

L'AÉROLITHE DU HAINAUT

ÉTUDE SPECTROGRAPHIQUE

INTRODUCTION

L'un de nous a donné, dans les *Mémoires du Musée d'Histoire naturelle de Belgique* (¹), une première description de quelques fragments de l'aérolithe tombé à Bettrechies le 26 novembre 1934. Ce travail, ainsi que le mentionnait son introduction, appelait certaines recherches complémentaires.

La présente note a pour objet l'analyse spectrographique de ces mêmes fragments. Cette étude nous a amenés à reprendre certaines déterminations chimiques qui se trouvaient en désaccord avec les données nouvelles obtenues. L'examen microscopique a également été complété.

L'ensemble des recherches a été effectué dans le laboratoire de l'un de nous à l'Université de Louvain (département de spectrochimie). Il nous est agréable de reconnaître le concours dévoué de MM. A. Mevis, spectroscopiste, et P. Declercq, chimiste.

Rappelons, pour fixer les idées, que l'aérolithe du Hainaut est une météorite pierreuse, bréchiforme, du type chondritique, essentiellement composée de pyroxènes et d'olivine, mouchetée de grenailles de fer-nickel et de troïlite. L'aspect bréchiforme est dû à la distribution de portions claires, moins affectées par des phénomènes mécaniques et thermiques, dans une pâte cataclastique sombre, lardée d'un réseau très complexe de veinules de fusion. Le caractère bréchiforme est encore accentué par la présence de noyaux gris bleu, à limites mal définies, et d'autres, noirs, apparemment homogènes, à contours géométriques. Il était intéressant de contrôler si ces différentes parties structurales répondaient à une distribution ou à une concentration particulière des éléments.

Il est facile, par ailleurs, en soumettant un échantillon finement pulvérisé à un fractionnement magnétique, de séparer, d'une façon assez satisfaisante, la gre-

(¹) M. LECOMPTE, *L'aérolithe du Hainaut*. (MÉM. MUS. ROY. HIST. NAT. BELG., n° 66, 10 janvier 1935.)

naïlle métallique des éléments peu magnétiques de la roche. Dans le but de contrôler le spectre de la première fraction, une grenaille métallique a été soumise isolément à l'enregistrement. Des grains de troïlite, dégagés sous le microscope, ont aussi été spectrographiés séparément.

Enfin, on a appliqué des méthodes de concentration chimique, par voie sèche et par voie humide, permettant de ramener sous un petit volume certains constituants secondaires, disséminés à faible teneur dans la masse.

La sensibilité spectrale, qui peut être insuffisante pour déceler ces éléments dans l'échantillon comme tel, pourra suffir, par contre, pour les retrouver dans la fraction où on les a concentrés.

LA MÉTHODE SPECTROGRAPHIQUE

L'analyse spectrographique a été faite exclusivement dans l'arc électrique, suivant la technique habituelle en usage dans ce laboratoire. La substance finement pulvérisée est introduite dans une cavité peu profonde, en forme de large entonnoir, à l'extrémité d'un crayon de graphite très pur (Hilger H S) ⁽¹⁾. On y oppose une seconde tige de graphite très pur, taillée en pointe, et l'on fait passer entre ces électrodes l'arc électrique continu.

Les conditions d'enregistrement sont différentes suivant qu'on a en vue une recherche qualitative ou un dosage. Dans le premier cas, il y a lieu d'éveiller au maximum les raies les plus persistantes ou ultimes des éléments présents, même en très faible proportion. Dans l'autre cas, il faut veiller surtout à la bonne reproductibilité des enregistrements afin de pouvoir mettre en relation les intensités spectrales trouvées à l'analyse et celles d'échantillons de composition et de teneur connues.

Il a été montré, à propos de la mise au point de méthodes d'analyse spectrale du cuivre ⁽²⁾, que la meilleure reproductibilité des intensités spectrales et, par conséquent, les résultats analytiques spectrographiques les plus exacts sont obtenus en évitant un échauffement excessif de l'électrode portant la substance et en faisant de celle-ci la cathode de l'arc. Sur le pôle positif (anode) certains éléments volatils subissent, pendant l'enregistrement, une distillation fractionnée ayant comme conséquence un appauvrissement progressif en ces constituants, ce qui n'a pas lieu sur la cathode et en utilisant un faible ampérage (un ampère). De plus, en prolongeant l'enregistrement pendant un temps assez long (trois minutes) on élimine l'influence excessive des fluctuations passagères, inévitables, de l'arc.

⁽¹⁾ Il a été soigneusement tenu compte dans ce qui suit des impuretés qui auraient pu être apportées par le graphite.

⁽²⁾ R. BRECKPOT, *Analyse spectrale du cuivre. Chimie et Industrie*, **31**, 220, 1934.

Certains auteurs appliquent, pour les recherches qualitatives, des conditions d'excitation particulièrement énergiques, utilisant des arcs de 10 ampères et plus. Goldschmidt et Peters ont adopté une technique de ce genre pour leurs importantes études sur la géochimie des éléments, parues dans les *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* à partir de 1931 ⁽¹⁾. Dans ce laboratoire on préfère ne pas dépasser 3 ampères; un arc trop intense donne lieu à un spectre dont le fond est peu clair, ce qui masque facilement des raies très faibles. Les spectres des divers éléments se compliquent, d'ailleurs, par l'apparition de raies nouvelles correspondant aux niveaux énergétiques de plus en plus élevés.

L'analyse spectrale quantitative est surtout intéressante aux faibles pourcentages. Au delà de quelques unités pour cent, les variations d'intensités spectrales ne sont plus très marquées. La précision absolue devient insuffisante, les intensités variant comme le logarithme de la concentration. Si l'intensité d'une raie est triplée, par exemple, quand la teneur en élément correspondant passe de 0,001 à 0,01 %, elle est triplée encore de 0,01 à 0,1 % et de 0,1 à 1 %, ce qu'on exprime en disant que la courbe reliant l'intensité spectrale et le logarithme de la concentration est pratiquement linéaire aux faibles pourcentages. La précision relative est constante. On différenciera avec une précision égale 0,001 et 0,002 % comme 1 % et 2 %. La précision absolue, par contre, devient insuffisante aux teneurs élevées.

L'estimation des intensités spectrales par la méthode, dite interne, de Gerlach ⁽²⁾, se fait en comparant les diverses raies des constituants secondaires à certaines raies appropriées du constituant de base. Cette méthode exige que le constituant, dit de base, soit tout à fait prédominant. Dans les conditions opératoires, mises au point par l'un de nous, le constituant de base, cuivre ou fer, représente généralement plus de 95 % de la masse.

On peut, néanmoins, résoudre le problème de la détermination quantitative des constituants présents en faible dose (C, D, E) dans un mélange binaire A, B en comparant les intensités des éléments C, D, E à l'un des constituants principaux A, pour autant que les fluctuations de B n'influencent pas les intensités relatives C/A, D/A, etc. C'est ainsi que le concentrat magnétique, qui renferme plus de 85 % de fer, peut être analysé quantitativement quant aux constituants présents en faible dose, Co, Mn, Ge, etc., en rapportant les résultats à la dose de fer présente et non à la masse. Les intensités relatives déterminées par rapport au fer, constituant de base unique, ne sont pas sensiblement influencées par la présence d'une

⁽¹⁾ Voir encore à ce sujet : R. MANNKOPFF et CL. PETERS, *Ueber quantitative Spectralanalyse mit Hilfe der negativen glimmschicht in Lichtbogen*. (ZEITSCHR. F. PHYSIK, **70**, 444, 1931.)

⁽²⁾ GERLACH et SCHWEITZER, *Die chemische Emissions Spektralanalyse*, 1930.

dose relativement importante de nickel. Par contre, l'enregistrement quantitatif d'échantillons riches en silice est moins précis, l'arc électrique prenant mal sur de telles substances.

La méthode de concentration chimique avec incorporation de l'extrait à une dose connue de cuivre, décrite plus loin, illustre un cas couramment employé dans ce laboratoire, pour des analyses métallurgiques, où la méthode quantitative donne ses meilleurs résultats.

Les raies comparées ne doivent pas être trop éloignées sur la plaque afin de ne pas faire intervenir les effets sélectifs du spectrographe et du matériel photographique. Elles doivent être exemptes de coïncidences dangereuses et ne pas être sujettes à des fluctuations d'intensité, comme le sont souvent les raies de second ordre (dites généralement raies d'étincelle) lorsque celles-ci figurent dans le spectre d'arc.

A titre d'exemple, on trouvera, dans une série de publications par l'un de nous ⁽¹⁾, une liste de raies persistantes et de raies de comparaison dans une base de cuivre ou dans une base de fer. On y donne également les intensités relatives apparentes des raies comparées pour divers pourcentages de constituants secondaires allant de 1 % à 0,001 % et même 0,0001 %. Ces tables permettent de construire les diagrammes d'intensité dont l'utilisation est particulièrement aisée du fait que les courbes sont pratiquement linéaires entre de larges limites, si l'on porte les pourcentages dans le diagramme en échelle logarithmique.

Pour rendre possible l'estimation visuelle des intensités relatives, on interpose dans la technique quantitative, entre l'arc et la fente du spectrographe, un secteur tournant à découpe logarithmique discontinue.

On obtient ainsi des spectres dégradés suivant leur hauteur, chaque raie étant formée par des tronçons juxtaposés dont le noircissement va en diminuant en fonction du temps d'exposition décroissant. Si l'on connaît les temps d'exposition relatifs, et ceux-ci sont donnés par les angles d'ouverture des diverses sections du secteur, on peut en déduire l'intensité relative apparente ⁽²⁾ de deux raies voisines. On compare l'un des tronçons de la première aux tronçons diversement exposés de la seconde, en recherchant ceux de noircissement égal.

La figure 2 de la planche I représente un fragment du spectre quantitatif (agrandi sept fois) de la fraction métallique séparée par concentration magnétique. On y a pointé les raies très persistantes du germanium 2651,18 et du chrome 2677,17.

⁽¹⁾ R. BRECKPOT, *Études d'analyse spectrale quantitative*. (ANNALES SOC. SCIENT. BRUXELLES, 53 B; 219, 1933; en collaboration avec A. Mevis, 54 B, 99, 1934; 54 B, 290, 1934; 55 B, 16, 1935.)

⁽²⁾ Pour avoir l'intensité relative réelle, il faudrait faire intervenir la constante de Schwarzschild. Le noircissement photographique est, en effet, fonction non du temps t mais de t^p où p est un exposant correctif voisin de l'unité, mais dont la détermination est toujours sujette à discussion.

Pour l'estimation quantitative, la raie du germanium est comparée aux raies voisines du fer 2645,422 et 2647,577; la raie du chrome peut être comparée aux raies du fer 2669,492, 2680,452; 2684,068 ⁽¹⁾.

Le spectrographe utilisé pour ces recherches est le spectrographe dit moyen de Hilger (E 315) avec plaques extra fines, de 3 sur 25 cm., épousant la courbe focale et permettant l'obtention d'une définition suffisante, malgré la grande complexité des spectres à base de fer, nickel et chrome, ici obtenus.

EXAMEN QUALITATIF IMMÉDIAT

Il a été rappelé précédemment qu'on distingue macroscopiquement dans la roche étudiée des régions structurales différentes. Nous avons prélevé des échantillons représentatifs des parties les plus caractéristiques, soit :

1. Parties claires de la roche;
2. Parties sombres cataclastiques;
3. Noyaux gris-bleus;
4. Noyaux noirs.

Les numéros d'ordre correspondent à ceux de la table I.

Ces prises d'essai ont été finement broyées au mortier d'acier d'abord, puis au mortier d'agate.

Un échantillon sensiblement moyen finement pulvérisé a été ensuite soumis à un fractionnement magnétique.

Une première fraction, séparée à l'électro-aimant, a été reprise à l'aimant permanent, de façon à isoler aussi soigneusement que possible la partie la plus magnétique. On ne peut, néanmoins, s'attendre à une séparation parfaite, des parties silicatées restant forcément adhérentes aux grenailles et, d'autre part, des particules métalliques restant occluses dans les grains de silicates.

La partie non magnétique, essentiellement silicatée, est désignée dans la table I sous le numéro 5, la partie métallique sous le numéro 7. Nous avons également enregistré séparément une grenaille métallique de dimensions un peu plus grandes que la moyenne et que l'on avait pu isoler comme telle (n° 8).

Enfin, la partie non magnétique a été soumise à une séparation dans l'iodure de méthylène. Dans la fraction la plus dense recueillie, il a été assez facile de dégager, sous le microscope binoculaire, des grains ayant les caractères de la troilite (FeS). Quelques-uns de ces grains ont été examinés séparément au spectrographe; les résultats obtenus figurent dans la colonne 6.

Pour l'examen spectrographique de ces diverses fractions, la substance a été introduite comme telle dans la cuvette taillée dans une des électrodes de graphite.

⁽¹⁾ Les raies de comparaison du fer ne sont pas pointées dans le cliché.

Une quantité de 50 à 100 mgr. a été prélevée sur les échantillons pulvérisés; la fraction de troïlite ne représentait que quelques milligrammes.

La figure 1 (planche I) représente deux spectres juxtaposés correspondant aux fractions 5 et 7 définies ci-dessus. On a reproduit la région comprise entre les longueurs d'onde 2591,541 et 2720, 902, exprimées en unités Angström.

On voit nettement combien les raies du chrome sont plus abondantes et plus intenses dans la fraction 5.

Dans la fraction 7 il n'y a plus guère, dans la région représentée, que la raie du chrome 2677,17 qui soit visible.

TABLE I.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Parties claires.	Parties sombres.	Noyaux gris bleu.	Noyaux noirs.	Partie silicatée.	Troïlite.	Partie magnétique.	Grenaille métallique.
Si	≠	≠	≠	≠	≠	≠	+	f
Mg	≠	≠	≠	≠	≠	≠	+	f
Fe	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠
Ni	+	+	+	+	f	tf	≠	≠
Co	+	+	+	+	-	-	+	+
Cr	+	+	+	+	++	f	f	-
Ca	+	+	+	+	+	f	f	tf
Na	+	+	+	+	+	tf	+	tf
Mn	+	+	+	+	++	-	f	tf
Ti	f	f	f	f	+	-	-	-
Cu	+	+	+	+	f	f	+	+
Al	-	f	f	tf	f	-	-	-
Ge	f	f	f	f	-	-	+	+
Sn	-	-	-	-	f	-	-	-
Zn	-	-	-	-	f	-	-	-
P	-	-	-	-	tf	-	-	-
C			f				f	
Li			tf					

SIGNIFICATION DES SYMBOLES DE LA TABLE I.

≠ indique la présence de l'élément en dose importante (à partir de 1 à 2 %).

+ présence nette depuis 0,01 % jusqu'à 1 % environ.

++ représente une augmentation par rapport au signe +.

f. indique la présence de l'élément en faible quantité ou diminution par rapport au signe +.

t. f. très faible.

- indique l'absence de raies relatives à l'élément considéré.

Il y a lieu, pour l'interprétation correcte de la table I, de ne pas perdre de vue que la persistance absolue n'est pas la même pour tous les éléments et que, pour un élément donné, elle varie d'ailleurs suivant la nature de la substance à laquelle cet élément est incorporé. C'est ainsi que la persistance des raies ultimes de l'étain, du plomb et du bismuth est bien meilleure dans une base cuivre que dans une base fer. D'autre part, les raies ultimes du potassium persistent moins fort, c'est-à-dire jusqu'à des pourcentages moins petits, que les raies ultimes du magnésium ou de l'argent. Dans une base cuivre, le magnésium se laisse encore facilement déceler et doser à 0,0001 %; le potassium, au contraire, n'est plus guère visible en dessous de 0,1 %.

Pour la recherche du carbone, les tiges de graphite ont été remplacées par un support et une tige de cuivre pur qui, enregistrés avant l'interposition de la substance, ne donnaient la raie ultime du carbone que très faiblement ⁽¹⁾. En présence du concentrat magnétique (n° 7) ainsi que d'un échantillon mixte correspondant à l'ensemble des fractions 1 à 4, on note une augmentation faible mais nette de la raie du carbone.

Le lithium ⁽²⁾ a pu être décelé faiblement dans le même échantillon mixte que celui qui a révélé le carbone. Il y a lieu d'être prudent lorsqu'on opère sur électrode de graphite, car ce support apporte généralement lui-même des traces de cet élément.

Le potassium, dont l'analyse chimique faite précédemment donnait une teneur exprimée en K_2O de 0,18 %, n'est pas décelé à l'examen spectrographique immédiat. Les raies les plus sensibles sont en coïncidence ou très proches de raies du fer et du nickel; en outre, comme il vient d'être dit, la persistance de cet élément est particulièrement mauvaise. Les alcalins lourds, rubidium et cæsium, persistent encore moins.

Le soufre ne peut être identifié spectrographiquement dans les conditions opératoires habituelles ⁽³⁾.

RECHERCHES PAR EXTRACTION ET CONCENTRATION

On a préparé un échantillon moyen finement broyé, suffisamment représentatif de l'ensemble de la roche. De petites fractions de 0,5 gr. ont été soumises d'abord à des extractions par l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et l'eau régale (acides concentrés et à chaud).

⁽¹⁾ Cette raie peut être due au CO_2 de l'air.

⁽²⁾ V.-M. GOLDSCHMIDT a décelé, par analyse spectrale dans l'arc, 0,003 % de lithium dans des météorites pierreuses et tectites. (GEOCHEMIE DER ALKALIMETALLE. NACHRICHTEN D. GESELL. D. WISSENSCH. Göttingen, Math. Naturw. Kl., 1933, p. 238.)

⁽³⁾ Les autres éléments que l'analyse spectrale dans l'arc ne peut généralement déceler sont : H, O, N, S, Se, halogènes et gaz rares.

L'extrait chlorhydrique renferme essentiellement du fer, du nickel, du cobalt, un peu de manganèse, pas de chrome. On n'y retrouve évidemment pas le germanium volatilisé à l'état de GeCl_4 . L'extrait nitrique, par contre, montre nettement les raies de cet élément.

L'extrait nitrique, comme l'extrait à l'eau régale, fait apparaître le chrome, mais en concentration nettement plus faible cependant que dans le résidu silicaté non attaqué. Cette constatation indique que le chrome doit être présent sous forme d'un composé très peu soluble.

Pour rechercher certains éléments non révélés à l'examen direct et qui pourraient être présents en petite quantité, nous avons soumis un échantillon plus important (3 grammes) à un fractionnement chimique.

L'échantillon est attaqué par l'acide chlorhydrique et le chlore dans un appareil distillatoire, de façon à recueillir le chlorure de germanium qui est volatilisé au cours de ce traitement. En opérant dans un courant de chlore il n'y a pas de pertes de germanium à l'état d'hydrures et le chlorure GeCl_4 peut être dosé dans le distillat comme il est indiqué plus loin. Nous avons employé, pour cette attaque, de l'acide 6 N. L'extrait acide est séparé par filtration de la partie silicatée non attaquée qui est de couleur grise. Celle-ci est soumise à une désagrégation par le carbonate sodique et un peu de nitrate de potassium. Le produit de la désagrégation et l'extrait acide sont étudiés séparément.

1. *L'extrait acide.* — Celui-ci, sans évaporation préalable pour éliminer la silice, est saturé par l'hydrogène sulfuré. On a d'abord abaissé l'acidité à $\text{pH}=2$ environ, en ajoutant de l'ammoniaque jusqu'à léger virage au jaune brun, ce qui avertit de l'approche du seuil de précipitation de l'hydroxyde ferrique. Si l'on est allé trop loin, on revient en arrière avec une goutte d'acide.

Le précipité qui se forme est essentiellement du soufre. On ajoute un peu de cuivre (10 à 20 mgr.) comme entraîneur et on filtre. On a ainsi le précipité de la section du cuivre (fraction a).

Le filtrat, saturé par H_2S , est alcalinisé par NH_4OH en évitant un excès, ce qui précipite la section du fer. En procédant comme il vient d'être dit, il ne se forme guère de sulfure de nickel colloïdal. On filtre et on lave avec $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ dilué. Le précipité est, à présent, repris par HCl 1.2 N. On redissout les sulfures, à l'exception de la majeure partie du sulfure de nickel et de cobalt ⁽¹⁾. La solution chlorhydrique est évaporée à petit volume et le chlorure de fer extrait à

⁽¹⁾ On n'a pas retrouvé d'autres éléments dans cet insoluble. Il est à remarquer que le cobalt y est relativement plus abondant. THIEL et GESSNER (*Zeit. anorg. chem.* **86**, p. 55, 1914) dans une expérience préliminaire, qui ne semble pas avoir été reprise, indiquent que la vitesse de transformation du sulfure de cobalt fraîchement précipité en variété moins soluble est plus rapide que la transformation analogue de NiS . Voir NOYES and BRAY. *A system of qualitative Analysis for the rare elements*, 1927, p. 434.

l'éther par la méthode de Rothe. La solution, débarrassée de la majeure partie du fer, du nickel et du cobalt, est évaporée à sec (résidu *b*).

2. *Le résidu siliceux*, après désagrégation dans le creuset de platine, est repris par HCl et sans évaporer à sec, ce qui pourrait occasionner des pertes d'étain, on y sépare d'abord comme ci-dessus la section du cuivre par H₂S, à pH=2 et en présence de 10 mgr. de cuivre (précipité *c*).

Dans la solution, on précipite la section du fer et on reprend par H Cl dilué, en écartant le sulfure de nickel insoluble. Cet insoluble est ici très réduit. La solution chlorhydrique, évaporée à petit volume, est extraite à l'éther pour éliminer le fer et la solution est enfin évaporée (résidu *d*).

La composition chimique des diverses fractions obtenues est la suivante :

a) Le précipité sulfhydrique permet de caractériser le *plomb*, l'*étain* et également un peu d'*arsenic*;

b) Dans ce résidu qui renferme encore du nickel et un peu de fer, on n'a pu faire aucune constatation intéressante; l'*aluminium* y est très faiblement présent;

c) Le précipité de la section du cuivre, après désagrégation, donne les mêmes éléments que ci-dessus. On y trouve, en outre, du platine, mais celui-ci provient de l'attaque du creuset pendant la désagrégation;

d) Le résidu, après élimination du nickel ⁽¹⁾ et du fer, renferme essentiellement du *chrome*. On peut y déceler, en outre, le *manganèse*, un peu d'*aluminium*, du *zinc*, du *titane* et du *vanadium*.

Il y a lieu de remarquer que, si la précipitation par l'hydrogène sulfuré en milieu faiblement acide, comme c'est ici le cas, se fait à chaud, le titane risque de précipiter à la section du cuivre ⁽²⁾. Nous avons, d'ailleurs, pu l'obtenir presque quantitativement dans un précipité équivalent à la fraction *c* ci-dessus.

En séparant dans la fraction *d* la majeure partie du chrome par un traitement à l'ammoniaque et l'eau oxygénée qui le met en solution sous forme de chromate, on recueille un faible précipité d'hydroxydes insolubles dans lequel la caractérisation spectrographique du titane et du vanadium devient particulièrement nette.

Nous avons encore essayé une séparation des éléments de la section du fer par la méthode à l'acide tartrique ⁽³⁾, mais les résultats n'ont pas été aussi satisfaisants.

⁽¹⁾ Il y a fort peu de nickel dans la partie désagrégée.

⁽²⁾ NOYES and BRAY (*A systeme of qual. Analysis for the rare elements*) signalent que le titane précipite lentement sous forme de H₂TiO₃, si l'on chauffe à 90°-100° une solution faiblement acide (0,3 N) renfermant cet élément.

⁽³⁾ HILLEBRAND et LUNDELL, *Applied Inorganic Analysis*, 1929.

En conclusion, sauf le vanadium, le plomb et l'arsenic, on n'a donc pu déceler, après concentration chimique par voie humide, aucun élément non signalé par l'analyse immédiate. On a spécialement recherché les éléments suivants : Sc, Zr, W, Mo, Nb, Ta, Re, terres rares, mais le résultat a été négatif. Les alcalinoterreux Sr et Ba n'ont pas été spécialement recherchés non plus que les alcalins.

L'argent a été retrouvé dans certains concentrats, mais les résultats sont douteux en ce sens que toute possibilité de contamination par cet élément n'a pas été exclue.

Afin de mettre en évidence la présence de traces de *platine*, nous avons appliqué la méthode de coupellation suivie déjà par Goldschmidt et Peters (¹). L'essai a été fait sur un gramme d'échantillon moyen. On l'a d'abord chauffé en présence de soufre, puis soumis à un grillage, comme le recommandent ces auteurs. Après fusion avec le mélange fondant, le bouton de plomb recueilli est soumis à la coupellation, mais on interrompt celle-ci avant que le plomb ne soit complètement volatilisé. Le petit globule de plomb où les métaux nobles sont à présent concentrés est porté dans l'arc électrique et spectrographié. On reconnaît la présence, en dose faible mais nette, du *platine*, du *palladium*, de l'*or* et du *rhodium*. L'argent est également présent, mais les réactifs mis en œuvre n'étant pas absolument exempts, il n'est pas possible de conclure quant à ce métal.

L'*osmium* et l'*iridium* n'ont pas été décelés; pour le *ruthénium* le résultat est douteux. La persistance spectrale de ces derniers éléments est d'ailleurs moins favorable.

DÉTERMINATIONS SPECTROGRAPHIQUES QUANTITATIVES

Nous avons fait toute une série d'enregistrements dans les conditions décrites plus haut et qui permettent, après coup, par estimation des intensités apparentes des raies, de fixer les pourcentages relatifs de certains constituants.

Ont été enregistrés de cette façon : le concentrat magnétique, les précipités de la section du cuivre après incorporation à une quantité connue de cuivre, le distillat de germanium, également après incorporation à la base cuivre, des précipités d'hydroxyde de fer avec les oxydes qu'ils entraînent.

1. *Fraction métallique*. — Un concentrat magnétique, représentant 16,08 % d'un échantillon moyen et renfermant, à l'analyse chimique, 78,6 % de fer, a été enregistré comme tel dans les conditions quantitatives. Un fragment de ce spectre quantitatif est reproduit planche I, figure 2.

(¹) GOLDSCHMIDT et PETERS, *Zur Geochemie der Edelmetalle*. (NACHRICHT. GESELL. WISSENSCH. Göttingen, Math. Phys. Kl., 1932, p. 377) et CL. PETERS, *Mikrodokimatische anreicherung und spectralanalytische Bestimmung der Edelmetalle*. (METALLWIRTSCHAFT, 12, 17, 1933.)

L'étude de cette plaque permet les estimations suivantes, les résultats étant exprimés par rapport au fer.

1° Cobalt	0,7 %
2° Chrome	0,1 % ⁽¹⁾
3° Cuivre	0,02 %
4° Germanium	0,02 %
5° Manganèse	0,02 %

La teneur en nickel est trop forte pour pouvoir être utilement dosée par voie spectrographique. Le seul examen des diverses plaques relatives aux fractions métalliques révèle cependant immédiatement que le pourcentage en nickel dépasse de beaucoup 3 %.

2. On a recueilli quantitativement le précipité de la *section du cuivre*, obtenue aux dépens de l'extrait chlorhydrique, d'une part, et du produit de désagrégation de la silice résiduaire, d'autre part. Ces précipités sont très peu importants; aussi avons-nous ajouté à la solution 10 milligrammes de cuivre (nitrate). Le sulfure de cuivre formé sert d'entraîneur. On filtre, on redissout dans l'acide nitrique chaud en détachant complètement du filtre, on ajoute 90 mgr. de cuivre (solution de nitrate), on évapore à sec et on calcine modérément de façon à obtenir un résidu noir, composé essentiellement d'oxyde de cuivre, dans lequel les traces des constituants à doser sont répartis. On détache de la capsule de quartz dans laquelle s'est faite l'évaporation, on homogénéise et on enregistre quantitativement sous 1 ampère, pendant trois minutes.

En comparant les diverses raies de constituants secondaires à des raies appropriées du constituant de base, qui est ici le cuivre, on détermine les pourcentages en Sn, Pb et As, par rapport au cuivre.

La quantité de cuivre mise en présence est de 100 milligrammes.

On néglige la faible dose de cuivre apportée par la météorite elle-même et qui n'est que de l'ordre de 0,2 milligramme par gramme d'échantillon.

Dans ces conditions, il y a lieu de diviser ces premiers résultats par le chiffre 33, pour les ramener à l'ensemble de substance mise en œuvre, soit trois grammes.

Ce sont ces résultats que l'on a reportés dans la table II.

⁽¹⁾ La teneur assez forte en chrome est due à la présence d'une fraction non négligeable de gangue silicatée dans ce concentrat, comme il ressort, d'ailleurs, de la teneur relativement élevée de celui-ci en silice (5,20 % de SiO₂, détermination chimique). Une autre fraction de concentrat magnétique a donné sensiblement moins de chrome et la grenaille métallique (n° 8 de la table I) n'en renfermait pratiquement plus.

TABLE II.

Les pourcentages donnés se rapportent à l'ensemble de la météorite.

	EXTRAIT CHLORHYDRIQUE.	PARTIE DÉSAGRÉGÉE.
Plomb	0,001 %	0,001 %
Etain... ..	0,003 %	0,0003 %
Arsenic	0,0003 %	0,001 %

En opérant dans les conditions précisées plus haut, c'est-à-dire en effectuant la précipitation par H_2S à chaud, le titane semble précipiter quantitativement à la section du cuivre. Un dosage effectué par rapport à la base cuivre a donné 0,01 % de titane (pourcentage rapporté à l'ensemble).

3. *Germanium*. — On a vu plus haut que la fraction métallique renferme 0,02 % de germanium. Cet élément a été également dosé dans un échantillon moyen de la météorite, en appliquant la méthode mise au point par l'un de nous et qui sera publiée ailleurs ⁽¹⁾. La méthode revient, essentiellement, à distiller le chlorure de germanium, dans un courant de chlore, en présence d'acide chlorhydrique, comme l'ont déjà fait Geilmann et Brunger ⁽²⁾. Mais ici le distillat est débarrassé de l'excès de chlore et saturé par H_2S , en présence d'une petite quantité de cuivre servant d'entraîneur. Après lavage jusqu'à élimination de l'ion chlore, on calcine modérément et on enregistre par rapport à la base cuivre. 3 grammes de météorite (échantillon moyen) ont donné, par rapport à 100 milligrammes de cuivre, 0,06 % Ge, soit pour l'ensemble de la météorite 0,002 %. Ce dosage a été fait en double : les deux résultats étaient identiques.

4. Le *chrome* et le *manganèse* ont été dosés de la façon suivante :

Après extraction du fer-nickel libre à l'acide chlorhydrique, le résidu est soumis à la désagrégation.

Après élimination de la section du cuivre, les fractions venant de l'extraction acide et de la désagrégation étant réunies, on divise la solution en deux parts égales. Dans l'une on précipite le fer par NH_4OH , dans l'autre par l'ammoniaque en présence d'eau oxygénée.

Le précipité par l'ammoniaque seul renferme le chrome. Le précipité obtenu en présence de H_2O_2 renferme le manganèse à l'état de MnO_2 . Dans l'un et

⁽¹⁾ *Annales Soc. Scient.* Bruxelles, 1935.

⁽²⁾ GEILMANN et BRUNGER, *Zum Nachweis von Germanium*. (ZEITSCHR. ANORG. U. ALLG. CHEM. : 196, 312, 193'.)

l'autre cas les lectures sont faites par rapport à la base fer, les précipités étant simplement séchés et spectrographiés comme tels, dans des conditions quantitatives.

On a trouvé ainsi, les résultats étant exprimés par rapport au fer total de la météorite,

Chrome	1,6 %
Manganèse	0,4 %

Ramenés à la météorite comme telle (26,80 % Fe), ces chiffres deviennent :

Chrome	0,4 %
Manganèse	0,1 %

L'aluminium, le zinc et le vanadium n'ont pas été dosés; on peut estimer très approximativement qu'il s'agit de teneurs de l'ordre de 0,001 %.

DISCUSSION DES RÉSULTATS FOURNIS PAR L'ANALYSE SPECTROGRAPHIQUE

Il résulte tout d'abord de l'examen spectrographique comparé des diverses parties structurales de la météorite (1-2-3-4 du tableau I) qu'il n'y a entre celles-ci aucune différence qualitative essentielle.

Les noyaux foncés (noirs et gris-bleu) avaient été considérés précédemment par l'un de nous comme essentiellement constitués de pigment métallique concentré. Cette idée doit être abandonnée. D'ailleurs, un nouvel examen microscopique a confirmé les constatations faites spectrographiquement. (Voir pp. 26-28.)

Partout dans la roche, les constituants essentiels sont le silicium, le magnésium, le fer, le nickel. Pas plus que pour les éléments principaux, il n'a été possible de mettre en évidence une localisation préférentielle des éléments secondaires dans les régions qui, macroscopiquement, paraissent différentes.

Ces éléments secondaires révélés à l'analyse spectrale et que la première analyse chimique n'avait pas décelés sont les suivants : Cu ⁽¹⁾, Pb, Sn, As, Zn, V, Li, C, Pt, Pd, Au, Rh. En ce qui concerne le chrome, il y a un désaccord manifeste avec l'analyse précitée. Celle-ci donnait moins de 0,001 %. Or, cet élément se retrouve, dans les diverses parties de la roche, en dose relativement importante, comme il ressort des chiffres que nous avons donnés plus haut.

La répartition des éléments entre la partie métallique et la partie non métallique est des plus intéressante à examiner. A cet égard la comparaison de la

(¹) Dans l'analyse mentionnée (Ronschesne in M. LECOMPTE, *op. cit.*), le cuivre n'avait pas été dosé. Son existence avait cependant été décelée qualitativement.

partie silicatée (colonne 5 du tableau I) et de la grenaille métallique (colonne 8 du tableau I) est particulièrement suggestive.

La fraction magnétique (colonne 7) renferme encore un peu de gangue et révèle de ce fait des raies caractéristiques de la partie silicatée (Mg, Si, Cr).

On peut dire que le métal est constitué essentiellement de fer et de nickel et, en dose moindre, de cobalt. La partie non magnétique renferme comme constituants principaux du silicium, du magnésium et du fer. Quant à la troïlite (n° 6 de la table I), l'essai effectué sur quelques milligrammes ne montre comme constituant essentiel que le fer, le soufre n'étant pas visible au spectrographe. Soulignons dès maintenant que le nickel et le chrome y sont absents.

La question se pose de savoir de quelle façon les éléments secondaires révélés par l'analyse se répartissent entre ces fractions (5-6-8).

De l'examen de la table I, il résulte que le *germanium* est associé à la partie métallique. L'analyse quantitative le confirme puisque nous trouvons 0,02 % de cet élément dans le concentrat magnétique contre 0,002 % dans un échantillon moyen. On a pu établir, en outre, que le germanium passe de façon pratiquement quantitative dans l'extrait nitrique ⁽¹⁾. L'élément est absent dans le concentrat siliceux (n° 5) ainsi que dans la troïlite (n° 6).

La répartition du *cuivre* est moins nette. On le retrouve aussi bien dans le métal que dans la partie silicatée, quoique plus accentué dans le premier. Il n'y a guère de concentration de cet élément dans la troïlite. Il y semble même présent en dose plus faible, mais le minéral n'ayant été traité qu'en quantité infime, en raison de la difficulté que présente sa séparation, les conclusions relatives à ses constituants secondaires sont moins certaines.

Le *chrome* est essentiellement associé à la partie silicatée. Dans la grenaille métallique que nous avons pu isoler et spectrographier comme telle, les raies du chrome sont absentes. On les retrouve, par contre, dans le concentrat magnétique, mais il s'agit manifestement d'un entraînement avec la gangue, comme le prouve l'analyse chimique de cette fraction rapportée plus loin, qui accuse 5,20 % de SiO₂. D'une concentration magnétique à l'autre, la teneur en chrome passe de 0,1 à 0,01 %, suivant que la séparation est plus ou moins parfaite.

La partie silicatée, au contraire, renferme assez bien de chrome, comme permet d'en juger la teneur de 0,4 % trouvée dans l'échantillon moyen. L'élément est présent sous forme de composé peu soluble puisqu'on ne le retrouve pas dans l'extrait chlorhydrique et faiblement seulement dans l'extrait à l'eau régale. Il s'agit donc probablement de chromite.

Le *manganèse*, comme le chrome, se retrouve surtout dans la partie silicatée.

⁽¹⁾ L'extrait nitrique (acide nitrique exempt de chlore) de 1 gramme d'échantillon moyen a été évaporé, repris par l'eau, et traité par H₂S en présence d'un peu de cuivre comme entraîneur. On trouve 0,001 %.

Le concentrat magnétique en indique 0,02 % contre 0,1 % dans l'échantillon moyen.

L'étain est présent dans le spectre qualitatif de la partie silicatée, absent dans la partie métallique, mais, à cet égard, il y a lieu de remarquer que la persistance des raies ultimes de l'étain dans une base fer est mauvaise. Une dose de 0,01 % d'étain dans le fer ne serait plus visible dans les conditions opératoires adoptées. Or, la teneur moyenne en étain, déterminée après concentration, est de l'ordre de 0,003 %. L'analyse d'un extrait à l'eau régale d'une fraction magnétique (méthode au sulfure de cuivre) donne un chiffre du même ordre de grandeur. Par contre, il a été possible d'établir nettement qu'aux dépens d'un échantillon moyen l'étain passe de préférence dans les extraits acides. L'analyse séparée de l'extrait chlorhydrique et du produit de désagrégation du résidu silicaté, donnée plus haut, est suggestive à cet égard. On peut dire que l'étain est associé soit au métal, soit aux autres composés solubles : troïlite ou silicates solubles.

Le calcium et le sodium sont nettement localisés dans la partie silicatée. Le potassium n'a pas été considéré, sa sensibilité spectrale étant mauvaise.

L'aluminium se trouve dans la météorite du Hainaut en dose très faible, sensiblement moindre que le chiffre donné par la première analyse chimique. Cet élément, comme d'ailleurs le titane et le vanadium, semble associé à la partie silicatée. Le titane ne se retrouve nettement qu'après désagrégation.

Le plomb, le zinc et l'arsenic ont déjà été signalés occasionnellement dans les météorites. Pour ce dernier élément, sur la présence réelle duquel Merrill avait élevé des doutes ⁽¹⁾, Papisch et Hanford ⁽²⁾ ont pu, par analyse spectrographique qualitative, démontrer son existence dans deux siderites de Toluca et de Welland.

Il a été dit plus haut que le platine, le palladium et l'or ont pu être décelés après concentration. Nous n'avons pas cherché à obtenir ici des résultats quantitatifs; une méthode de dosage des métaux nobles après coupellation est encore à l'étude dans ce laboratoire. On peut cependant conclure que les teneurs décelées dans l'échantillon moyen de la météorite du Hainaut et qui sont de l'ordre du gramme à la tonne sont en accord avec celles publiées précédemment par Goldschmidt. D'après cet auteur ⁽³⁾ il résulte de nombreuses analyses de météorites faites par M. Johnson-Host par la méthode microchimique ⁽⁴⁾, que la teneur en platine oscillerait entre 2 et 117 grammes à la tonne. Par contre, dans des météorites purement pierreuses (eucrites), il n'avait pas été possible d'en déceler, celles-ci renfermant en tous cas moins de 0,05 grammes à la tonne.

⁽¹⁾ *Memoirs Nat. Acad. Sci.*, **14**, Mémoire n° 1, p. 8, 1925.

⁽²⁾ *Loc. cit.*

⁽³⁾ *Naturwissensch.*, **18**, 999, 1930.

⁽⁴⁾ G. LUNDE, *Eine mikrodokimatische Methode zur Bestimmung geringer mengen Platin in Gesteinen und Mineralen.* (MIKROCHEMIE, **5**, 16, 1927; *ib.*, 102.)

I. et W. Noddack ⁽¹⁾, ainsi que Goldschmidt et Peters ⁽²⁾, ont confirmé le fait de la présence de traces infimes seulement de métaux nobles dans la partie silicatée des météorites ⁽³⁾. La partie sulfurée (troïlite) renfermerait également sensiblement moins de platine et autres métaux nobles que la partie métallique.

Dans un travail tout récent sur la météorite de Mangwendi ⁽⁴⁾, l'analyse par voie sèche a fait conclure à 0,0001 % seulement de platinoïdes.

Se basant sur les considérations qui précèdent, on peut représenter la répartition des principaux éléments entre la partie métallique et la partie silicatée par le tableau schématique suivant. On y a indiqué d'abord les éléments fondamentaux ou les éléments présents en dose plus importante, dépassant en tout cas 0,1 %, puis les constituants secondaires que l'on peut considérer comme appartenant réellement à la phase indiquée ⁽⁵⁾, enfin les éléments que l'analyse spectrale a mis en évidence de part et d'autre, en quantité plus ou moins forte, mais que l'on a des raisons plausibles d'attribuer à une séparation mécanique imparfaite (entraînement de gangue avec la grenaille ou occlusions de particules métalliques dans les grains de silicates).

Pour la troïlite, vu la quantité minimale isolée, il n'est pas possible de tirer la moindre conclusion quant aux constituants secondaires.

TABLE III.

	PARTIE MÉTALLIQUE.	TROÏLITE.	PARTIE SILICATÉE.
Constituants fondamentaux ou importants	Fe, Ni, Co	Fe	Si, Mg, Fe, Ca, Na, Cr
Constituants secondaires	Ge, Cu, (Mn), Sn		Mn, Ti, Cu, Al, V, Sn
Constituants dont la présence est relevée, mais est due vraisemblablement à l'entraînement ou l'occlusion	Si, Mg, Cr	Si, Mg, Ni	Ni

La table III appelle quelques commentaires.

Elle met d'abord en évidence l'association caractéristique bien connue Fe, Ni, Co, que l'on retrouve dans la plupart des météorites ⁽⁶⁾. Remarquons à

⁽¹⁾ *Loc. cit.*

⁽²⁾ GOLDSCHMIDT et PETERS, *Zur Geochemie der Edelmetalle*. (NACHRICHTEN GESELL. WISSENSCH. Göttingen, Math. Phys. Kl., 1932, p. 377.)

⁽³⁾ H. SCHNEIDERHÖHN et H. MORITZ. (*Festschrift der Platinschmelze*, G. Siebert, Hanau, 1931) l'ont confirmé également en ce qui concerne les minerais silicatés des gisements platinifères sud-africains qui sont pratiquement exempts de métal noble.

⁽⁴⁾ B. LIGHTFOOT, A. M. MACGREGOR et E. GOLDING, *The meteoric stone seen to fall in the Mangwendi native reserve. Southern Rhodesia, on March 7, 1934*. (THE MINERALOGICAL MAGAZINE, vol. XXIV, n° 148, March 1935, p. 10.)

⁽⁵⁾ La répartition des métaux nobles n'a pas été examinée expérimentalement; ils ne figurent pas dans la table III.

⁽⁶⁾ Voir sur un fer météorique exempt de nickel : A. LACROIX, *La météorite (diogenite) de Tataouine*. (BULL. SOC. FRANÇ. MINÉRALOGIE, 55, 101, 1932.)

ce propos que Goldschmidt et Peters ⁽¹⁾ ont montré récemment que, dans les météorites, le nickel est vraiment essentiellement associé à la partie métallique ⁽²⁾. La troïlite n'en renfermerait que de très faibles quantités, ne dépassant en tous cas pas 0,1 %. Il semble en être de même pour le cobalt.

Comme constituant secondaire, appartenant très nettement à la phase métallique, il y a lieu de citer, en outre, le *germanium*.

La présence de germanium dans les météorites a été annoncée presque simultanément par J. Papisch et Hanford ⁽³⁾ et V. M. Goldschmidt ⁽⁴⁾.

I. et W. Noddack ⁽⁵⁾, au cours d'analyses très nombreuses en vue d'établir la géochimie du rhenium, ont, les premiers, étudié la répartition du germanium dans les parties silicatée, sulfurée et métallique des météorites. Leurs résultats indiquent une présence maximale dans la troïlite, nettement minimale dans le silicate.

F. Heide et ses collaborateurs ⁽⁶⁾, par contre, dans la météorite de Perros del Buen Huerto (Chili), trouvent le germanium essentiellement concentré dans le fer-nickel et en faible dose seulement dans la troïlite, mettant donc en évidence le caractère nettement sidérophile de cet élément.

Goldschmidt et Peters ⁽⁷⁾ arrivent à la même conclusion et trouvent, par exemple, dans le fer-nickel de la chondrite d'Aztec (Holbrook, U. S. A.) 0,05 % Ge contre 0,001 % dans la troïlite de la même météorite. Une nouvelle série d'analyses par les mêmes auteurs ⁽⁸⁾ donne des teneurs en germanium comprises entre 0,01 et 0,05 % pour la partie métallique, sauf dans l'octaédrite de Canon Diablo où cette teneur est estimée à 0,1 %.

La teneur trouvée dans la météorite du Hainaut (0,02 %) est bien en accord avec les résultats précédents, ainsi que l'absence de germanium dans la fraction de troïlite, vu qu'une teneur de 0,0005 à 0,001 ne serait plus visible dans les conditions où on a pu l'étudier. L'élément doit être absent, à fortiori, dans le

⁽¹⁾ GOLDSCHMIDT et PETERS, *Zur Kenntniss der Troilit-Knollen der Meteoriten, ein Beitrag zur Geochemie von Chrom, Nickel und Zinn.* (NACHR. GESELL. D. WISSENSCH. GÖTTINGEN, Phys. Math. Kl., p. 278, 1933.)

⁽²⁾ DAUBRÉE, le premier (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **61**, 1866, p. 671) a signalé l'absence constante de nickel dans les silicates des météorites, ce qu'il expliquait par le fait que le fer est plus facilement oxydable que le nickel.

⁽³⁾ P. PAPISCH & HANFORD, *Occurrence of Germanium and Arsenic in Meteorites*, *Science*, **61**, 269, 1930.

⁽⁴⁾ GOLDSCHMIDT, *Ueber das Vorkommen des Germaniums in Meteoriten von Cranbourne.* (ZEITSCHR. FÜR PHYS. CHEM. A., **146**, 404, 1930.)

⁽⁵⁾ I. W. NODDACK, *Die Häufigkeit der chemischen Elemente*, *Naturw.*, **18**, 757, 1930. Voir aussi : *Die Geochemie des Rheniums.* (ZEITSCHR. FÜR PHYS. CHEM., **154**, 207, 1931.)

⁽⁶⁾ F. HEIDE, E. HEISCHKOVITS & E. PREUSS. *Chemie der Erde*, **7**, 483, 1932.

⁽⁷⁾ GOLDSCHMIDT et PETERS, *Zur Geochemie des Germaniums.* (NACHR. GESELL. D. WISSENSCH. GÖTTINGEN, Math. Phys. Kl., 1933, p. 141.)

⁽⁸⁾ *Zur Kenntnis der Troilit-Knollen der Meteoriten.* (IBID., p. 283 [1933].)

concentrat silicaté et c'est bien ce que nous avons trouvé pour la fraction 5 de la table I.

Remarquons, d'ailleurs, que le chiffre trouvé pour l'échantillon moyen est tel qu'il faut conclure à l'absence de germanium dans la partie silicatée. Sachant, en effet, que la météorite renferme environ 15 % de fer libre (voyez plus loin), on peut prévoir, d'après la teneur en Ge de celui-ci, 0,003 % dans l'échantillon moyen. De fait, l'analyse a donné un peu moins, 0,002 % environ, à cause peut-être de l'occlusion de particules de Fe-Ni-Co-Ge dans la pâte silicatée. (L'attaque en vue du dosage de Ge a été faite seulement par H Cl.)

D'après Goldschmidt et Peters ⁽¹⁾ l'étain, tout comme le germanium, serait concentré dans la fraction métallique des météorites, la différence étant cependant beaucoup moins marquée que pour le germanium. Ces auteurs donnent, par exemple, 0,001 à 0,002 % Sn dans diverses troïlites contre 0,005 à 0,01 % pour les fractions métalliques correspondantes.

Dans notre cas, c'est surtout la répartition entre la phase silicatée et la phase métallique qui peut être considérée. Nous n'avons pas trouvé d'écart net entre le pourcentage d'étain dans la masse et le pourcentage d'étain du métal. Par contre, l'étain semble manifestement présent sous une forme assez facilement soluble, ce qui tend à faire croire qu'il se trouve surtout dans la phase métal et sulfure. D'autre part, le concentrat silicaté non magnétique a accusé plus nettement la présence d'étain que les autres fractions. Il nous est donc difficile, d'après les constatations qui ont pu être faites à propos de la météorite du Hainaut, de confirmer ou d'infirmer, quant à l'étain, l'opinion de Goldschmidt et Peters, qui classent ce métal parmi les éléments sidérophiles, après l'avoir primitivement (1930) considéré comme lithophile. A. Cissarz et M. Moritz ⁽²⁾, étudiant la répartition des éléments au cours d'opérations métallurgiques, étaient arrivés à la même conclusion.

Concernant la répartition du cuivre le seul fait que nous puissions avancer est sa teneur plus faible dans le concentrat silicaté. Il est, certes, présent dans la phase métallique en dose non négligeable.

Quant au manganèse on peut conclure que cet élément prédomine dans la fraction silicatée. Le caractère sidérophile du manganèse est donc faible. Goldschmidt, d'ailleurs, le rangeait parmi les éléments lithophiles; les expériences de Cissarz et Moritz tendent à le considérer plutôt comme chalcophile, se concentrant surtout dans la phase sulfurée.

Il a été démontré que le chrome est manifestement concentré dans la partie

⁽¹⁾ GOLDSCHMIDT et PETERS, *Zur Kenntnis der Troilit Knollen der Meteoriten*. (NACHR. GESELL. D. WISSENSCH. Göttingen, Math. Phys. Kl., 1933, p. 141.)

⁽²⁾ A. CISSARZ et H. MORITZ, *Untersuchungen über Metallverteilung in Mansfelder Hochofenprodukten und ihre geochemische Bedeutung*. (METALLWIRTSCHAFT, 12, 131, 1933.)

silicatée. Goldschmidt et Peters ⁽¹⁾ ont déjà mis en évidence que cet élément n'est nullement sidérophile. Dans les météorites à nodules de troïlite ils ont trouvé en moyenne septante fois plus de chrome dans la troïlite que dans la fraction métallique, en excluant, d'une part, un échantillon de Coahuila (Mexique) qui renfermait des doses considérables de Daubréelite et dont les nodules de sulfure titraient 10,3 % de chrome, d'autre part la chondrite d'Aztec (Holbrook) dont la troïlite n'accusait que 0,1 % de chrome. Dans cette dernière météorite la plus grande partie, si pas la totalité du chrome, se trouvait d'après ces auteurs sous forme de chromite. Ce semble être également le cas de la météorite du Hainaut puisque, d'une part, la fraction sulfurée (troïlite) n'accuse guère de chrome et que, d'autre part, cet élément est présent sous une forme très peu soluble.

Le *vanadium* n'avait pas été recherché dans l'analyse chimique faite précédemment. Cet élément a déjà été décrit comme constituant des météorites. Dans la météorite de Prambachkirchen, par exemple, E. Dittler et J. Schadler ⁽²⁾ ont pu en déceler chimiquement des traces.

NOUVELLES DÉTERMINATIONS CHIMIQUES

L'examen spectrographique étant en désaccord, sur certains points, avec les résultats de l'analyse chimique faite précédemment pour l'un de nous et dont les chiffres ont été utilisés dans le premier mémoire relatif à cette météorite, nous avons été amenés à refaire quelques-unes de ces déterminations. Il n'a pas été procédé à une analyse nouvelle complète; les points les plus importants, seuls, ont été repris.

On sait combien il est important de pouvoir déterminer dans les météorites le métal libre. Le problème a fait l'objet d'innombrables études ⁽³⁾. On a proposé notamment de mesurer le dégagement d'hydrogène, mais on a objecté qu'il se produit des phénomènes de passivité. En outre, le poids équivalent H_2/Fe est peu favorable. On a utilisé des solutions de chlorure cuivrique ⁽⁴⁾ ou de chlorure mercurique ⁽⁵⁾. Ces dernières méthodes sont généralement renseignées pour le dosage du fer libre en présence de fer ferreux ⁽⁶⁾. W. Ackermann,

⁽¹⁾ *Op. cit.*, 1933, p. 278.

⁽²⁾ E. DITTLER et J. SCHADLER, *Der Meteorstein von Prambachkirchen*. (SITZUNGSBERICHTE AKAD. WISSENSCH. WIEN, I, 142, 213, 1933.)

⁽³⁾ On trouve une nomenclature des travaux anciens sur la question chez E. COHEN, *Meteoritenkunde*.

⁽⁴⁾ WÖHLER, 1862.

⁽⁵⁾ BOUSSINGAULT, 1866.

⁽⁶⁾ Voir, par exemple, LUNDELL, HOFFMAN & BRIGHT, *Chemical Analysis of Iron and Steel*, 1931, p. 151.

cependant, dans un travail récent ⁽¹⁾ vient de montrer qu'un grand nombre de dérivés ferreux sont plus ou moins rapidement attaqués dans les conditions d'emploi de ces réactifs. Le sulfure de fer, par exemple, est sensiblement attaqué, ainsi d'ailleurs que le silicate de fer. L'attaque étant incomplète, les chiffres obtenus par détermination du fer passé dans la solution n'ont aucune signification,

La façon la plus certaine pour résoudre le problème est de recourir à une séparation magnétique de façon à obtenir un concentrat métallique où l'on pourra doser, par exemple, le fer total, le nickel, le soufre, la silice. Décomptant du fer total la fraction correspondant au soufre, pour former la troïlite, et à la silice, pour former les silicates, on trouve le fer libre. Sachant que le nickel est essentiellement associé au fer libre, le rapport Fe/Ni des grenailles métalliques peut être ainsi déterminé.

En ce qui concerne la déduction d'une dose de fer correspondant au soufre trouvé, il n'y a pas de difficulté. Quant à la quantité de fer qu'il y a lieu d'attribuer à la silice que l'on trouve dans le concentrat magnétique sous forme de silicates entraînés, on l'a, dans plusieurs analyses récentes ⁽²⁾, déterminé de la façon suivante : On dose, d'une part, dans la fraction métallique la silice et la magnésie solubles. D'autre part, une partie de la fraction non magnétique est soumise à une extraction par HCl(D 1,06) au bain d'eau, pendant une heure, suivie d'un traitement au carbonate de soude à 5 ou 10 %. Dans l'extrait ainsi obtenu on dose la silice, la magnésie, le fer, on soustrait du fer total la partie revenant au sulfure, connue par le dosage du soufre dans l'extrait non magnétique comme tel et on affecte la différence à la silice et la magnésie sous forme de silicate ferro-magnésien soluble. On néglige ainsi le fer libre dont la fraction non magnétique n'est pas absolument dépourvue, ainsi que le prouve la présence de nickel ⁽³⁾. L'analyse type de Merrill, par exemple, comme aussi celle de Dittler et Schadler, mentionnent une teneur de nickel voisine de 0,3 %, ce qui revient à une dose de fer libre de l'ordre de 2,5 à 3 % qu'il faudrait encore décompter. Les derniers auteurs attirent d'ailleurs l'attention sur ce point. La connaissance précise de ce chiffre n'est pas possible puisque le rapport Fe/Ni dépend lui-même de la correction qu'il y a lieu de calculer. En

⁽¹⁾ W. ACKERMANN, *Ueber die Bestimmung des metallischen Eisens in Erzen*. (CHEMIKER ZEITUNG, **55**, 30, 1931.)

⁽²⁾ Voir notamment :

G. P. MERRILL, *Composition and Structure of Meteorites*. (UNITED STATES NAT. MUSEUM. *Bulletin*, 149, 1930. Methods of analyses of stony meteorites, p. 57.)

E. DITTLER et J. SCHADLER, *Der Meteorstein von Prambachkirchen*. (LOC. CIT.)

⁽³⁾ Il a été montré plus haut que le nickel est essentiellement concentré dans la phase métallique. Voir encore à ce sujet : W. WAHL. *Beitrage zur Chemie der Meteoriten*. (ZEITSCHR. F. ANORG. U. ALLGEM. CHEM., **69**, 52, 1910.)

outre, la « solubilisation » n'est pas la même dans les deux cas, la fraction magnétique étant attaquée à l'eau régale, la fraction non magnétique, en vue du dosage des silicates dits solubles, est traitée par de l'acide chlorhydrique dilué puis au carbonate de soude. Il subsiste donc une certaine incertitude dans l'attribution du fer correspondant aux silicates entraînés dans le concentrat magnétique.

Il nous a semblé tout aussi certain et plus pratique, vu d'ailleurs la faible dose de silicate en jeu, d'admettre, pour le rapport FeO/SiO_2 , une valeur moyenne qu'on peut d'ailleurs établir facilement par tâtonnement.

Lorsqu'on a ainsi déterminé, avec une approximation suffisante, le rapport fer libre/nickel dans la partie magnétique, le dosage du nickel dans la partie non magnétique permet une évaluation du fer libre dans celle-ci. Connaissant les poids respectifs des deux fractions, on peut facilement établir le chiffre de fer libre dans la masse.

Si l'on connaît à présent le soufre total, il est facile de calculer le fer combiné à la silice dans l'échantillon moyen. On l'exprime généralement sous forme de FeO . En effet, comme le montre encore nettement la récente analyse de la météorite de Prambachkirchen, il n'y a probablement pas de fer ferrique dans la masse même des météorites. Le fer ferrique semble n'y apparaître que dans la croûte ou par oxydation terrestre ⁽¹⁾. Le chiffre 1,40 % de Fe_2O_3 , cité dans la première analyse de la météorite, est sans doute excessif. Il y a lieu de remarquer que la méthode analytique qui avait conduit à ce chiffre, méthode par différence généralement employée pour l'analyse des roches, est particulièrement délicate dans le cas des météorites, comme le font encore valoir Dittler et Schadler dans le travail déjà cité ⁽²⁾. Nous avons, dans ce qui suit, préféré écarter soigneusement la croûte de la météorite et admettre l'absence de fer ferrique ⁽³⁾.

On peut alors résoudre les points essentiels du problème analytique de la météorite en dosant le fer total, le nickel, la silice et le soufre, d'une part, dans la partie magnétique, d'autre part, dans la fraction non magnétique ou dans un échantillon moyen.

La magnésie, le chrome et, en cas d'analyse complète, les constituants secondaires, sauf le cobalt, sont également dosés dans l'échantillon moyen.

⁽¹⁾ On a signalé maintes fois l'oxydation rapide de la Lawrenceite.

⁽²⁾ Ces auteurs signalent qu'il est impossible de désagréger complètement les météorites par attaque à l'acide fluorhydrique et sulfurique dans les conditions habituelles d'opération.

⁽³⁾ Voir également à ce sujet DITTLER et SCHADLER. (LOC. CIT., p. 219, note); voir aussi DITTLER, *Bemerkungen zur Ferroeisenbestimmung*. (ZEITSCH. ANORG. ALLGEM. CHEM., **158**, 264, 1926.)

Concentration magnétique.

4,9252 grammes d'un échantillon moyen suffisamment représentatif de l'ensemble de la météorite, croûte exceptée, ont été soumis à la séparation magnétique. On a obtenu :

Fraction métallique	0,7922 grammes, soit 16,08 %
Fraction silicatée	4,1330 grammes, soit 83,92 %
Total	4,9252 100,00

Dosages sur la fraction métallique.

Fe total	78,6 %
Ni	8,20 %
Si O ₂	5,20 %
S	0,81 %
Non dosé	7,19 %

Le *non dosé* comprend, outre le cobalt ⁽¹⁾, et les autres constituants secondaires présents en faible quantité, Ge, Cu et Mn : le magnésium, le calcium, le chrome et autres constituants de la gangue silicatée qui n'est pas négligeable.

La *silice* a été dosée par insolubilisation dans HCl suivie de volatilisation par HF.

Le *fer* comprend, à la fois, celui qui est passé en solution dans HCl et celui qui a été retrouvé après élimination de la silice.

Le *nickel* a été dosé par la méthode à la diméthylglyoxime.

Le *soufre* a été déterminé par évolution de H₂S dans un courant de CO₂ et oxydation dans l'eau oxygénée ammoniacale ⁽²⁾.

Admettant comme rapport moléculaire approximatif FeO/SiO₂ la valeur 1/5 on trouve comme pourcentage de fer équivalent aux 5,2 % de silice : 1,24 %. Au pourcentage de soufre (0,81 %) correspond encore 1,39 % de fer. Soustrayant du fer total le fer combiné au soufre et celui combiné à la silice (estimation), il reste comme valeur approchée du fer libre 75,95 %. Ceci nous donne comme rapport atomique Fe/Ni le chiffre 9,75.

Dosages sur la fraction silicatée.

Ni	0,35 %
S	2,70 %

⁽¹⁾ 0,7 % par rapport au fer, spectrographiquement.

⁽²⁾ Voir DITTLER, *Bemerkungen zur Ferroeisenbestimmung*. (LOC. CIT.)

Dosages sur l'échantillon moyen.

Fe	26,80 %
S	2,56 %
Si O ₂	37,80 %
Mg O	22,75 %

Le pourcentage de nickel dans l'échantillon non magnétique (0,35 %) permet, connaissant le rapport Fe/Ni établi ci-dessus, de calculer la quantité de fer libre dans cette fraction soit 3,25 %.

Tenant compte de l'importance relative des fractions magnétique et non magnétique on déduit des chiffres précédents comme pourcentage de fer libre dans l'échantillon 14,94 %.

Le soufre a été dosé dans la partie silicatée par la méthode d'évolution de H₂S décrite par Dittler ⁽¹⁾. Cet auteur recommande le procédé pour l'analyse des météorites. Il risque cependant de donner des chiffres trop faibles comme le montre la valeur obtenue en appliquant la méthode de désagrégation à une prise d'essai de l'échantillon moyen. Le chiffre trouvé par désagrégation est 2,56 % contre 2,39 % calculé aux dépens des valeurs 0,81 % et 2,7 % pour les parties magnétique et non magnétique par la méthode de Dittler ⁽²⁾.

Le pourcentage de soufre trouvé au cours de la nouvelle analyse, ici rapportée, est sensiblement inférieur à celui qui avait été signalé primitivement dans le mémoire original de l'un de nous et qui avait fait conclure à une association particulière du soufre au fer.

Faisant usage du chiffre 2,56 % S on calcule une teneur de troilite égale à 7,02 %. La dose de fer correspondante est 4,46 %. Si l'on soustrait à présent du fer total le fer combiné au soufre et celui associé au nickel sous forme de métal libre il reste 7,40 % de fer soit, exprimé en FeO, 9,52 %. Si l'on décompte de ce chiffre 0,26 % nécessaire pour former la chromite et l'ilménite il reste encore 9,26 % de FeO disponible pour la silice ⁽³⁾.

Le pourcentage de nickel, en combinant les chiffres pour fractions magnétique et non magnétique, est de 1,61 % soit sensiblement plus que la valeur trouvée précédemment.

Quant au chrome l'analyse chimique a donné 0,35 % Cr, ce qui est en bon accord avec le résultat du dosage spectrographique. Le dosage chimique a été fait par colorimétrie de l'ion chromate après fusion oxydante ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Voir DITTLER, *Bemerkungen zur Ferroeisenbestimmung*. (LOC. CIT.)

⁽²⁾ K. S. HOWARD et J. M. DAVISON, à propos de l'analyse de l'aérolithe d'Estacado (THE AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE, 4^e série, 22, 55, 1906), montrent qu'une partie importante du soufre peut échapper à l'action des acides par suite de l'imprégnation des silicates.

⁽³⁾ On en déduit pour le rapport FeO/SiO₂ la valeur 1/4,9.

⁽⁴⁾ E. DITTLER, *Gesteinanalytisches Praktikum*, 1933.

Les résultats analytiques qui précèdent permettent de préciser la position systématique de la météorite du Hainaut dans la classification de Prior ⁽¹⁾, chose qui n'avait pu être faite dans le premier travail par l'un de nous, en raison de certains résultats douteux de l'analyse (teneur en FeO en particulier).

On sait que la classification proposée par le savant anglais se fonde sur le fait, établi par lui, de la relation qui existe entre la nature des silicates fondamentaux de la roche et les rapports $\frac{\text{Fe}}{\text{Ni}}$ et $\frac{\text{Mg O}}{\text{Fe O}}$, les silicates étant d'autant plus riches en fer que le métal libre est moins abondant et la teneur de celui-ci en nickel étant d'autant plus forte qu'il est lui-même en proportion plus faible.

Les données chimiques nouvelles qui viennent d'être exposées montrent que l'aérolithe du Hainaut se caractérise par les valeurs suivantes :

Métal libre [Fe-Ni-Co ⁽²⁾]	16,62 %
Rapport atomique $\frac{\text{Fe}}{\text{Ni}}$	9,75 %
Rapport moléculaire $\frac{\text{Mg O}}{\text{Fe O}}$	4,4 % ⁽³⁾

Ces caractères situent la météorite du Hainaut dans la catégorie (2) des *chondrites à olivine et bronzite* de Prior, au voisinage assez proche de la catégorie suivante (3) des *chondrites à olivine et hypersthène*.

OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR LA STRUCTURE ET SUR LA COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

A. — *Noyaux vitrifiés*. — On a vu plus haut que l'analyse spectrographique n'avait pas révélé de différence marquante au point de vue des éléments essentiels, entre les noyaux noirs, apparemment compacts et homogènes, précédemment regardés par l'un de nous comme des concentrations de pigment métallique, et les autres parties structurales de la roche. Un examen microscopique, effectué sur une section polie et sur une lame mince, a montré que ces noyaux (voir pl. I, fig. 3-4) ne sont autre chose que des parties de la roche où la vitrification a été poussée à un degré extrêmement avancé.

La *section polie* ne révèle rien quant à la constitution intime du noyau.

⁽¹⁾ PRIOR, *On the genetic relationship and classification of meteorites*. (MINERALOGICAL MAGAZINE, 1916, vol. XVIII, pp. 26-44.)

IDEM, *The classification of meteorites*. (IBID., 1920, vol. XIX, n° 90, pp. 51-63.)

⁽²⁾ Le chiffre de *Co* est repris de l'analyse de M. Ronchesne, voir LECOMPTE, *op. cit.*, p. 28.

⁽³⁾ Le rapport $\frac{\text{Mg O}}{\text{Fe O}}$ est établi sur les chiffres bruts des deux oxydes; l'analyse séparée des silicates solubles et des silicates insolubles n'a pas été effectuée.

Elle met cependant en évidence une distribution tout à fait particulière du fer-nickel et de la troïlite. On sait que, dans l'ensemble de la roche, le métal est réparti, assez régulièrement, sous forme de grenaille (voir pl. II, fig. 1), accompagnée par endroits, d'une poussière qui n'est jamais très dense ni très ténue. Ici la grenaille est moins abondante et plus petite. Par contre le fond apparaît piqué d'une poussière métallique extraordinairement dense et fine (voir pl. II, fig. 2). Le contraste, à cet égard, avec les autres parties de la roche est très frappant.

Sur des plages importantes, la poussière métallique fait place à d'innombrables jaspures ou marbrures, plus ou moins épaisses d'un endroit à l'autre (voir pl. II, fig. 4), ou même à un réseau capillaire extraordinairement touffu. On voit, de-ci de-là, celui-ci s'arrêter net sur les bords de formes géométriques reconnaissables. Parfois il est orienté sur une certaine distance et les petites grenailles qui le jalonnent sont allongées dans le même sens. On observe d'ailleurs la même chose dans les amas poussiéreux, où l'on reconnaît, très localement toutefois, des traînées plus denses. Le réseau paraît, par endroits, s'attacher à une grenaille comme si celle-ci avait fondu. Les figures 5 et 6 de la planche II illustrent un cas de ce genre. Les veinules capillaires qui constituent ce réseau sont très complexes ainsi que les clichés permettent de s'en rendre compte. En de nombreux endroits on les voit s'infiltrer dans les fissures, plus ou moins ouvertes, des minéraux, silicates et même chromite (voir pl. II, fig. 6), et elles sont alors, naturellement, d'allure beaucoup plus simple.

Quant à la troïlite, au premier aspect, elle semble beaucoup moins abondante que dans les autres parties de la roche. Mais, tout comme le métal, elle est ici très finement divisée (voir pl. II, fig. 3), ce qui complique son identification au microscope. Si l'on peut accorder quelque crédit à l'action du sulfate de cuivre et du chlorure mercurique, du moins quant au mode et à la vitesse d'attaque, pour distinguer le troïlite du fer-nickel, nous avons reconnu l'existence du sulfure sous la forme poussiéreuse et en jaspures, soit dans des plages indépendantes, soit en compagnie du métal. Sur la foi de ce critère il paraît, cependant, de loin, moins abondant que le fer-nickel.

En *section mince* (voir pl. I, fig. 5), sur un fond opaque, noir, ou à peine translucide, gris à gris-brun, se détachent une poussière et des fragments, le plus souvent anguleux, de minéraux parmi lesquels ceux à teintes d'interférences basses prédominent très largement. Quelques éléments un peu plus grands laissent reconnaître le pyroxène rhombique et l'olivine.

Examiné à fort grossissement, le fond se montre constitué d'un réseau très serré de veinules, de marbrures et de ponctuations noires de fusion ou d'une masse complexe, vitreuse, emprisonnant des plages à limites mal définies, plus ou moins fortement affectées par le phénomène.

Les fragments minéraux restés transparents sont loin d'être intacts. Ils sont, à des degrés divers, affectés par une vitrification qui, comme dans la masse de la météorite, progresse suivant les cassures et les clivages où qui en

chagrine complètement la surface. Ces éléments sont très cassotés dans l'ensemble et présentent une très forte extinction onduleuse.

Enfin on reconnaît encore, dans la masse, des plages ou des formes cristallines brunes, à bords le plus souvent corrodés, qui ont perdu leur transparence mais sont restées translucides. Parfois elles enclavent encore de petites particules restées intactes.

Comme en section polie, outre les grenailles de fer-nickel du type ordinaire, on observe une poussière métallique extrêmement ténue, piquetant la masse vitrifiée. Elle ne couvre pas les minéraux restés intacts ou elle y est très clairsemée et se loge dans les cassures vitrifiées de ceux-ci. Par contre, elle mouchette complètement les minéraux qui ont perdu leur transparence et elle y est d'autant plus abondante que la vitrification de l'élément est plus avancée (voir pl. I, fig. 6 et 7).

Confirmant l'observation faite sur la surface polie, la troïlite se voit beaucoup moins répandue que dans les autres parties de la roche, mais nous avons fait remarquer que son état de division empêche vraisemblablement de la reconnaître. Un contrôle chimique qui sera effectué dans la suite permettra de se rendre compte s'il y a diminution réelle de la teneur en troïlite dans ces noyaux.

Nous avons fait remarquer précédemment la forme polyédrique curieuse de ces noyaux vitrifiés. En lame mince (voir pl. II, fig. 3), la limite avec les parties voisines de la roche n'apparaît pas aussi nettement tranchée qu'à l'examen macroscopique. Bien que l'allure d'ensemble de cette limite soit plus ou moins rectiligne, les deux régions voisines se marient de telle façon qu'il ne serait pas possible de déterminer exactement la ligne de partage.

Dans la description qui précède nous nous sommes abstenus, pour ne pas trop nous éloigner de l'objet du présent travail, d'entrer dans des considérations sur la genèse des structures observées. Cette question sera reprise, dans la suite, par l'un de nous.

B. — *Phase métallique Fe-Ni-Co-Ge.* — L'analyse chimique du concentrat magnétique donnée plus haut, combinée avec son étude spectrographique, permet de se faire une idée nette de la composition de la phase métallique dans la météorite du Hainaut.

Calculée à 100 %, l'analyse indique pour les constituants essentiels les teneurs suivantes :

Fe	89,48
Ni	9,67
Co	0,83
Ge	0,02

L'étain, le carbone, le phosphore et les métaux nobles sont négligés dans cette répartition.

En ce qui concerne le soufre, l'un de nous avait cru devoir conclure précédemment à une association particulière de cet élément avec le fer-nickel. Cela tenait, d'une part, au chiffre exagéré de soufre qu'avait donné la première analyse (4,28 %) et qui ne répondait pas à la quantité de troïlite discernable au microscope, et, d'autre part, au dégagement de H_2S auquel donne lieu l'attaque par les acides des grenailles métalliques apparemment homogènes.

Les nouveaux dosages (voir p. 25) ont donné comme pourcentage moyen de soufre 2,56 %. L'analyse de la fraction métallique seule fournit 0,81 %, soit 0,13 % par rapport à l'ensemble, la fraction magnétique représentant 16,08 % de la masse. Il en résulte que 5,1 % du soufre total sont, en l'occurrence, retrouvés dans le concentrat magnétique. L'entraînement magnétique du sulfure est exclu, la troïlite étant non magnétique ⁽¹⁾. Quant à la solubilité du soufre dans l'alliage fer-nickel, elle doit être très faible si l'on s'en réfère aux chiffres donnés pour la solubilité du soufre dans le fer ⁽²⁾. Le soufre doit donc se trouver essentiellement sous forme de troïlite, en partie entraînée par la fraction de gangue silicatée qui accompagne le métal, pour une plus grande part plus ou moins associée mécaniquement à la grenaille comme telle ⁽³⁾.

L'association mécanique de la troïlite et du fer-nickel se retrouve au microscope. Le sulfure est simplement accolé au métal et forme, avec celui-ci, des grenailles composites. Par endroits, une meilleure politure fait apparaître des associations plus complexes ⁽⁴⁾ qui avaient échappé au premier examen par l'un de nous (voir par exemple la grenaille figurée pl. II, fig. 6). Ceci explique le dégagement d'hydrogène sulfuré sous l'action des acides par des grenailles métalliques apparemment homogènes. Le plus généralement, cependant, la troïlite est indépendante.

C. — *La troïlite*. — On peut, aux dépens des chiffres de la nouvelle analyse qui a été faite, calculer un pourcentage de sulfure de fer égal à 7,02 %. Le chiffre est sensiblement plus réduit que celui auquel la première analyse forçait de conclure. Il reste cependant qu'à l'examen microscopique on ne s'attendrait jamais à une telle dose de sulfure. La séparation par liquides lourds et sous le binoculaire est loin, également, de fournir le minéral en proportion comparable à la teneur trouvée par l'analyse. On a vu, d'autre part, que la quantité associée au fer-nickel est minime. On est conduit de la sorte à admettre que le sulfure doit se trouver, pour une bonne partie, sous une forme extrêmement divisée qui échappe à l'examen.

⁽¹⁾ EAKLE, *Massive troïlite from del Norte County, California*. (THE AMERICAN MINERALOGIST, 7, 77, 1922.)

⁽²⁾ GMELIN, *Handbuch der anorganische Chemie*, 8^e Aufl., Fe, teil A (1934), p. 1169.

⁽³⁾ Le fait est connu. Voir entre autres MERRILL, *Composition and structure of meteorites*, p. 15.

⁽⁴⁾ L'un de nous reviendra par la suite sur cette question.

Le problème de la répartition inégale du sulfure dans les diverses régions qui apparaissent macroscopiquement dans la roche aurait été intéressant à examiner. Nous n'avons pu le faire au cours de cette étude.

Faute de données chimiques précises, une certaine indétermination avait été laissée sur la nature du sulfure dans le premier travail sur la météorite du Hainaut. La difficulté d'isoler, d'une manière suffisamment satisfaisante, une quantité appréciable du minéral ne nous a pas permis d'en entreprendre l'analyse chimique. Nous avons pu, néanmoins, à la lumière de travaux récents ⁽¹⁾ sur la question, en vérifier les caractères essentiels. Ceux-ci nous amènent à considérer le sulfure de fer de la météorite du Hainaut comme de la troïlite c'est-à-dire le monosulfure.

On sait qu'on a seulement assez récemment découvert de la troïlite terrestre. L'ayant obtenue ainsi en dose assez forte, on a mieux pu en préciser les propriétés. Elle est non magnétique et facilement soluble dans l'acide sulfurique. La pyrrhotine, par contre, est magnétique et insoluble dans l'acide sulfurique. Comme on sait, la pyrrhotine renferme un excès de soufre par rapport à la formule FeS. On tend à considérer actuellement ce soufre comme présent en solution solide dans le sulfure ⁽²⁾.

La faible fraction de sulfure que nous avons pu isoler, comme il a été expliqué plus haut, et dont l'examen spectrographique a été fait, était dépourvue de magnétisme et facilement attaquable à l'acide sulfurique dilué et froid, à condition, cependant, d'écraser un peu les grains sous une pointe de métal afin d'écarter la gangue qui vraisemblablement les recouvrait. Des essais comparés sur un fragment de pyrrhotine de Lessines ont, par contre, montré un magnétisme intense et une inertie complète vis-à-vis de H₂SO₄, même en brisant les grains au contact de l'acide.

En section polie la troïlite de la météorite du Hainaut a une couleur jaune bronzé. Elle se polit moins bien que la grenaille métallique. Dans les sections imparfaitement polies, on la distingue de ce fait aisément du fer-nickel (voir pl. II, fig. 1). Il n'en est plus de même dans les sections parfaitement polies où la différence de teinte est parfois difficile à juger. On peut néanmoins la reconnaître encore aisément par la présence de fissures noirâtres, irrégulières, absentes dans la grenaille métallique.

D. — *La chromite*. — Nous avons signalé, dans la première partie de ce travail, que la recherche spectrale, contrairement à l'analyse chimique effectuée par M. Ronchesne ⁽³⁾, avait révélé la présence d'une quantité intéressante de chrome. Un dosage chimique nouveau a donné une teneur de 0,35 %.

Les diverses concentrations effectuées pour l'étude spectrographique et l'analyse chimique elle-même ont montré que le chrome se trouve dans la

⁽¹⁾ Voir, notamment, EAKLE, *op. cit.*

⁽²⁾ GMELIN, *Handbuch der Anorganische Chemie*. Eisen, B, p. 363.

⁽³⁾ Voir M. LECOMPTE, *op. cit.*

météorite sous une forme insoluble, ce qui exclut l'hypothèse d'une association de l'élément au sulfure de fer sous forme de sulfure double, la daubréelite ($\text{FeS-Cr}_2\text{S}_3$), et indique, par contre, la présence de chromite.

La teneur de 0,35 % de Cr, exprimée en chromite ($\text{FeO-Cr}_2\text{O}_3$), représente 0,75 % de l'ensemble.

Lors du premier travail sur la météorite du Hainaut, le minéral avait échappé à l'examen, bien qu'il eut été spécifié que son absence était anormale. Il faut en rechercher la cause dans la résistance que présente le minéral à la politure, inconvénient qui s'aggravait encore du fait que les sections entières de la météorite, en raison de la grenaille qui la mouchette, ne s'étaient laissées polir que trop imparfaitement.

Nous avons essayé d'améliorer la politure. Après de nombreuses difficultés, nous sommes parvenus à un résultat satisfaisant. La chromite apparaît, cette fois, très nettement, sous forme de grains ou de plages à contours plus ou moins géométriques, fissurés ou non, parfois en minuscules grenailles déchiquetées, rarement en plages poussiéreuses. Elle montre, en lumière réfléchie, une teinte gris-bleu qui tranche assez nettement sur le gris plus sombre des silicates. Elle est isolée dans la pâte silicatée ou accolée aux grenailles métalliques, logée dans les angles rentrants de celle-ci, rarement enclavée dans le fer-nickel ⁽¹⁾. La figure 6 de la planche II en montre un grain accolé à une grenaille de fer-nickel et dont les fissures nombreuses sont comblées par le métal.

En revoyant les lames minces, nous y avons identifié un minéral brun noirâtre, très dur, dispersé dans la masse en grains minuscules peu nombreux. Attaqué sur une lame découverte ce minéral s'est montré inerte vis-à-vis des acides. Nous croyons donc pouvoir le tenir pour la chromite.

⁽¹⁾ B. LIGHTFOOT, A. M. MACGREGOR & E. GOLDING, *The meteoric stone seen so fall in the Mangwendi native reserve, Southern Rhodesia*, on March 7, 1934 (THE MINERALOGICAL MAGAZINE, vol. XXIV, n° 148, March 1935, p. 7) font une observation semblable. Ces auteurs signalent en outre une association de la chromite avec l'ilménite et d'autres substances opaques.



EXPLICATION DE LA PLANCHE I

FIG. 1. — Elle représente une région des spectres qualitatifs correspondant à la fraction silicatée (n° 5, table I) et au concentrat magnétique (n° 7, table I).

Les raies communes aux deux spectres, à l'exception de quelques raies du chrome, sont dues au fer. Le spectre inférieur (7) est sensiblement plus riche en fer : un bon nombre des raies de celui-ci ne se poursuivent pas dans le spectre de la fraction silicatée. La raie ultime du germanium est propre à la fraction métallique. Dans le spectre supérieur (5) on a mis en évidence un certain nombre de raies du chrome. On remarquera que la plupart ne se prolongent pas dans le spectre inférieur.

FIG. 2. — Elle montre un fragment du spectre quantitatif, agrandi sept fois, de la fraction métallique, séparée par concentration magnétique. Les raies sont dégradées de haut en bas, en tronçons dont l'intensité va en diminuant. Les temps d'exposition relatifs à chaque tronçon sont commandés par les angles d'ouverture correspondants du secteur tournant, à découpe progressive, placé devant la fente du spectrographe.

FIG. 3. — Noyau vitrifié, noir, vu sur une section polie. Grandeur naturelle.

FIG. 4. — Fragment de l'aérolithe (grandeur naturelle) montrant un noyau vitrifié (partiellement entamé par le sciage), se détachant en noir de la matrix commune de la roche.

FIG. 5. — Section mince (10×). Lumière polarisée. Limite d'un noyau vitrifié. Le fond noir du noyau est dû à la pâte vitreuse et aux plages de fer-nickel, opaques en lumière transmise.

FIG. 6. — Section mince dans un noyau vitrifié, photographiée en lumière réfléchie (33×). Elle montre une poussière métallique brillante, extrêmement ténue et dense, piquetant toute la roche. Remarquer la présence de cette poussière, moins abondante toutefois, sur des éléments à forme distincte qui représentent des pyroxènes partiellement vitrifiés.

Dans cette figure comme dans la suivante, les parties métalliques apparaissent blanches.

FIG. 7. — Autre plage de la même lame mince. Lumière réfléchie (33×). Dans la partie centrale, un élément à forme encore reconnaissable, plus fortement affecté par la vitrification que ceux de la figure précédente, est couvert d'une poussière métallique beaucoup plus dense.

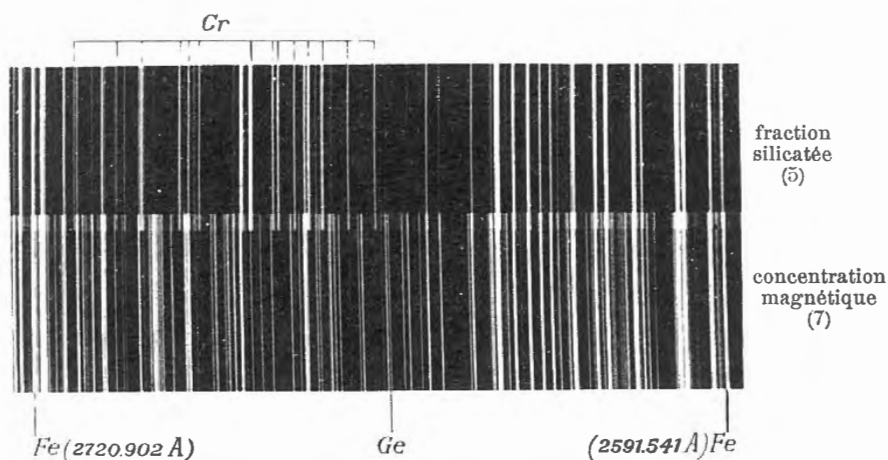


Fig. 1. — Spectres qualitatifs juxtaposés des fractions silicatée (au-dessus) et métallique (en-dessous).

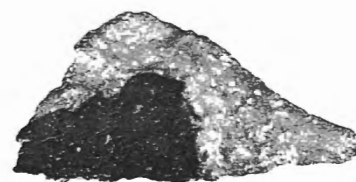


Fig. 3. — Noyau vitrifié en section polie.

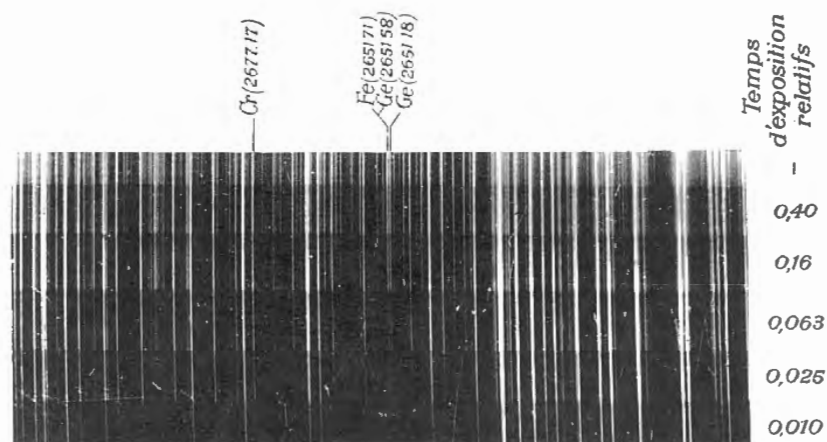


Fig. 2. — Fragment de spectre quantitatif d'une fraction métallique, séparée par concentration magnétique.



Fig. 4. — Noyau vitrifié.

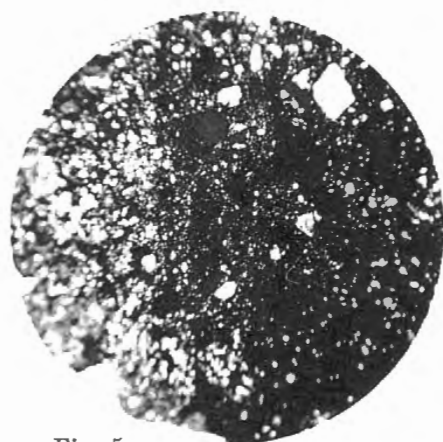


Fig. 5.

Limite d'un noyau vitrifié en section mince.

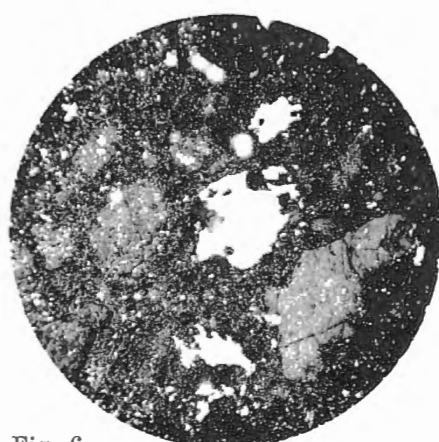


Fig. 6.

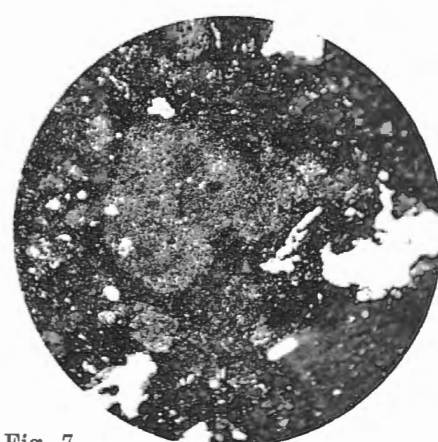


Fig. 7.

Fig. 6 et 7. — Poussière métallique dans un noyau vitrifié.

EXPLICATION DE LA PLANCHE II

- FIG. 1. — Section polie, en lumière réfléchie (288×), d'un fragment typique de la roche. Elle montre l'aspect que présentent, dans l'ensemble de la météorite, le fer-nickel et la troïlite, distribués assez régulièrement en grenailles. La politure imparfaite rend la distinction entre le métal (plages brillantes) et le sulfure (moins bien poli) très apparente.
- FIG. 2. — Section polie (288×) dans un noyau vitrifié. Contrastant avec la figure précédente, cette section montre le métal finement divisé. En réalité il l'est beaucoup plus encore que ne le laisse voir la figure. La politure imparfaite dans cette section en est responsable. La troïlite n'est pas visible dans cette région du noyau vitrifié.
- FIG. 3. — Section polie (288×) dans un noyau vitrifié, montrant le fer-nickel et la troïlite finement divisés. Le sulfure se distingue assez mal du métal; il est plus déchiqueté et moins bien poli.
- FIG. 4. — Section polie (288×) dans un noyau vitrifié. Le fer-nickel et la troïlite apparaissent ici en marbrures dont on remarquera l'abondance. Dans certaines de celles-ci, on peut discerner l'association du métal (plus blanc) et du sulfure.
- FIG. 5. — Section polie dans un noyau noir (38,5×). Elle montre une grenaille métallique à laquelle s'attache un réseau capillaire, extrêmement touffu, de fer-nickel qui diffuse assez loin dans la matrix environnante de la roche.
- FIG. 6. — Partie agrandie de la figure précédente (288×). Le réseau capillaire de fer-nickel attaché à la grenaille apparaît ici très nettement. Sur la droite de la figure (vers le bas), au contact de la grenaille métallique, on distingue un grain de chromite gris pâle, dont les nombreuses cassures sont comblées par le métal.
-

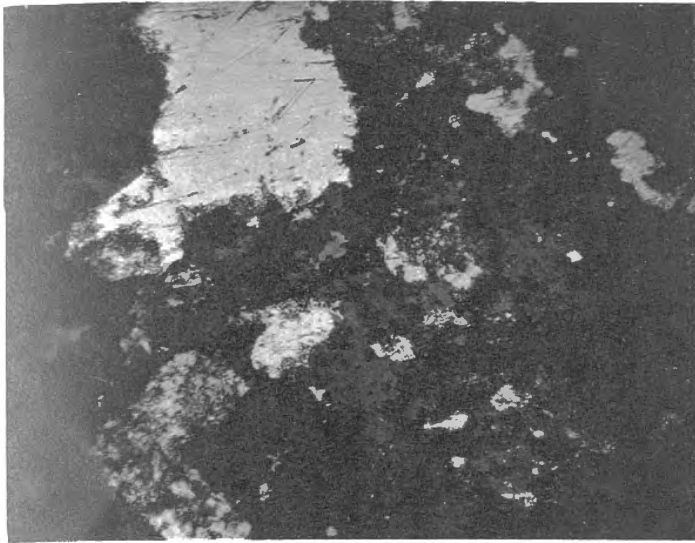


Fig. 1. — Fer-nickel et troïlite dans une partie quelconque de la roche.

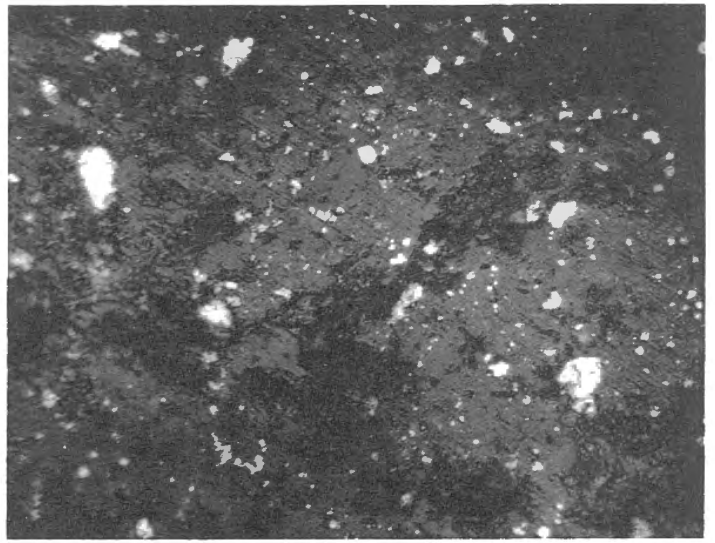


Fig. 2. — Fer-nickel finement divisé dans un noyau vitrifié.

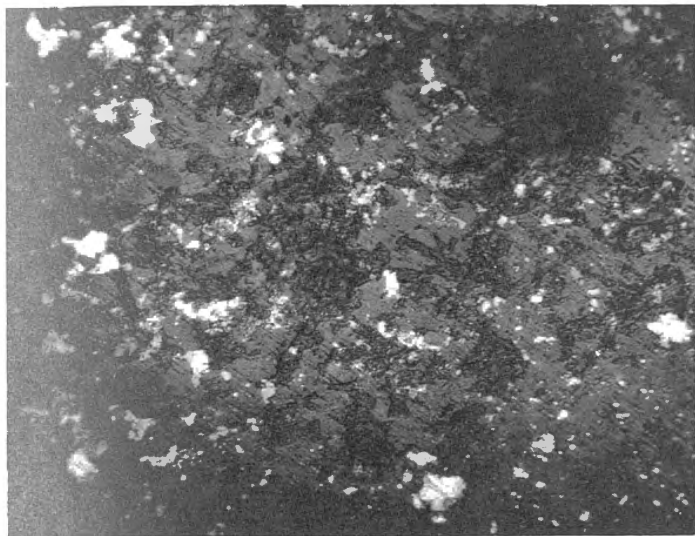


Fig. 3. — Fer-nickel et troïlite finement divisés dans un noyau vitrifié.

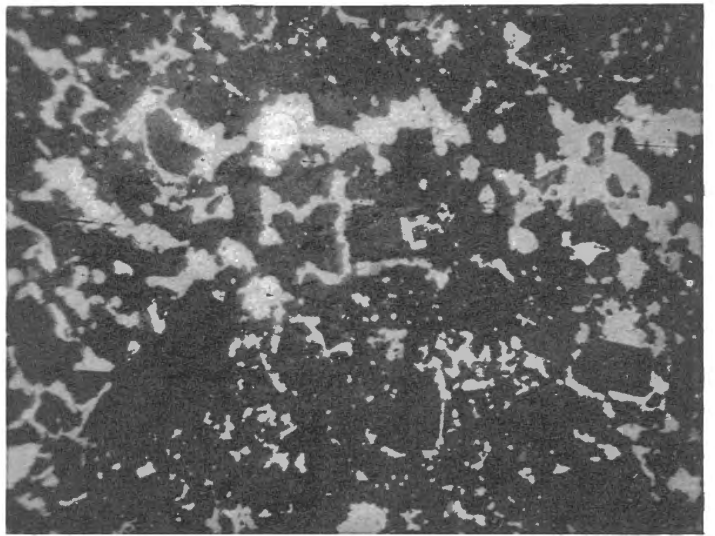


Fig. 4. — Fer-nickel et troïlite dans un noyau vitrifié.

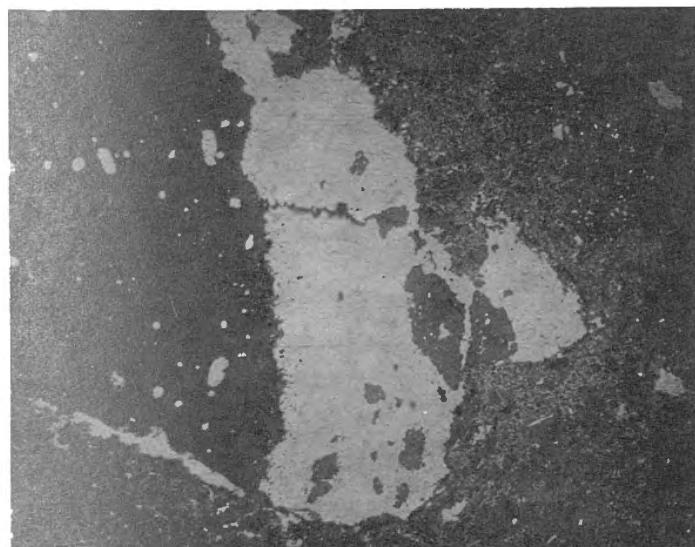


Fig. 5. — Réseau capillaire de métal, attaché à une grenaille.

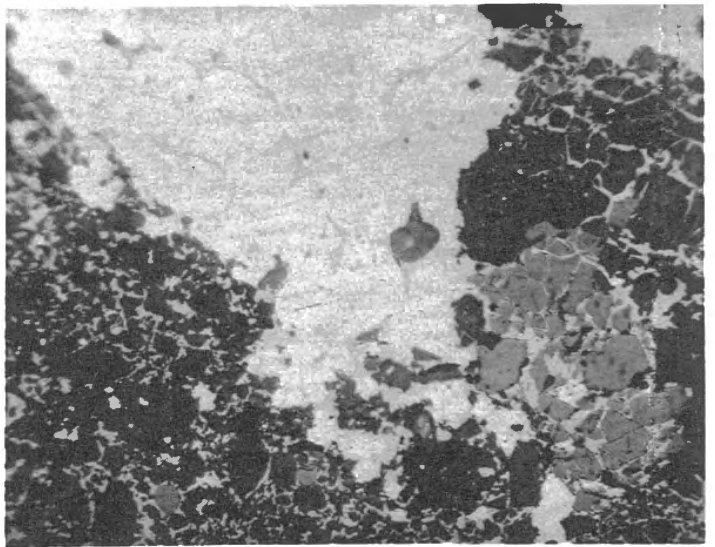


Fig. 6. — Partie agrandie de la figure précédente.