage du carbone dans la fonte, le fer et l'acier* (ANN. CHIMIE ET PHYSIQUE, 4^e série, t. XIX, 1870).

(2) V. BAUMHAUER, *Sur la météorite de Tjabé* (ARCHIVES NÉERLANDAISES D. SCIENCES EXACTES ET NATURELLES, t. VI, 1871, p. 305).

(3) V. BAUMHAUER, *Sur la séparation quantitative du fer d'avec le nickel et le cobalt* (LOC. CIT., p. 41).

rant d'hydrogène sec au rouge faible (1) et versée alors dans un matras en verre; on l'y mêle avec dix fois son poids de bichlorure de mercure et on y ajoute une solution concentrée de ce réactif, de sorte que pour une partie de substance on a quinze à vingt parties de bichlorure. On laisse d'abord agir à froid pendant quelques heures, en ayant soin d'agiter souvent le liquide, et on le chauffe enfin au bain-marie. Durant toute cette opération, on fait passer sur la substance un courant d'hydrogène pur, pour empêcher l'oxydation du protochlorure de fer qui s'est formé. Après refroidissement, toujours dans le courant d'hydrogène, on décante la solution claire, on verse au résidu une nouvelle portion de la solution mercurique et on recommence une seconde fois l'opération. Après nouvelle décantation, la partie non magnétique, chauffée aussi au préalable dans un courant d'hydrogène (2), y est ajoutée et le traitement par le bichlorure de mercure est répété une troisième fois. La poudre ainsi épuisée est lavée à l'eau chaude et séchée; elle contient, outre le protochlorure de mercure qui s'est formé, les silicates, le sulfure de fer et le fer chromé, tandis que la solution renferme, outre l'excès du bichlorure de mercure, les éléments métalliques et une faible quantité de silicates qui ont été attaqués. Pour éliminer le mercure, cette solution est traitée d'abord par l'hydrogène sulfuré; le liquide filtré est évaporé pour chasser l'excès de l'acide chlorhydrique devenu libre par ce traitement; pendant l'évaporation on y ajoute du chlorate de potassium pour oxyder le protoxyde de fer en peroxyde, qui est précipité alors par le carbonate de baryum et séparé ainsi du nickel et du cobalt. Ces deux métaux furent précipités ensuite par le sulfhydrate d'ammonium et séparés par le nitrite de potassium.

La partie insoluble dans la solution mercurique est séchée sur l'acide sulfurique concentré et divisée en trois portions. La première est mêlée avec cinq parties de carbonate de soude et chauffée légèrement jusqu'à ce que tout le chlorure de mercure se soit volatilisé; après avoir ajouté une partie de nitrate de soude,

(1) On constata pendant cette opération un faible dégagement d'hydrogène sulfuré, d'où il résulte une légère perte de soufre; mais la diminution totale du poids n'était que de 2 milligrammes environ, dont une partie seulement peut être attribuée au soufre.

(2) En faisant rougir légèrement cette partie de la substance dans le courant d'hydrogène, il se dégagait une fumée blanchâtre d'odeur empyreumatique et, au commencement, d'une réaction franchement alcaline.

le mélange est fusionné et la fonte épuisée par l'eau. Dans la solution aqueuse on dose l'acide sulfurique et le chrome après élimination de la silice par évaporation; dans le résidu on détermine l'autre partie de la silice, l'alumine, le fer, la chaux et la magnésie par les méthodes ordinaires. La deuxième portion de la partie insoluble dans le bichlorure de mercure est chauffée directement pour chasser le chlorure de mercure et attaquée alors par l'acide fluorhydrique; elle sert pour le dosage des alcalis. Dans la troisième portion enfin on détermine les quantités de silicates solubles et insolubles dans l'acide chlorhydrique. Dans ce but elle est d'abord traitée à froid pendant vingt-quatre heures par l'acide chlorhydrique concentré et, après addition d'une petite quantité d'eau, chauffée pendant quelques heures au bain-marie. On dose alors les portions de fer et de magnésie qui se sont dissoutes et celles qui se trouvent dans le résidu insoluble.

Voici les résultats de cette analyse :

I. 2,961 grammes de substance, dont 0,306 gr. environ pouvait être extrait par l'aimant, séchés à 110° et traités par le bichlorure de mercure, donnèrent une solution qui contenait 0,3012 gr. de peroxyde de fer, 0,0467 gr. d'oxyde de nickel, 0,0036 gr. de cobalt, 0,0312 gr. de silice et 0,0494 gr. de pyrophosphate de magnésium.

Le résidu insoluble dans la solution mercurique, séché sur l'acide sulfurique concentré, pesait 3,5625 gr.; il fut divisé en trois parties comme suit :

II. 1,1855 gr. du résidu, fusionné par le carbonate et le nitrate de sodium, donna 0,1522 gr. de sulfate de baryum, 0,0089 gr. d'oxyde de chrome, 0,3836 gr. de silice, 0,0245 gr. d'alumine, 0,2243 gr. de peroxyde de fer, 0,0192 gr. de chaux, 0,6679 gr. de pyrophosphate de magnésium et des traces de manganèse.

III. 1,0279 gr. du résidu, attaqué par l'acide fluorhydrique, donna 0,0160 gr. de chlorure de sodium contenant des traces de potassium.

IV. 1,3410 gr. du résidu, traité d'abord par l'acide chlorhydrique, fusionné ensuite par les carbonates de sodium et de potassium, donna 0,0018 gr. d'alumine, 0,2027 gr. de peroxyde de fer, 0,0038 gr. de chaux et 0,5150 gr. de pyrophosphate de magnésium provenant des silicates solubles dans l'acide chlorhydrique (a), 0,0271 gr. d'alumine, 0,0491 gr. de peroxyde de fer, 0,0190 gr. de chaux et 0,2442 gr. de pyrophosphate de magnésium provenant des silicates insolubles dans l'acide chlorhydrique (b), et 0,4388 gr. de silice.

Le tableau ci-après donne la composition chimique de la météorite analysée, calculée d'après les données analytiques précédentes : dans ce calcul on a admis, d'après M. St. Meunier (1), pour le sulfure

(1) STAN. MEUNIER, *loc. cit.*, p. 61.

de fer (pyrrhotine) la formule Fe_7S_8 ; on a déduit (déterminations II et IVa) de la quantité totale de fer celle qui, d'après cette formule, répond au soufre et on a supposé le reste comme protoxyde.

	I.	II.	III.	IVa.	IVb.	MOYENNE.
SiO_2	1,05	38,93	—	39,37		40,20
Al_2O_3	—	2,49	—	0,16	2,43	2,54
Cr_2O_3	—	0,90	—	—	—	0,90
FeO	—	16,30	—	12,84	3,97	16,22
MnO	—	traces	—	—	—	traces
CaO	—	1,95	—	0,34	1,71	2,00
MgO	0,60	24,42	—	16,65	7,89	25,08
Na_2O	—	—	0,99	—	—	0,99
K_2O	—	—	traces	—	—	traces
Fe	7,12	3,25	—	—	—	10,37
Ni	1,24	—	—	—	—	1,24
Co	0,12	—	—	—	—	0,12
S	—	2,12	—	—	—	2,12
						101,78

Pour arriver, en partant de ces chiffres, à la composition minéralogique de la météorite analysée, nous devons nous baser sur le résultat de l'examen microscopique de M. Prinz, qui a signalé comme éléments principaux le *péridot* et l'*enstatite* : nous pouvons considérer comme appartenant au premier le protoxyde de fer et la magnésie solubles dans l'acide chlorhydrique (IVa), tandis que les parties insolubles de ces deux bases (IVb) peuvent être rapportées à un minéral du groupe des pyroxènes rhombiques. Je désignerai ce minéral à cause de sa teneur en fer sous le nom de *bronzite*. En conséquence, on peut, en partant des quantités de protoxyde de fer et de magnésie solubles et insolubles dans l'acide chlorhydrique, calculer d'après les formules $(\text{FeMg})_2\text{SiO}_4$ et $(\text{FeMg})\text{SiO}_3$ les quantités respectives de ces deux silicates; il va de soi qu'on a déduit préalablement de la quantité totale de protoxyde de fer insoluble la quantité nécessaire pour former du *fer chromé* avec l'oxyde de chrome. Le soufre est rapporté à la *pyrrhotine* d'après la formule précitée et le reste du fer avec le nickel et le cobalt est considéré comme *fer nickelé*.

La petite quantité de magnésie soluble dans le bichlorure de mercure appartient probablement au péridot; il est probable aussi qu'une faible quantité de protoxyde de fer appartenant à cette

espèce minéralogique a été dissoute en même temps, de sorte que le chiffre du fer métallique est peut-être un peu trop élevé. On aurait pu calculer cette quantité en se basant sur les relations atomiques entre le fer et le magnésium dans le péridot comme elles résultent de la détermination IVa : elle serait de 0,44 % FeO répondant à 0,34 % Fe. Mais ces considérations ne nous semblaient pas suffisamment fondées pour faire les corrections qui en résulteraient. Il s'agit d'ailleurs dans le cas présent beaucoup moins d'établir la composition exacte de chacune des espèces minéralogiques qui constituent la météorite (pour arriver à ce but il aurait fallu une quantité beaucoup plus considérable de substance) que de donner une idée générale de sa composition minéralogique. Un tel résultat, vu les imperfections des méthodes dont nous disposons, ne peut être qu'approximatif, les corrections sus-mentionnées ne l'auraient pas changé sensiblement.

Le tableau suivant indique le résultat du calcul que je viens d'exposer :

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe	Ni	Co	S	SOMME
Fer chromé .	—	—	0.90	0.43	—	—	—	—	—	—	—	1.33
Pyrrhotine .	—	—	—	—	—	—	—	3.25	—	—	2.12	5.37
Fer nickelé .	—	—	—	—	—	—	—	7.12	1.24	0.12	—	8.48
Bronzite. . .	14.76	—	—	3.55	—	7.87	—	—	—	—	—	26.18
Péridot . . .	17.56	—	—	12.24	—	16.61	—	—	—	—	—	46.41
Reste	7.88	2.54	—	—	2.00	0.60	0.99	—	—	—	—	14.01
Somme . . .	40.20	2.54	0.90	16.22	2.00	25.08	0.99	10.37	1.24	0.12	2.12	101.78

Dans la colonne désignée sous le nom *reste*, outre la faible quantité de magnésie dissoute par le bichlorure de mercure et appartenant d'après ce qui précède probablement au péridot, et outre la

silice restant après le calcul exposé plus haut, on trouve encore de petites quantités d'alumine, de chaux et de soude, qui constituent évidemment la masse fondamentale amorphe dont parle M. Prinz. Comme il le fait remarquer, elle pourrait bien être constituée principalement par un feldspath plagioclase : les relations atomiques entre le calcium et le sodium se rapprochent, en effet, beaucoup de celles trouvées par M. Tschermak (1) pour la Maskelynite de la météorite de Shergotty, mais il serait risqué de vouloir être trop affirmatif sur ce point. En réduisant à 100 les chiffres du tableau précédent, on peut donc exprimer comme suit la composition minéralogique centésimale de la météorite analysée :

Péridot	45,60
Bronzite	25,72
Fer nickelé	8,33
Pyrrhotine	5,28
Fer chromé	1,31
Reste	13,76
	100,00

Les relations atomiques entre le fer et le magnésium seraient pour le péridot environ 2 : 5, pour la bronzite 1 : 4, de sorte qu'on pourrait écrire leurs formules brutes respectives $F_4Mg_{10}Si_7O_{28}$ et $FeMg_4Si_5O_{15}$; pour le fer nickelé on trouverait les relations atomiques entre le fer et le nickel approximativement 6 : 1.

(1) G. TSCHERMAK, *Sitzber. der kais. Acad. der Wissensch. Wien*, t. LXV, 1872.

