

ANNALES
DES MINES,

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES,
ET SUR LES SCIENCES QUI S'Y RAPPORTENT;

Rédigés par le Conseil général des Mines,

PUBLIÉS

Sous l'autorisation du Conseiller d'Etat, Directeur général des
Ponts et Chaussées et des Mines.

DEUXIÈME SÉRIE.

—ooo—
TOME III.
—ooo—

A PARIS,

Chez TREUTTEL et WÜRTZ, Libraires, rue de Bourbon,
n° 17; et même Maison de Commerce,

A LONDRES, 30 Soho-Square, et à STRASBOURG, rue des
Serruriers, n° 3.

1828.

riel; 2°. évaporer à siccité la dissolution et calciner également le résidu, qui est un mélange de nitrate de potasse et d'ammoniaque.

35. *Analyse d'une variété de FER SPATHIQUE trouvée à Tinzen, canton des Grisons; par M. Lassaigne. (An. de Ch., t. 55, p. 85.)*

Ce minéral est blanc légèrement jaunâtre: il se cristallise en rhomboïde; sa densité est de 2,927; il diffère donc beaucoup sous ce rapport du fer carbonaté, dont la densité est de 3,64 à 3,81. Lorsqu'on le chauffe dans un tube de verre, il laisse facilement dégager beaucoup d'eau: au feu du chalumeau, il décrépité, devient plus opaque, jaunit et blanchit ensuite. L'acide hydrochlorique affaibli le dissout entièrement avec effervescence.

L'analyse que j'en ai faite m'a donné:

Carbonate de chaux....	0,4746	environ	5 at.
Carbonate de magnésie..	0,1933	—	3 at.
Protocarbonate de fer..	0,1108	—	1 at.
Eau.....	0,3213	—	13 at.
	11,000.		

36. *Sur le KAKOXÈNE; par M. Steinmann. (Ed. J., 1826, p. 163.)*

Ce minéral a été trouvé dans une mine de fer de Hrbeek en Bohême: il est en veinules et ressemble à la carpholite. On n'a pu l'obtenir pur: une analyse approximative a donné:

Silice.....	0,0890	}	0,9833.
Acide phosphorique.	0,1786		
Alumine.....	0,1001		
Oxide de fer.....	0,3632		
Chaux.....	0,0015		
Eau, acide fluorique.	0,2509		

37. *Sur la composition des MINÉRAIS DE FER EN GRAINS; par M. P. Berthier. (An. de Ch., t. 55, p. 247.)*

Il existe des minerais de fer en grains dans plusieurs formations, mais principalement dans le calcaire oolithique et dans une formation plus nouvelle ou peut-être contemporaine à ses derniers dépôts.

Dans la formation la plus moderne, les minerais en grains alternent avec des argiles, des sables quarzeux et des grès; ils sont rarement associés à des pierres calcaires: on en voit cependant quelques exemples. Le plus souvent les grains de minéral ne sont pas agglomérés entre eux, et ils deviennent libres quand on délaie dans l'eau l'argile sableuse qui les enveloppe; mais quelquefois ils sont fortement agglutinés par une pâte ferrugineuse, dont la composition diffère peu de celle des grains eux-mêmes. Cette formation est stratifiée en bancs horizontaux, et elle remplit les dépressions et les crevasses du sol sur lequel elle repose.

Dans la formation oolithique, les minerais en grains sont stratifiés avec des argiles et avec des bancs de pierres calcaires. C'est ainsi qu'il en existe à Villebois (département de l'Ain); dans les montagnes du Jura; à Couches, près le Creusot (département de Saône-et-Loire); dans le département de l'Aveyron; à Hayanges (département de la Moselle), etc. Les grains sont tantôt disséminés dans une pâte calcaire, ordinairement un peu argileuse et sans se toucher les uns les autres, et tantôt ils sont tellement rapprochés qu'ils sont comme juxta-posés: alors

ils ont pour gangue une argile très-ferrugineuse. Les gîtes de minerais de fer forment dans le calcaire oolithique des bancs souvent fort puissans et toujours très-étendus; mais ces bancs sont d'une richesse très-inégale dans leurs diverses parties, et ils présentent quelquefois des particularités que nous ferons connaître.

Les principes essentiels des minerais en grains sont l'hydrate de peroxide de fer ou le protoxide sans eau, et très-souvent ces deux substances ensemble; mais l'oxide, non plus que l'hydrate, n'y est jamais pur; il y a habituellement mélange d'argile et de sable quarzeux. Les argiles sont, comme on sait, des composés en proportions diverses, mais déterminées, de silice et d'alumine: selon qu'il se trouve de la silice et de l'alumine dans telles ou telles quantités relatives dans les minerais, ceux-ci sont plus ou moins fusibles: les plus fusibles sont ceux qui renferment le plus de silice, pourvu, toutefois, qu'ils contiennent en même temps une quantité notable d'alumine. Il existe quelques minerais dans lesquels cette terre manque absolument; mais alors ils perdent la texture oolithique, et ils constituent des bancs compactes et continus; ce sont des mélanges intimes d'hydrate de fer et de quartz hyalin.

Les minerais de fer en grains renferment quelquefois de l'hydrate d'alumine pur. J'en ai trouvé deux exemples; l'un dans le minerai rapporté par M. Mollien, de la province du *Fouta-Diallon* en Afrique; l'autre dans un minerai des Baux, près d'Arles: ces minerais ne contiennent pas du tout de silice. Mais on rencontre plus souvent des minerais très-alumineux qui paraissent contenir à-la-fois de l'argile et de l'hydrate d'alumine. Les

minerais de la Champagne et d'une partie de la Bourgogne sont dans ce cas: aussi, pour les fondre, est-on obligé d'y ajouter, outre la castine, ce qu'on appelle de l'*herbue*, substance qui n'est autre chose que du quartz grossier. Par exemple, j'ai trouvé le minerai de Mont-Girard, près Saint-Dizier, que l'on traite dans le haut-fourneau de Bienville, composé de

Peroxide de fer .	0,690
Silice et sable . .	0,072
Alumine	0,070
Eau	0,160
	<hr/>
	0,992

Pour en faire l'essai, il faut y ajouter environ 0,18 de silice et 0,25 de carbonate de chaux: alors il fond très-bien, et il donne 0,478 de fonte de bonne qualité.

Quand on traite ce minerai par l'acide muriatique, la plus grande partie de l'alumine se dissout: c'est là ce qui me porte à croire que cette terre s'y trouve principalement à l'état d'hydrate; car, parmi les argiles qui sont connues, les plus alumineuses ne cèdent que la moitié tout au plus de l'alumine qu'elles contiennent aux acides autres que l'acide sulfurique concentré et bouillant. La proportion d'eau s'accorde d'ailleurs avec cette supposition; car l'hydrate de fer et la plupart des argiles n'en renferment que 0,13 à 0,14, tandis que le minerai en donne au moins 0,16.

Il est connu depuis long-temps que les minerais de fer en grains sont presque toujours mêlés de peroxide et d'hydrate de deutoxide de manganèse, et que ces substances s'y trouvent même souvent en très-grande proportion. Ils contien-

nent aussi très-fréquemment de l'acide phosphorique, sur-tout ceux qui proviennent des terrains calcaires, et qui, à cause de cela, donnent ordinairement du fer cassant à froid. Il paraît que cet acide y existe combiné tantôt avec l'oxide de fer et tantôt avec de la chaux.

Outre les substances que je viens d'indiquer, j'ai à en faire connaître d'autres que j'ai rencontrées récemment dans plusieurs minerais en grains.

J'ai remarqué que, dans plusieurs de ces minerais provenant des départemens de la Champagne, de la Bourgogne et de la Lorraine, il y a des grains qui agissent sensiblement sur le barreau aimanté, et que l'on peut même enlever par ce moyen. Dans la plupart des minerais il n'y en a que très-peu, souvent moins de $\frac{1}{1000}$; mais dans quelques-uns, tels que ceux de Nancy, près Saint-Dizier, et d'Aumetz, département de la Moselle, il s'en trouve près de 10 pour $\frac{1}{100}$. Les grains magnétiques ne diffèrent en rien de ceux qu'ils accompagnent par leur aspect, leur forme ou leur grosseur; mais j'ai reconnu qu'ils contiennent en mélange intime un composé de silice, d'alumine et de protoxide de fer, auquel ils doivent leur vertu magnétique. Ce composé est analogue à l'espèce que j'ai nommée *chamoisite*, mais non pas identique.

Voici comment j'ai procédé à l'analyse, et quels sont les résultats que j'ai obtenus:

J'ai traité la matière porphyrisée par l'acide muriatique concentré parfaitement pur: elle s'est facilement attaquée, et quand elle a été complètement décolorée, j'ai étendu la liqueur de beaucoup d'eau bouillie, et j'ai introduit peu à peu

dans la dissolution du sous-carbonate de soude jusqu'à commencement de précipité rouge; j'ai laissé le dépôt se former spontanément, et j'ai filtré quand la liqueur s'est trouvée complètement décolorée. Le précipité contenait tout le peroxide de fer et une petite quantité d'alumine. Pour doser le protoxide de fer qui restait tout entier dans la dissolution, j'ai fait bouillir celle-ci avec de l'acide nitrique pour suroxyder le fer, et j'ai précipité le peroxide qui s'est formé et le reste de l'alumine par le moyen de l'ammoniaque. La partie du minéral insoluble dans l'acide muriatique était blanche et semi-gélatineuse; elle se composait, en général, d'un mélange d'argile, de grains de quartz et de silice en gelée provenant du silicate magnétique. Pour déterminer la proportion de la silice, j'ai calciné le résidu, je l'ai pesé, je l'ai fait bouillir avec une dissolution de potasse caustique, qui a dissous toute la silice sans attaquer le quartz et l'argile, j'ai lavé, calciné de nouveau, et j'ai eu la proportion de la silice par différence de poids.

Il m'est arrivé souvent de ne trouver que très-peu de protoxide de fer, ou même de n'en pas trouver du tout, dans des grains très-fortement magnétiques; mais alors la présence de la silice gélatineuse dans la partie insoluble dans les acides a toujours démontré l'existence de l'alumino-silicate de fer. J'ai remarqué que ces grains perdent leur vertu magnétique par la calcination en vase clos, tandis que ceux qui donnent du protoxide de fer avec l'acide muriatique agissent à peu près aussi fortement sur le barreau, après qu'ils ont été calcinés, que dans leur état naturel. Je me suis facilement rendu compte de ces

anomalies en observant que les minerais qui donnent de pareils résultats contiennent toujours une quantité très-notable de manganèse: en effet, ce métal s'y trouvant soit à l'état d'hydrate de deutocide, soit à l'état de peroxide, doit abandonner une certaine portion d'oxigène lorsqu'on le traite par l'acide muriatique ou lorsqu'on le calcine, pour revenir à l'état de protoxide dans le premier cas, et à l'état d'oxide rouge dans le second: or, dans ces deux circonstances, l'oxigène dégagé doit se porter sur le protoxide de fer, qui en est très-avide, et le convertir en oxideroxide. La propriété magnétique du minerai doit donc être détruite par l'effet de cette conversion, puisque l'oxide rouge de fer ne jouit pas de cette propriété.

Quand il y a du manganèse dans les grains magnétiques, on ne peut pas déterminer d'une manière exacte la proportion de protoxide de fer qu'ils contiennent, parce qu'il faudrait savoir pour cela précisément à quel degré d'oxidation le manganèse s'y trouve, ce qui est à peu près impossible; mais cela importe peu pour le résultat général.

J'ai analysé deux minerais en grains magnétiques absolument exempts de manganèse, l'un venant de Châtillon, département de la Côte-d'Or, et l'autre de Nancy, près Saint-Dizier, département de la Marne. Ils contiennent:

	Celui de Châtillon.	Celui de Nancy.
Protoxide de fer	0,153	0,157
Silice gélatineuse	0,020	0,046
Alumine	0,070	0,050
Argile et quartz	0,020	0,024
Peroxide de fer	0,673	0,700
Eau	0,064	0,016
	1,000	0,993
Fonte à l'essai	0,604	0,590 à 0,600

Les grains magnétiques de Châtillon sont de diverses grosseurs, mais la plupart très-petits: on ne les trouve qu'en petit nombre dans le minerai. Ils fondent bien avec addition de 0,03 de carbonate de chaux: il ne se dégage, dans l'essai par voie sèche, que 225 d'oxigène pour 604 de fonte, ce qui confirme le résultat de l'analyse par voie humide, puisque si le fer se fût trouvé tout entier à l'état de peroxide, le dégagement d'oxigène aurait été de près de 0,250.

Les grains magnétiques de Nancy sont très-petits et de forme un peu aplatie; le minerai dans lequel on les trouve en renferme près de $\frac{1}{10}$ de son poids. Ces grains fondent bien avec addition de 0,04 de carbonate de chaux, et il ne se dégage, dans l'essai, que 0,23 à 0,24 d'oxigène.

Les grains magnétiques qui proviennent des mines de Stigny, d'Irouer et de Gland, près Ancy-le-Franc, département de l'Yonne, et ceux que l'on peut recueillir dans les mines de Pierre-Viller, près Moyeuivre, département de la Moselle, ne donnent pas de protoxide de fer quand on les traite par l'acide muriatique, et ils perdent leur vertu magnétique lorsqu'on les calcine; aussi y trouve-t-on par l'analyse 0,04 à 0,05 d'oxide de manganèse; mais ils produisent tous de la silice gélatineuse, soluble dans les alcalis liquides, dans des proportions qui varient, comme dans les minerais de Châtillon et de Nancy, entre 0,02 et 0,05.

Le minerai de Gland m'a présenté en outre une particularité intéressante. Les grains ont la grosseur du petit plomb de chasse: lorsqu'on les fait digérer sans les concasser, dans de l'acide muriatique concentré, à une douce chaleur, ils se

décolorent complètement en vingt-quatre heures sans perdre leur forme, et l'on voit au milieu de la matière terreuse qui reste non dissoute une multitude de grains métalliques noirs et très-éclatans. Quoique ces grains soient extrêmement petits, on peut cependant aisément reconnaître, à l'aide d'une forte loupe, qu'ils sont cristallisés, et que leur forme est celle d'un octaèdre régulier, tronqué sur tous ses sommets : ils sont très-magnétiques, et l'on peut aisément les extraire de la matière terreuse par le moyen du barreau aimanté. Leur poids s'élève au plus à $\frac{1}{100}$ du poids de la matière traitée par l'acide muriatique. J'ai reconnu, par des essais au chalumeau, qu'ils se composent d'oxide de fer contenant un peu de titane et de manganèse : ils appartiennent donc à l'espèce *fer titané*, contenant la proportion *minimum* de titane.

J'avais depuis long-temps observé, en faisant des essais de minerais de fer en grains, que les scories présentaient souvent à leur surface l'enduit métallique rouge de cuivre, qui est l'indice certain de la présence du titane : ce phénomène se trouve maintenant expliqué. On voit aussi d'où vient le titane métallique que l'on rencontre de temps à autre dans le creuset de plusieurs hauts-fourneaux qui ne sont alimentés ni par la houille ni par les minerais de fer des houillères, à Hayanges par exemple.

Le fer titané n'existe qu'en très-petite quantité dans les minerais de fer en grains : il y est disséminé d'une manière tout-à-fait irrégulière : aussi ne le trouve-t-on pas dans tous par l'analyse. Le minerai de Châtillon m'en a donné une quantité notable, mais non pas autant que le minerai de

Gland : je n'ai malheureusement pu disposer que de quelques grammes de ce dernier.

Les minerais de fer en grains qui ont leur gisement dans le calcaire oolithique sont aussi parfois magnétiques. J'ai examiné celui de Hayanges, qui m'a présenté des mélanges remarquables.

On exploite à Hayanges une couche horizontale bien réglée, qui a 3 à 4 mètres de puissance. Elle fournit trois sortes de minerais, 1°. du minerai brun, 2°. du minerai bleu, et 3°. du minerai gris, celui-ci est le plus abondant. Le minerai brun n'est autre chose que de l'hydrate de fer à très-petits grains empâtés par une argile ferrugineuse et souvent calcaire ; il n'est pas magnétique. Le minerai bleu est ainsi dénommé, parce qu'il a une couleur gris bleuâtre au moment où il sort de la mine ; mais sa teinte bleue s'affaiblit promptement à l'air, et elle passe au gris foncé olivâtre : ce minerai est très-fortement magnétique dans toutes ses parties ; sa structure est confusément oolithique à très-petits grains. Le minerai gris est un mélange visible à l'œil des deux espèces précédentes ; on y distingue des grains d'hydrate, dont la couleur jaune brun tranche fortement avec celle de la pâte, qui est gris bleuâtre ; il agit d'autant plus fortement sur le barreau aimanté, que la pâte est plus abondante et que la couleur de celle-ci est plus foncée. Ces trois variétés se trouvent répandues irrégulièrement en amas dans la couche métallifère, et elles passent de l'une à l'autre par nuances.

Au premier aspect, le minerai bleu paraît être homogène, il ne l'est cependant pas : il se compose de trois espèces minérales qui sont mêlées ensemble d'une manière indiscernable à

l'œil, et que les moyens chimiques seuls peuvent faire reconnaître. Ce minéral fait ordinairement une effervescence très-sensible avec l'acide acétique, même à froid; mais quelquefois il n'en fait pas du tout: cela prouve que le plus souvent il contient du carbonate de chaux, et qu'il en est quelquefois absolument exempt. Lorsqu'on le traite par l'acide muriatique à froid, il se fait toujours une effervescence lente, qui est due à un dégagement de gaz acide carbonique; quand on chauffe, l'effervescence devient très-vive, et l'on remarque que la liqueur prend presque aussitôt une teinte verte, qu'elle paraît devoir à une substance de même couleur qu'elle tient en suspension; à mesure que cette substance se dissout, la couleur de la liqueur s'affaiblit et passe au jaune clair; en même temps la matière non encore dissoute devient presque blanche, et elle achève de se dissoudre en produisant jusqu'à la fin une effervescence vive. Cette matière a d'ailleurs tous les caractères du fer carbonaté, et l'analyse prouve que telle est effectivement sa nature.

La dissolution ne contient que du protoxide de fer, de la chaux et de l'alumine, et la seule matière insoluble qui reste après l'action prolongée de l'acide est de la silice à l'état gélatineux, et provenant par conséquent d'une combinaison détruite par l'acide. Cette combinaison est évidemment celle qui colore le minéral en bleu verdâtre et qui lui donne la vertu magnétique, et elle se compose, comme la *chamoisite* et comme la substance magnétique qui se trouve dans les minerais de Châtillon, Nancy, etc., de silice, d'alumine, de protoxide de fer et d'une petite quantité d'eau.

L'échantillon que j'ai analysé m'a donné:

Protoxide de fer.	0,610
Chaux.	0,062
Acide carbonique.	0,203
Silice gélatineuse.	0,060
Alumine	0,038
Eau.	0,025
Magnésie, manganèse.	

0,998

Si l'on calcule la quantité d'acide carbonique qui est nécessaire pour saturer la chaux, puis la quantité de protoxide de fer avec laquelle le reste de l'acide carbonique doit se trouver combiné, on trouve que le minéral est composé de :

Carbonate de chaux.	0,110	
Carbonate de fer.	0,403	
Protoxide de fer.	0,362	} 0,485
Silice.	0,060	
Alumine.	0,038	
Eau.	0,025	
		0,998

D'après cela, la substance magnétique entre pour 0,485 dans le minéral, et elle se compose de:

	Oxigène.
Protoxide de fer.	0,1700
Silice.	0,0645
Alumine.	0,0365
Eau.	0,0450

1,000

Les quantités d'oxigène contenues dans chacun des élémens sont entre elles à peu près comme les nombres 5, 2, 1 et 1 (en admettant 0,01 d'eau hygrométrique), et ces rapports conduisent aux formules AS^2f^3Aq et $fA+2f^2S+Aq$. La substance bleue de Hayanges se rapproche beaucoup

de la chamoisite; elle en diffère en ce qu'elle renferme plus de fer que celle-ci dans le rapport de 5 à 4, et moins d'eau dans le rapport de 1 à 4 (la formule de la chamoisite étant $AS^2 f^4 Aq^4$). Le minéral de Hayanges est beaucoup plus fortement magnétique que la chamoisite : cela dépend évidemment de ce que le protoxide de fer s'y trouve combiné avec une proportion moindre d'éléments négatifs, la silice, l'alumine et l'eau, que dans cette dernière.

J'ai examiné un échantillon de minéral gris de Hayanges, et j'y ai trouvé de l'hydrate de peroxide, du carbonate et de l'alumino-silicate de protoxide de fer, sans mélange de carbonate de chaux. Outre ces substances, les minerais d'Hayanges renferment presque toujours de l'acide phosphorique, et quelquefois même en proportion considérable; c'est pourquoi il ne produisait que du fer cassant à froid.

Il est assez singulier que, dans les minerais d'Hayanges, le carbonate de fer soit absolument pur, tandis que dans toutes les autres formations il se trouve toujours combiné avec des proportions diverses de carbonates de magnésie, de chaux et de manganèse.

Il résulte de ce qui vient d'être exposé que les minerais de fer en grains, dont les principes essentiels sont le peroxide et l'hydrate de peroxide de fer, admettent un assez grand nombre de substances en mélange intime ou en mélange mécanique. Les substances qui s'y trouvent le plus habituellement, et qui avaient été anciennement observées, sont les argiles, le sable quarzeux, le peroxide et l'hydrate de deutoxide de manganèse, le phosphate de fer et le phosphate de chaux. J'ai fait voir, il

ya quelques années, qu'ils contiennent quelquefois de l'hydrate d'alumine, et je viens de montrer qu'on y rencontre fréquemment des alumino-silicates de fer magnétiques, et parfois du fer carbonaté oolithique et du fer titané en très-petits grains cristallisés. Je pourrais encore faire mention de la calamine; car il est certain que dans plusieurs fourneaux, qui ne sont alimentés que par des minerais en grains, il se forme de temps à autre de la cadmie zincifère; mais je dois dire aussi que la quantité en est très-petite. Il existe des minerais de fer chargés de calamine; mais ils sont d'une toute autre formation que les minerais en grains.

38. *Examen chimique du MINÉRAI BLEU MAGNÉTIQUE de Vignes*; par M. Karsten. (Arch. mét., 1827, n°. 16, p. 30.)

Parmi les minerais de fer que l'on fond dans les usines de la Moselle, il en est un dont la composition est remarquable. Il se trouve en couche dans le calcaire jurassique, à Vignes, à l'ouest d'Hayanges : il est d'un bleu verdâtre foncé, et par son aspect il ressemble beaucoup à l'espèce que M. Berthier a nommée *chamoisite*; mais il en diffère totalement par sa composition. Sa texture est oolithique; les grains ne dépassent jamais la grosseur d'un grain de millet; il est magnétique; sa densité est de 3,71; sa poussière est d'un bleu verdâtre foncé. Il est attaqué avec effervescence lente par l'acide muriatique; le résidu siliceux ne se dissout pas dans cet acide et ne fait pas gelée : d'où l'on doit conclure que la silice contenue dans ce minéral n'y est pas en combinaison avec l'oxide de fer, et qu'elle ne